

# FID Biodiversitätsforschung

## Decheniana

Verhandlungen des Naturhistorischen Vereins der Rheinlande und  
Westfalens

Deutung der tertiären Tone in der südlichen Niederrheinischen Bucht - mit  
6 Abbildungen, 2 Tabellen und 1 Tafel

**Hermanns, Klaus**

**1997**

---

Digitalisiert durch die *Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg, Frankfurt am Main* im  
Rahmen des DFG-geförderten Projekts *FID Biodiversitätsforschung (BIOfid)*

---

### **Weitere Informationen**

Nähere Informationen zu diesem Werk finden Sie im:

*Suchportal der Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg, Frankfurt am Main.*

Bitte benutzen Sie beim Zitieren des vorliegenden Digitalisats den folgenden persistenten  
Identifikator:

[urn:nbn:de:hebis:30:4-194133](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hebis:30:4-194133)

## Deutung der tertiären Tone in der südlichen Niederrheinischen Bucht

Klaus Hermanns und Winfried Zimmerle

Mit 6 Abbildungen, 2 Tabellen und 1 Tafel

(Manuskripteingang: 28. November 1996)

### Kurzfassung

In den Braunkohlentagebauen der südlichen Niederrheinischen Bucht wurden verschiedene Tonschichten untersucht. Die Schichtenfolge reichte dabei vom Ober-Oligozän bis zum Alt-Pleistozän. Für die Tone der Liegendschichten werden marine bis brackische Einflüsse angenommen. Die feinklastischen Sedimente der Hangschichten und der Zwischenmittel des Hauptflözes wurden weitgehend in fluviatilen Überflutungsebenen abgelagert. Hydromorphe Paläoböden und geringmächtige Braunkohlenhorizonte sind in der Profildokumentation nachzuweisen. Die tonmineralogischen Untersuchungen ergaben für die Tonschichten zwei Haupttonmineralzonen. Die Liegendtone sind durch die Tonminerale Kaolinit, Illit und untergeordnet Chlorit gekennzeichnet. Die tonigen Zwischenmittel des Hauptflözes und die Tone der Deckschichten beinhalten ein sehr variables Tonmineralspektrum mit Illit, Smectit, Vermiculit, Kaolinit, primärem und sekundärem Chlorit (Al-Chlorit) und Wechsellagerungsmineralen (irreguläre und reguläre). Zusätzlich halfen Dünnschliffanalysen und chemische Analysen zu einer weiteren Charakterisierung, auch von genetischen Strukturen, der Tone. Der signifikante Wechsel zwischen den Tonmineralzonen war nicht klimagesteuert. Die Ausbildung der Tonmineralzonen in der südlichen Niederrheinischen Bucht war viel mehr eng an die Abtragungsgeschichte des Rheinischen Schiefergebirges gebunden. Im Laufe des Tertiärs wurden die mesozoisch-tertiäre Verwitterungsdecke (Saprolit) und die tertiären Vulkanite des Siebengebirges sowie der Hoheifel abgetragen. Das Material kam in der Niederrheinischen Bucht wieder zum Absatz. Deutliche Anteile von verwittertem, vulkanischen Material konnten in Dünnschliffen, Schwermineralpräparaten und anhand spezifischer chemischer Parameter in den tertiären Tönen nachgewiesen werden. Bodenbildung und Diagenese veränderten zusätzlich die Tonmineralzusammensetzung und das Tongefüge.

### Abstract

The Identity of Tertiary Clays in the southern Lower Rhine Embayment] Tertiary clays crop out in the brown coal opencast mines of the southern Lower Rhine Embayment. The stratigraphic column comprises Upper Oligocene to Lower Pleistocene strata. The underlying clays („Liegendsschichten“) were deposited in marine to brackish environments. The finer material in the overburden and the interbedded clays within the main seam („Hauptflöz“) are mainly floodplain deposits. Hydromorphic paleosols and thin lignite seams also occur. Clay-mineral analysis reveals two discrete zones within the stratigraphic sequence. The underlying clays are characterized by kaolinite, illite and to a lesser degree chlorite. The clays interbedded in the main seam and the overlying clays consist of a wide range of clay minerals: illite, smectite, vermiculite, kaolinite, chlorite and hydroxy-Al interlayered clay minerals as well as mixed-layer clay minerals (random and regular). Supplementary thin-section analysis and chemical analysis of selected samples helped not only to confirm the identification, but also to recognize genetic features of the clays. The significant differences between the two clay-mineral suites are probably not due to the paleoclimate. The stratigraphic zoning of the clay minerals in the southern Lower Rhine Embayment is closely related to the denudation history of the Rhenish Massif. The Mesozoic-Tertiary weathering mantle, the so-called saprolite, and the Tertiary volcanics exposed in the Siebengebirge and Hoheifel were progressively eroded during the Tertiary and deposited in the Lower Rhine Basin. Substantial amounts of weathered volcanic material seen in thin section and heavy-mineral mounts and evidenced by specific chemical parameters are found in the Tertiary clays. Pedogenesis and diagenesis caused additional changes in clay-mineral composition and texture.

### Keywords

Tertiary clays, clay mineralogy, clay mineral genesis, saprolite, volcanic material, denudation history, Lower Rhine Embayment, Northern Rhenish Massif

## Inhaltsübersicht

### 1. Einleitung

- 1.1. Geologische Entwicklung der Niederrheinischen Bucht
- 1.2. Entwicklung des nördlichen Rheinischen Schiefergebirges
- 1.3. Erforschungsgeschichte der Tone in der Niederrheinischen Bucht
- 1.4. Schichtenfolge/Stratigraphische Abfolge der untersuchten Schichten
- 1.5. Probennahme und Analytik

### 2. Diskussion der tonmineralogischen Untersuchungen

- 2.1. Tonmineralogische Entwicklung in der Tonhorizonte in den Tagebauen Bergheim, Fortuna, Hambach und Inden
- 2.2. Stratigraphische Verwertbarkeit der tonmineralogischen Resultate
- 2.3. Vergleich der Tertiärtone aus der südlichen Niederrheinischen Bucht und mit der mesozoisch-tertiären Verwitterungsdecke des Rheinischen Schiefergebirges
- 2.4. Zusätzliche Hinweise aus Dünnschliffen und geochemischen Daten einzelner Proben
- 2.5. Tonmineralogie und Paläoklima

### 3. Zusammenfassung

### 4. Danksagung

### 5. Literatur

#### 1. Einleitung

Ein wichtiger Baustein zum Verständnis der Ablagerungsbedingungen der Braunkohle in der südlichen Niederrheinischen Bucht sind die bisher weniger untersuchten Tonschichten. Darüber hinaus sollen hier aus der zeitlichen Änderung der Tonmineralzusammensetzung die Vorstellungen zur Klimaentwicklung in der Niederrheinischen Bucht vom Jungtertiär bis zum Altpleistozän überprüft werden.

Die geographische Nähe der Niederrheinischen Bucht zum Rheinischen Schiefergebirge läßt die Frage nach dem Einfluß des Hinterlandes auf das Sedimentationsgeschehen im Becken aufkommen. Dabei soll auf die Fragen eingegangen werden, ob sich die Abtragungsgeschichte der präpleistozänen Verwitterungskruste des Rheinischen Schiefergebirges anhand der tonmineralogischen Abfolge der Tonlagen in der Niederrheinischen Bucht rekonstruieren läßt und ob vulkano-gene Einflüsse in den Tonen der südlichen Niederrheinischen Bucht nachweisbar sind.

Die Untersuchungen wurden in Tagebauaufschlüssen der Rheinbraun A.G. (Köln) in der südlichen Niederrheinischen Bucht durchgeführt. Die geographische Bezeichnung „südliche Niederrheinische Bucht“ oder auch „Kölner Bucht“ wird im Sinne von GLIESE (1971) als der Teil der Niederrheinischen Bucht südlich der Linie Aachen-Jülich-Grevenbroich-Dormagen verwandt. Es wurden Tonprofile in den Tagebauen Inden (südlich von Jülich), Hambach (östlich von Jülich), Bergheim und Fortuna (im Bereich der Ville, westlich von Köln) aufgenommen (Abb. 1).

#### 1.1. Geologische Entwicklung der Niederrheinischen Bucht

Die Niederrheinische Bucht tritt schon morphologisch als Senkungsgebiet in Erscheinung. Ungefähr 80 km reicht das niederrheinisch-niederländische Tiefland in das Rheinische Schiefergebirge hinein. Seit dem Unter-Oligozän weist die Niederrheinische Bucht eine sinkende Tendenz auf (ZAGWIJN 1989). KNAPP (1980) gibt in Relation zum Rheinischen Schiefergebirge den maximalen Absenkungsbetrag mit 1900 m an. Die größte Mächtigkeit der tertiären und quartären Schichten beträgt im Raum Kerpen 1200 m. Die Niederrheinische Bucht diente als Sammelbecken für das Abtragungsmaterial des aufsteigenden Rheinischen Schiefergebirges.

Die paläogeographische Situation im Tertiär ist durch einen marinen und einen kontinentalen Faziesbereich gekennzeichnet. Die Sedimentation setzt im Unter-Oligozän mit einer Transgression der „Paläonordsee“ über den eingerumpften paläozoischen Sockel des Rheinischen Schiefergebirges ein (ZAGWIJN 1989). Das Meer dringt im Ober-Oligozän bis in den Bonner Raum vor. Im

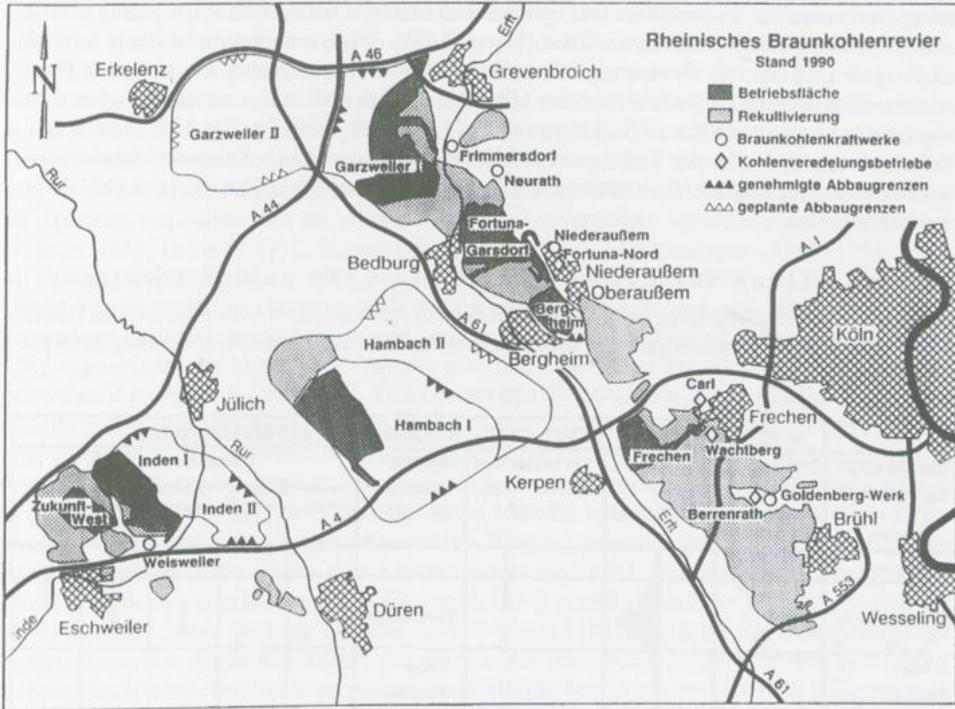


Abbildung 1. Übersichtskarte des Rheinischen Braunkohlenreviers (Rheinbraun A.G.)

Südtel der Bucht verzahnen sich terrestrische, z.T. Braunkohle führende Tone und Schluffe, die zu einem Deltasystem gehören (HAGER & PRÜFERT 1988), mit marinen Sanden. Der Deltakomplex baute sich im Verlauf des Tertiärs weiter von Südosten aus dem Schiefergebirge nach Nordwesten vor. In Bereichen mit gleichbleibendem Grundwasserstand und ohne Zufuhr von klastischen Sedimenten konnte es über lange Zeiträume zur Torfakkumulation des Hauptflözes (Unter-Miozän bis Mittel-Miozän; dieser Zeitraum ist nach ABRAHAM (1994) und PETZELBERGER (1994) wahrscheinlicher als der von HAGER (1981) und HAGER & PRÜFERT (1988) angenommene Zeitrahmen bis ins Ober-Miozän) und Oberflözes (Ober-Miozän) kommen (GLIESE & HAGER 1978, HAGER 1981, 1986, HAGER et al. 1981). Die gleichzeitige fluviatil-klastische Sedimentation verlagerte sich während der Hauptflözbildung von der Mitte der Niederrheinischen Bucht nach Westen und während der Oberflözbildung wieder von Westen nach Osten (GLIESE & HAGER 1978). Die marinen Zwischenmittel im Bereich der Flözaufspaltung des Hauptflözes zeigen die Nähe des Miozänmeeres an. Im oberen Unter-Miozän (Hemmoor) scheint für kurze Zeit eine marine oder brackische Verbindung zwischen der Niederrheinischen Bucht und dem Oberrheintalgraben bestanden zu haben (MARTINI 1981). Im Pliozän zog sich das Meer bis in das Gebiet von Weeze und Nütterden (südlich von Kleve) zurück (ANDERSON & BRAUN 1969). Als Folge dominierte seitdem die terrestrische Sedimentation mit Sanden, Kiesen und eingeschalteten Tonen, die z.T. geringmächtige Braunkohlenflöze führen. Das Quartär wird weitgehend durch die Aufschotterung der Eifel Flüsse, der Maas und des Rheins, bestimmt (BOENIGK 1978a, BRUNNACKER 1978a, b).

Die Schichten der Niederrheinischen Bucht werden durch eine Vielzahl an Verwerfungen in die Rur-, Erft- und Kölner Scholle zerlegt. Die Störungen streichen generell SE-NW. Es handelt sich ausschließlich um Abschiebungen, die eine Dehnungstektonik anzeigen. GLIESE & HAGER (1978) glauben, aus dem Verlauf der Störungen einen Einfluß des variszischen Untergrundes ableiten zu können. Auffällig ist die asymmetrische Aufgliederung in einen überwiegend antithetischen

Schrägschollenbau im Westen (Rur- und Erft-Scholle) und in einen synthetischen, wenig geneigten Schollenbau (Kölner Scholle) im Osten (HAGER 1981). Die Niederrheinische Bucht wird als Rift-Struktur gedeutet, die zu einem größeren tektonischen System gehört, das sich vom Oberrheintalgraben über eine Schwächezone des Mittelrheingebietes bis in den niederländischen Zentralgraben erstreckt (AHORNER 1970, TEICHMÜLLER 1974, ILLIES 1980, ZIEGLER 1982, FUCHS et al. 1983, ZAGWIJN 1989). Ob der Siebengebirgsvulkanismus an der Wende Oligozän/Miozän genetisch mit der Entstehung der Niederrheinischen Bucht verbunden ist, wie TEICHMÜLLER (1974) vermutet, bleibt offen.

## 1.2. Entwicklung des nördlichen Rheinischen Schiefergebirges

Das Rheinische Schiefergebirge gehört dem variszischen Faltungsgürtel in Europa an. Das Grundgebirge wurde im Oberkarbon gefaltet. Vom ausgehenden Oberkarbon bis Perm unterlag das Rhei-

Chronostratigraphie 1)	N. Bucht		NÖRDLICHES RHEINISCHES SCHIEFERGEBIRGE							
	Diskordanz 2) 3)		Hebung → + 4) 5) 6)	Verwitterung chem. vulk. 7) 8)	Morphogenese 9) 10)	Vulkanismus 11)				
Stufen						Hoch-Eifel	Sieben-gebirge	Westerwald	W-Eifel	E-Eifel
Holozän										
Pleistozän	J M A				Terrassen					
2,3 Ma	O				Trogflächen					
Pliozän	M U									
5,3 Ma	O									
Miozän	M U									
23,7 Ma	O									
Oligozän	M U								R <sub>1</sub>	
36,6 Ma	O									
Eozän	M U	Schicht-lücke								
57,8 Ma	O	Ant. S.								
Paläozän	M U								R <sub>2</sub>	
66,4 Ma	O									
Maastricht										
Campan										
Santon		Aachener Kreide							Rumpfflächen (R)	
Oberkreide										
97,5 Ma	O									
Unterkreide										
144 Ma	O									
Ober-/Mitteljura										

Tabelle 1. Entwicklung des nördlichen Rheinischen Schiefergebirges und der Niederrheinischen Bucht nach 1) BERGGREN et al. (1985), KENT & GRADSTEIN (1985), 2) ZAGWIJN & HAGER (1987), 3) KNAPP (1980), 4) QUITZOW (1959), 5) MEYER et al. (1983) und MEYER (1988), 6) MURAWSKI et al. (1983), 7) SPIES (1986), 8) FELIX-HENNINGSSEN (1990), 9) QUITZOW (1978, 1982), 10) RICHTER (1962), 11) LIPPOLT (1983), \* nach ZAGWIJN & HAGER (1987), vgl. zur Plio-/Pleistozän Grenzdiskussion BOENIGK et al. (1974), BOENIGK et al. (1979) und HAGER (1981). [Legende: ~~~ = Diskordanz, → = Transgression, Ant. S. = Antweiler Schichten, N. Bucht = Niederrheinische Bucht]

nische Schiefergebirge der Abtragung und Einrumpfung. Mesozoische Sedimentation fand in der Folge nur noch an den Rändern und in der schon paläozoisch angelegten Eifeler Nord-Süd-Zone statt. Seit dem Rückzug des Lias-Meeres (Unter-Jura) war der zentrale Teil des Schiefergebirges wohl Festland (MEYER et al. 1983). Kurzzeitige Meeresvorstöße (Tab. 1) werden für die Oberkreide (Oberes Santon bis Campan), das Mittel-Oligozän (Rupel), das Ober-Oligozän (Chatt) und Unter-Miozän (Hemmoor) registriert (MURAWSKI et al. 1983). Die abgelagerten Sedimentdecken wurden in der Folgezeit fast vollständig abgetragen. Das tropische bis subtropische Klima im Zeitraum von Mittel-Jura bis Alttertiär ließ eine tiefgründige Verwitterungsrinde entstehen (FLIEGEL 1913, BREDDIN 1932, SCHMIDT & WOLTERS 1952, MÜCKENHAUSEN 1953, 1958, 1978, MÜCKENHAUSEN & SCHALICH 1982, SPIES 1986, FELIX-HENNINGSEN 1990 u.a.). In Tertiär und Quartär trat zusätzlich ein Gesteinszerzersetzung durch aufsteigende, CO<sub>2</sub>-haltige saure Wässer in den Vulkangebieten der Eifel, des Siebengebirges und des Westerwalds auf (JARITZ 1966, SPIES 1986).

Epirogenetische und klimatische Prozesse gestalteten das Relief des nördlichen Schiefergebirges während Kreide und Tertiär (Tab. 1). Es entstanden die bekannten „Rumpfflächen“, oder auch „Altflächen“ genannt (PHILIPPSON 1899, 1903, STICKEL 1927, BREDDIN 1937, RICHTER 1962, QUITZOW 1959, 1978, 1982, ZENSES 1980, WIRTH 1982, NICKE 1983, 1993). Die Verebnungsflächen waren flach nach Norden geneigt. Bis zum Ende des Miozäns setzte sich die flächenhafte Abspülung fort (QUITZOW 1982). Das abgeschwemmte Material kam in intramontanen Becken (Neuwieder-, Westerwälder-, Limburger-, Koisdorfer-, Ringen/Lantershofener- u.a. Becken) und in der Niederrheinischen Bucht wieder zum Absatz (HERMANN 1985). Die heutigen Flußsysteme von Mosel und Rhein war schon angelegt. QUITZOW (1974) nimmt an, daß der Rhein zu Beginn des Mittel-Miozäns seinen Weg zur Nordsee fand. BOENIGK (1981) weist für das Ober-Miozän der Niederrheinischen Bucht den Zulauf des Rheins aus dem Süden nach. Die verstärkte aktive Hebung des Rheinischen Schiefergebirges Ende Miozän bewirkte eine Fixierung der genannten Flüsse in ihrer Position (MEYER et al. 1983). Die Hauptwasserscheide existierte schon zur Zeit der Ablagerung der „Vallendarer Schotter“ (Ober-Eozän bis Unter-Oligozän) nördlich der heutigen Mosel (QUITZOW 1982). Das Vallendarer Flußsystem folgte dem „Bitburg-Kasseler Senkungsfeld“ (PFLUG 1959) von SW nach NE zum Neuwieder Becken. Für das Alttertiär, vor allem das Oligozän, bestimmen deutliche eustatische Meeresspiegelschwankungen die paläogeographische Situation (MEYER et al. 1983). Im Ober-Eozän setzte die Senkung des Neuwieder Beckens ein, die bis heute einen Gesamtbetrag von 350 m zu verzeichnen hat (MEYER 1979). Die aktive Hebung des Rheinischen Schiefergebirges begann am Ende des Oligozäns und erreichte im Pleistozän ihr Maximum (Tab. 1). Im Pliozän entwickelte sich die Trogregion des Rheins. Die heutige Terrassenlandschaft entstand im Pleistozän durch das Zusammenwirken von Tektonik und eiszeitlichen Klimawechseln. Die Hebung des Rheinischen Schiefergebirges läßt sich heute noch geodätisch nachweisen.

### 1.3. Erforschungsgeschichte der Tone in der Niederrheinischen Bucht

Seit der Römerzeit werden die in der südlichen Niederrheinischen Bucht an der Oberfläche anstehenden Tone für keramische Zwecke genutzt. Die Verbreitung von feuerfesten Tonen stellten TEICHMÜLLER & TEICHMÜLLER (1959: 110) dar. Geochemische und mineralogische Daten publizierten zu den Liegendtonen (bezogen auf das Hauptflöz) SCHÜTTIG & ASHAUER (1958), ERNST (1958), RIEDEL (1966) und TEICHMÜLLER & ASHAUER (1968) und zu einigen Tonen der Deckschichten BRINKMANN (1976). MÜCKENHAUSEN (1958) wies zuerst auf mögliche Zusammenhänge zwischen der Entstehung der Tone in der Niederrheinischen Bucht und den Graulehmen des Rheinischen Schiefergebirges hin. In sedimentologischen Untersuchungen äußerten sich GLIESE (1971), BOENIGK (1981) und BOERSMA et al. (1981) auch zur Genese der in den Ville-Tagebauen anstehenden Tonschichten. Die hydrogeologische Situation in der Kölner Bucht ist durch mehrere Grundwasserstockwerke gekennzeichnet. Die Verbreitung der Tone in verschiedenen Tiefenniveaus führte zu dieser Differenzierung (QUITZOW 1954, BALKE 1973). In den letzten Jahren wird

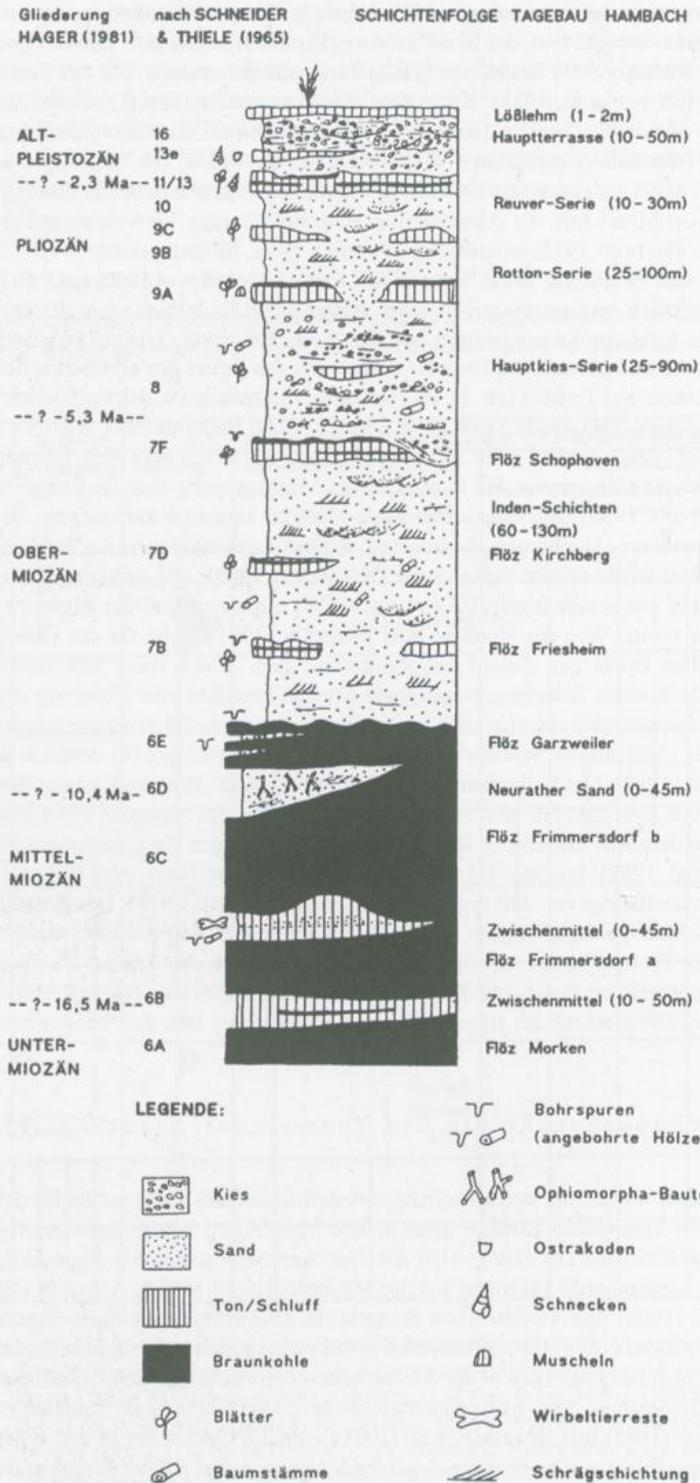


Abbildung 2. Schematische Darstellung der untersuchten Schichtenfolge in der südlichen Niederrheinischen Bucht

den Tönen als mögliche mineralische Abdichtung von Deponien verstärkt Aufmerksamkeit geschenkt (DÜLLMANN 1987, HOFFMANN 1987).

#### 1.4. Schichtenfolge/Stratigraphische Abfolge der untersuchten Schichten

Die Schichtenfolge im Rheinischen Braunkohlenrevier wird nach SCHNEIDER & THIELE (1965) und HAGER (1977) mit Kurzbezeichnungen versehen. Diese finden im weiteren Text ebenfalls Verwendung. Die bearbeitete Schichtenfolge umfaßt einen Zeitraum vom Ober-Oligozän bis Altpleistozän. Die Mächtigkeit der Schichten nimmt zum tieferen Erftbecken hin zu. Die Schichtenfolge soll vor allem am Beispiel des Tagebaus Hambach erläutert werden (Abb. 2).

Die Köln-Schichten (Unterflöz-Gruppe, hier Schicht 2-5) bestanden im Tagebau Fortuna aus gutsortierten Sanden mit Einschaltungen von geringmächtigen Tönen und Braunkohlen (Gesamt-mächtigkeit ca. 60 m). Die Sande zeigen häufig Spurenfossilien (Ophiomorpha-Bauten und Stopfbauten von Muscheln) und Steinkerne von Mollusken, die ein flachmarines bis brackisches Milieu anzeigen (GLIESE 1971). Die Oligozän/Miozän-Grenze wird in den oberen Bereich der Köln-Schichten (Schicht 4C) gelegt, wie neuere Funde von Molluskenfaunen belegen (freundl. pers. Mitteilung v. d. HOCHT). Man muß von einer größeren Schichtlücke zwischen Ober-Oligozän (Chatt) und oberen Unter-Miozän (Hemmoor) ausgehen (GLIESE 1971). Die Tonschichten im Liegenden des Hauptflözes werden als Liegendtone bezeichnet.

Die Ville-Schichten (Hauptflöz-Gruppe, Schicht 6) beinhalten das Hauptflöz des Rheinischen Braunkohlenreviers, das im Zentralteil der Bucht bei Bergheim eine zusammenhängende Mächtigkeit von 100 m erreicht. Es gliedert sich in die Teilflöze Morken, Frimmersdorf und Garzweiler. Nach Westen und Norden sind klastische Zwischenmittel ausgebildet, die aus marinen Sanden oder limnisch-fluviatilen Tönen und Schluffen bestehen können. Diese werden hier Zwischenmitteltone genannt. Im Tagebau Hambach wurden in einer mächtigen Folge des Zwischenmittels Frimmersdorf a/b Wirbeltierreste von Reptilien, Säugetieren, Knochen- und Haifischen gefunden (freundl. pers. Mitteilung v. d. HOCHT 1988, STRAUCH 1989). Der marine Neurather Sand (Zwischenmittel Frimmersdorf b/Garzweiler III) keilt im Tagebau Hambach nach SE hin aus. Die gutsortierten Sande enthalten, wie es in den anderen Tagebauen (SEIDEL 1957) auch zu beobachten ist, Ophiomorpha-Bauten. Die Flözoberflächen können Bohrspuren von fluviatilen Bohrmuscheln, (HERMANN & v. d. HOCHT 1990, BERTLING et al. 1995, BERTLING & HERMANN 1996) aufweisen.

Mit den Inden-Schichten (Oberflöz-Gruppe, Schicht 7) beginnen die Deckschichten. Sie überlagern diskordant das oberste Flöz Garzweiler des Hauptflözes. Es handelt sich um schrägschichtete Mittel- und Grobsande mit tonig-schluffigen Einschaltungen und geringmächtigen Braunkohlenflözen. Die Tone - wie im gesamten Schichtprofil - enthalten Blätter auf den Schichtflächen. In Sandlinsen sind stellenweise Früchte, Samen und Zapfen zu finden (v. d. BURGH 1987, 1988). Das Braunkohlenband des obersten Tons (Ton 7F) kann mit dem Flöz Schophoven der zeitgleichen Oberflöz-Gruppe auf der Rur-Scholle parallelisiert werden (ZAGWIJN & HAGER 1987). Hier wird das Oberflöz im Tagebau Inden abgebaut. Auffallend ist, daß die Braunkohlenoberfläche des Tons 7F Bohrspuren zeigt, wie sie vom Hauptflöz bekannt sind (HERMANN 1986). Die Bohrlöcher treten auch an einer Tonoberfläche in der unteren Partie der Inden-Schichten auf (Abb. 2).

Nach einer weiteren Erosionsdiskordanz folgt die Hauptkies-Serie (Schicht 8) mit fluviatilen Grobsanden und Kiesen. Tonige Einschaltungen sind selten. Der alte Begriff „Kiesoolith-Schichten“ sollte nicht mehr verwandt werden, da die namensgebenden verkieselten jurassischen Gesteinsreste auch in den Liegendschichten des Hauptflözes zu finden sind (LIETZ & MANZE 1976). Die Grenze Miozän/Pliozän wird zwischen den Schichten 7 und 8 (ANDERSON 1966: 4, BOENIGK 1981: 253, v. d. BRELIE 1981b: 268) oder in der unteren Hälfte der Hauptkies-Serie vermutet (ANDERSON 1966: 4, v. d. BRELIE 1981b: 268). MOHR (1984: 112) legt die Grenze bereits in die oberste Partie der Inden-Schichten. Die markante Abnahme des Granatgehalts von den Inden-Schichten zur Hauptkies-Serie (KAHMANN 1937, SINDOWSKI 1939, BOENIGK 1981) läßt sich auch für den Tagebau Hambach bestätigen (HERMANN 1986).

Es schließt sich die Rotton-Serie (Schicht 9) an. Im Bereich des ehemaligen Tagebaus Frechen tritt die namensgebende Rotfärbung auf. Grau-grüne Farben herrschen sonst bei den tonig-schluffigen Schichten 9A und 9C vor. Im Tagebau Bergheim ist das Braunkohlenflöz (Flöz „Bergheim“) des unteren Rottons (Schicht 9A) abbauwürdig. Schicht 9B besteht aus fluviatilen Sanden. Typisch sind „Blättersande“, wie sie auch in den Inden-Schichten und der Hauptkies-Serie zu beobachten sind (GROSS 1986, HERMANN 1986). Meist unmittelbar über den Blättern ist der Sand pyritisieret und verfestigt, so daß die Blattbereiche nach längerem Freiliegen der Böschungen herauspräpariert sind und die Schichtung des Sandes nachzeichnen. Zapfen sind in Rinnenfüllungen zu finden.

Die folgende Reuver-Serie (Schicht 10 und 11/13) beinhaltet den Sand 10 und den tonig-schluffigen Komplex 11/13. Ton 11 und 13 werden erst im tieferen Erftbecken zur Ville hin durch den Sand 12 getrennt. Die Grenze Pliozän/Pleistozän wird oberhalb des Tons 11 festgelegt (vgl. KOWALCZYK 1969, BOENIGK 1978b, v. d. BURGH 1978, BOENIGK et al. 1974, 1979, v. d. BRELIE 1981a). Der Ton 13 gehört dem Tiglium an. Geringmächtige Braunkohlenflöze können eingeschaltet sein. Mit rostbraunen Farben heben sich die Kiese der Hauptterrassen (Schicht 16, hier jüngere und ältere Hauptterrasse zusammengefaßt) von den anderen Schichten ab. Die Schotter werden von Löß und Lößlehm überlagert.

Während in den Liegendtonen marine Beeinflussungen nachweisbar sind, wurden die Zwischenmittel- und Deckschichtentone unter fluviatil-limnischen Bedingungen abgelagert. Besonders die Tone der Deckschichten weisen deutlich wechselnde Mächtigkeiten auf, die von wenigen Metern bis zu rund 15 Metern reichen kann. Teilweise werden die Tone erosiv durch fluviatile Rinnekomplexe vertreten. Auffällig ist das Auftreten von hydromorphen Paläoböden in Assoziation mit geringmächtigen Braunkohlenflözen (HERMANN 1992).

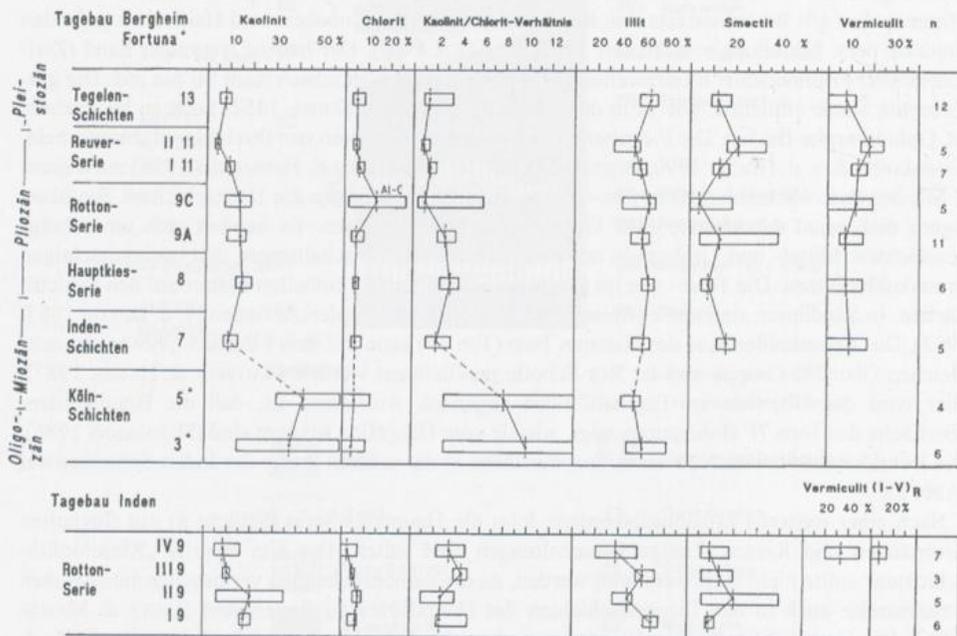


Abbildung 3. Die tonmineralogische Entwicklung (<2 µm-Fraktion) in den Tonschichten der Tagebaue Bergheim und Fortuna\* (hier zusammengefaßt) und Inden. Dargestellt sind die Minima, Maxima und Mittelwerte der Tonmineralanteile. Die Abkürzung Al-C gibt das Vorkommen von Aluminium-Chlorit an. Die Smectitspalte beinhaltet hier auch irreguläre Illit/Smectit-Wechselagerungsminerale

### 1.5. Probennahme und Analytik

200 Proben wurden bei der Aufnahme von 24 Profilen in frischem Zustand bergfeucht entnommen. Eine Probe des marinen *Nucula*-Tons (Mittel-Oligozän) aus dem Schacht Mazerath bei Erkenlenz wurde zum Vergleich von Herrn Dipl.-Geol. von der HOCHT (Rheinbraun A.G.) zur Verfügung gestellt. Im Labor erfolgte die Trocknung im Trockenschrank bei 40-50 °C. Für den weiteren Analysengang der Proben wurden, sofern es nötig war, die organische Substanz, die Fe-Oxide/Hydroxide und die Carbonate (Calcit, Dolomit und Siderit) nach den von TRIBUTH & LAGALY (1986) beschriebenen Methoden entfernt. Ferner wurden nachträglich 8 Proben aus 6 Tonhorizonten des Tagebaus Bergheim (Liegendes Flöz Kerpen, Inden Schichten, Hauptkies-Serie, Unterer Rotton, Oberer Rotton und Reuver Serie) genommen. Ergänzend zu den vornehmlich röntgendiffraktometrischen Analysen der 200 Proben wurden Dünnschliffe, Schlämmrückstände der Schluff- und Feinsandfraktion, Haupt- und Spurenelemente und der Gehalt an organischem Kohlenstoff ( $C_{org}$ ) untersucht. Die beiden Tonproben mit den gegensätzlichsten Daten hinsichtlich Korngrößenverteilung, Petrographie und Geochemie sind nachfolgend kurz dargestellt (Tonprobe aus dem Liegenden von Flöz Kerpen (Schicht 5A) und Tonprobe aus dem Unteren Rotton - 1 m unter dem Hangenden der Schicht 9A). Die Verfahren zur qualitativen und halbquantitativen Tonmineralanalyse sind bei HERMANN (1992) näher beschrieben.

## 2. Diskussion der tonmineralogischen Untersuchungen

### 2.1. Tonmineralogische Entwicklung der Tonhorizonte in den Tagebauen Bergheim, Fortuna, Hambach und Inden

Die tonmineralogische Zusammensetzung der Liegendtone, Zwischenmitteltone und der Tone der Deckschichten wird für die Tagebaue Bergheim, Fortuna, Hambach und Inden dargestellt (Abb. 3 und 4).

#### 2.1.1. Liegendtone

Die Tonprofile der Köln-Schichten (Tagebau Fortuna) weisen eine Tonmineralassoziation ( $< 2 \mu\text{m}$ -Fraktion) von Kaolinit, Illit und primärem Chlorit auf. Kaolinit hat einen durchschnittlichen Anteil von 35-40 % (Abb. 3). Illit dominiert mit mittleren Anteilen von 50-60 %. Chlorit tritt nur untergeordnet auf. Das Kaolinit/Chlorit-Verhältnis liegt im Mittel bei 8 bzw. 10. Das Kaolinit/Chlorit-Verhältnis ist für die spätere Interpretation der Ergebnisse von besonderer Bedeutung. Der Fireclay-Anteil beträgt durchschnittlich 20 % (HERMANN 1992).

#### 2.1.2. Zwischenmitteltone

Kaolinit, Illit, Smectit, Vermiculit, quellfähige irreguläre Wechsellagerungen (Illit/Smectit) und primärer Chlorit bilden das Tonmineralspektrum der tonigen Zwischenmittel des Hauptflözes (Villemerschichten) im Tagebau Hambach. Illit hat mit durchschnittlich 50-65 % den größten Anteil (Abb. 4). Smectit weist mittlere Anteile von 15-20 % auf. Jedoch variiert Smectit mengenmäßig deutlich. Vermiculit ist erst im obersten Profilabschnitt des Zwischenmittels Frimmersdorf a/b mit durchschnittlich 10 % nachweisbar. Kaolinit ist im Mittel mit 15 % vertreten. Chlorit kommt mit einem mittleren Anteil von 5 % vor. Das Kaolinit/Chlorit-Verhältnis liegt im Durchschnitt zwischen 4 und 6. Der Fireclay-Anteil schwankt zwischen 10 und 26 % (HERMANN 1992).

#### 2.2.3. Tone der Deckschichten

a) Tagebau Hambach: Die Tonminerale Kaolinit, Illit, Smectit, Vermiculit, primärer und sekundärer Chlorit und quellfähige irreguläre Wechsellagerungsminerale (Illit/Smectit) kennzeichnen die Tone der Deckschichten. Illit dominiert quantitativ mit durchschnittlichen Anteilen von 50 bis 65 % (Abb. 4). Smectit weist im Mittel Werte zwischen 10 und 40 % auf. Zwei Maxima treten in den Tönen der Inden-Schichten (Schichten 7B und 7D) besonders im Reuver-Ton (Zone II) auf. Vermiculit kommt im Durchschnitt mit einem Anteil zwischen 5 und 20 % vor. Im Reuver-Ton

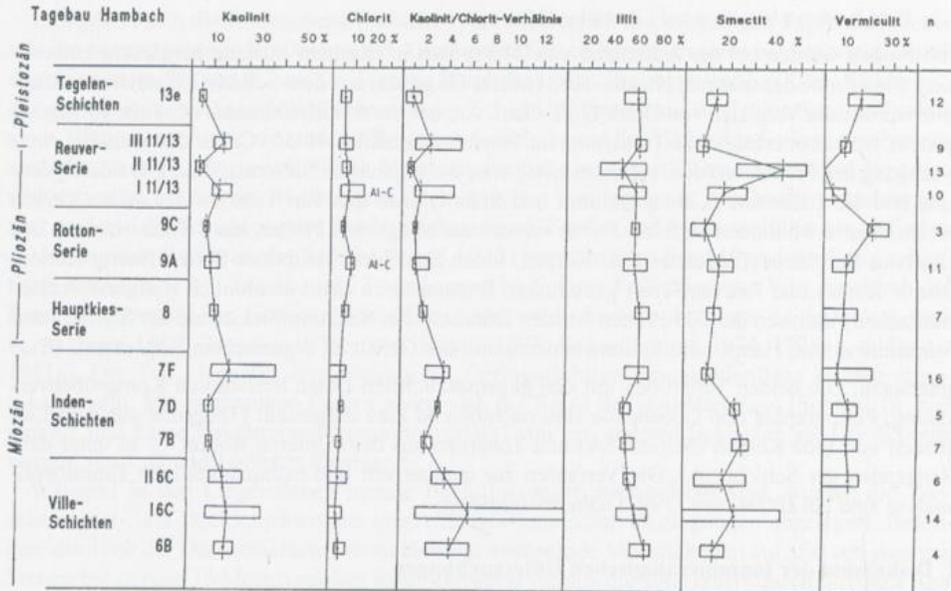


Abbildung 4. Die tonmineralogische Entwicklung (<math>< 2 \mu\text{m}</math>-Fraktion) in den Tonschichten des Tagebaus Hambach. Dargestellt sind die Minima, Maxima und Mittelwerte der Tonmineralanteile. Die Abkürzung Al-C gibt das Vorkommen von Aluminium-Chlorit an. Die Smectitspalte beinhaltet auch irreguläre Illit/Smectit-Wechselagerungsminerale

(Zone II) ist Vermiculit nicht nachweisbar. Im oberen Rotton (Schicht 9C) ist ein Maximum mit 20 % ausgebildet. Kaolinit ist mit durchschnittlichen Anteilen von 5 bis 15 % vertreten. Im Ton 7F ist eine größere Schwankung des Kaolinitanteils zu beobachten. Chlorit weist Mittelwerte zwischen 5 und 10 % auf. Al-Chlorit konnte im unteren Rotton und im Reuver-Ton (Zone I) nachgewiesen werden. Das Kaolinit/Chlorit-Verhältnis zeigt eine Variationsbreite mit durchschnittlichen Werten zwischen 0,7 und 3,7. Tendenziell verschiebt sich das Verhältnis von älteren zu jüngeren Tonschichten zugunsten des Chlorits. Der Fireclay-Anteil beträgt durchschnittlich 5 bis 15 % (HERMANN 1992).

b) Tagebau Bergheim: Die tonigen Deckschichten im Tagebau Bergheim setzen sich aus Kaolinit, Illit, Smectit, Vermiculit, primärem und sekundärem Chlorit und aus irregulären Wechselagerungen (Illit/Smectit) zusammen. Quantitativ überwiegt der Illit mit durchschnittlichen Anteilen von 50 bis 65 % (Abb. 3). Smectit variiert im Mittel zwischen 5 und 20 %. Maxima sind in einem Ton der Inden-Schichten und im Reuver-Ton (Zone II) zu beobachten. Vermiculit weist im Durchschnitt Anteile von 8 bis 18 % auf. Im Reuver-Ton (Zone II) ist ein Maximum nachzuweisen. Für den Kaolinit sind durchschnittliche Anteile zwischen 5 und 15 % charakteristisch. Chlorit hat ebenfalls durchschnittliche Werte von 5 bis 15 %. Im oberen Rotton besteht durch das Auftreten von sekundärem Chlorit ein Chloritmaximum und entsprechend ein deutlich variables Kaolinit/Chlorit-Verhältnis von 0,4 bis 6,1. Im Durchschnitt liegt das Kaolinit/Chlorit-Verhältnis in den Tönen der Schichtenfolge zwischen 0,9 und 3,3. Tendenziell wird das Verhältnis zu jüngeren Tonschichten geringer. Der Fireclay-Anteil variiert mit durchschnittlichen Anteilen zwischen 6 und 12 % (HERMANN 1992).

c) Tagebau Inden: Hier wurde die Rotton-Serie aufgenommen, die dort den einzigen bedeutenden tonigen Anteil an der Schichtenfolge darstellt. Die Inden-Schichten enthalten durch die Ausbildung des Oberflözes keine Tone. Die Hauptkies-Serie wird durch größer klastische Sedimente

bestimmt. Die folgende Rotton-Serie wird von der Hauptterrasse erosiv überlagert. Die Rotton-Serie beinhaltet vier Tonmineralzonen in vertikaler Abfolge. Die Tonmineralassoziationen sind durch Kaolinit, Illit, Smectit, Vermiculit, primären Chlorit, irreguläre Wechsellagerungen (Illit/Smectit) und reguläre Wechsellagerungen (vermutlich Illit/Vermiculit) gekennzeichnet. Illit überwiegt mit Anteilen zwischen 40 und 70 % (Abb. 3). Smectit weist durchschnittlich Werte von 10 bis 20 % auf. Vermiculit tritt nur im obersten Profilabschnitt mit einem mittleren Anteil von 33 % auf. Kaolinit variiert im Durchschnitt zwischen 9 und 20 %. Chlorit ist nur untergeordnet mit Werten zwischen 3 und 7 % vertreten. Das Kaolinit/Chlorit-Verhältnis liegt zwischen 2,6 und 4,5. Reguläre Wechsellagerungen sind mit einem durchschnittlichen Anteil von 7 % nur in der obersten Profilzone zu beobachten. Durchschnittliche Fireclay-Anteile von 15-20 % werden erreicht (HERMANN 1992). Die Kaolinitanteile in den Deckschichtentonen der Hauptkies-Serie und der Rotton-Serie sind in den randlichen Tagebauen Inden und Bergheim höher als im zentralen Tagebau Hambach. Weiterhin fällt das größere Smectitmaximum in der Reuver-Serie des Tagebaus Hambach im Vergleich zu Bergheim auf.

## 2.2. Stratigraphische Verwertbarkeit der tonmineralogischen Resultate

Den tonmineralogischen Untersuchungen kommt eine stratigraphische Bedeutung zu, wenn man durchgreifende diagenetische Umwandlungen der Tone nach ihrer Ablagerung für ausgeschlossen hält. In den bearbeiteten Tonschichten der südlichen Niederrheinischen Bucht sind zwei Haupttonmineralzonen dokumentiert. Die Liegendtone heben sich in ihrer begrenzten Tonmineralassoziation mit Kaolinit, Illit und untergeordnet Chlorit von den Tönen der Zwischenmittel und Deckschichten ab, die ein sehr variables Tonmineralspektrum beinhalten. SCHÜTTIG & ASHAUER (1958), RIEDEL (1966) und SPICHER (1985) wiesen für die ehemaligen Tagebaue der mittleren Ville in den Tonschichten unterhalb des Hauptflözes - u.a. im Sibylla-Ton der Ville-Schichten - ebenfalls eine Tonmineralassoziation nach, die hauptsächlich aus Kaolinit und Illit besteht. Erst in den tonigen Zwischenmitteln des Hauptflözes (Ville-Schichten) treten Smectit und Vermiculit auf. Sie bleiben in den Tönen der Deckschichten erhalten. Illit dominiert quantitativ. Das Smectitmaximum im Reuver-Ton scheint von größerer regionaler und stratigraphischer Bedeutung zu sein. Die Tonmineralzonen I und II stimmen in den Profilen der Reuver-Serie der Tagebaue Hambach und Bergheim überein. Im Bereich der Ville treten die Tone 11 und 13 getrennt auf. Zwischen beiden Schichten wird die Pliozän/Pleistozän-Grenze angenommen. Die ähnlichen Tonmineralanteile in der Zone III des Hambacher Reuver-Profiles (Schicht 11/13) und im Ton 13 des Tagebaus Bergheim können stratigraphisch verwendet werden. Danach würde im Tagebau Hambach die Pliozän/Pleistozän-Grenze zwischen den Tonmineralzonen II und III der Reuver-Serie verlaufen. Tonmineralogische Daten von BRINKMANN (1976: 46, Abb. 15) lassen vermuten, daß im Reuver-Ton des ehemaligen Tagebaus Frechen hohe Smectitanteile vorhanden waren. Leider gelang BRINKMANN keine Differenzierung des 1,42nm-Reflexes, so daß nur von einer „Chlorit-Montmorillonit“-Gruppe die Rede ist. HOFFMANN (1987) gibt für den Reuver-Ton aus der Tongrube Bracht bei Brüggen einen deutlichen Smectitanteil an. Bei den Darstellungen der tonmineralogischen Entwicklung in der Schichtenfolge der Tagebaue (Abb. 3 und 4) ist die Abnahme des Kaolinit/Chlorit-Verhältnisses zugunsten des Chlorits vom Liegenden zum Hangenden charakteristisch.

## 2.3. Vergleich der Tertiärtone der südlichen Niederrheinischen Bucht mit der mesozoisch-tertiären Verwitterungsdecke des Rheinischen Schiefergebirges

Regional übergreifende Prozesse scheinen für die Ausbildung der Tonmineralzonen in der südlichen Niederrheinischen Bucht verantwortlich gewesen zu sein. Bereits MÜCKENHAUSEN (1958) und PFLUG (1959) wiesen auf eine Verbindung zwischen dem Abtrag der Graulehne, die das Produkt der mesozoisch-tertiären Verwitterung im Rheinischen Schiefergebirge darstellen, und den Tönen der südlichen Niederrheinischen Bucht hin. Der tonmineralogische Aufbau dieser Verwit-

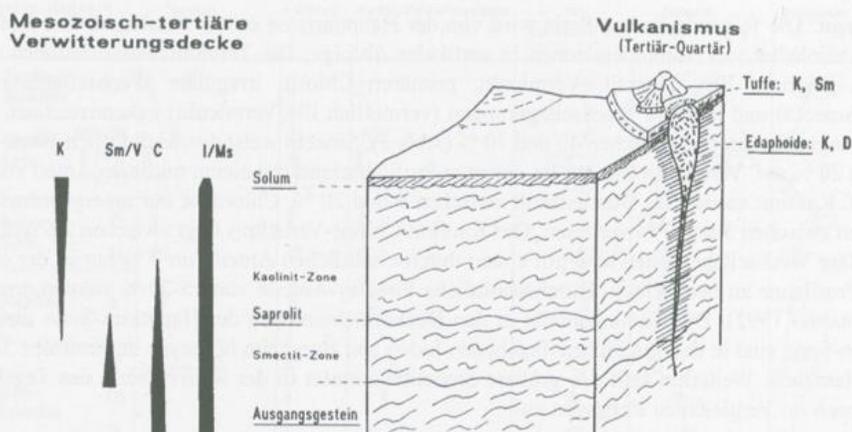


Abbildung 5. Charakterisierung des Tonmineralbestandes der mesozoisch-tertiären Verwitterungsdecke, des vulkanogenen Gesteinszersatzes und der verwitterten Tuffe im Rheinischen Schiefergebirge aus Literaturdaten (siehe Text) [Legende: K = Kaolinit, Sm = Smectit, V = Vermiculit, C = Chlorit, I = Illit, Ms = Muskovit, D = Dickit]

terungsdecke war seitdem intensiver Forschungsgegenstand (MÜCKENHAUSEN 1953-1979b, ECKHARDT 1960, GRABERT 1962, JARITZ 1966, GRABERT et al. 1969, KROLL & BORCHERT 1969a-c, v. ZEJSCHWITZ 1969, KÖSTER 1980, MÜCKENHAUSEN & SCHALICH 1982, SPIES 1986, FELIX-HENNINGSSEN 1990). Aus den paläozoischen Gesteinen bildete sich von Mittel-Jura bis Alttertiär unter tropischen Klimaten eine mächtige Verwitterungsdecke (Saprolit).

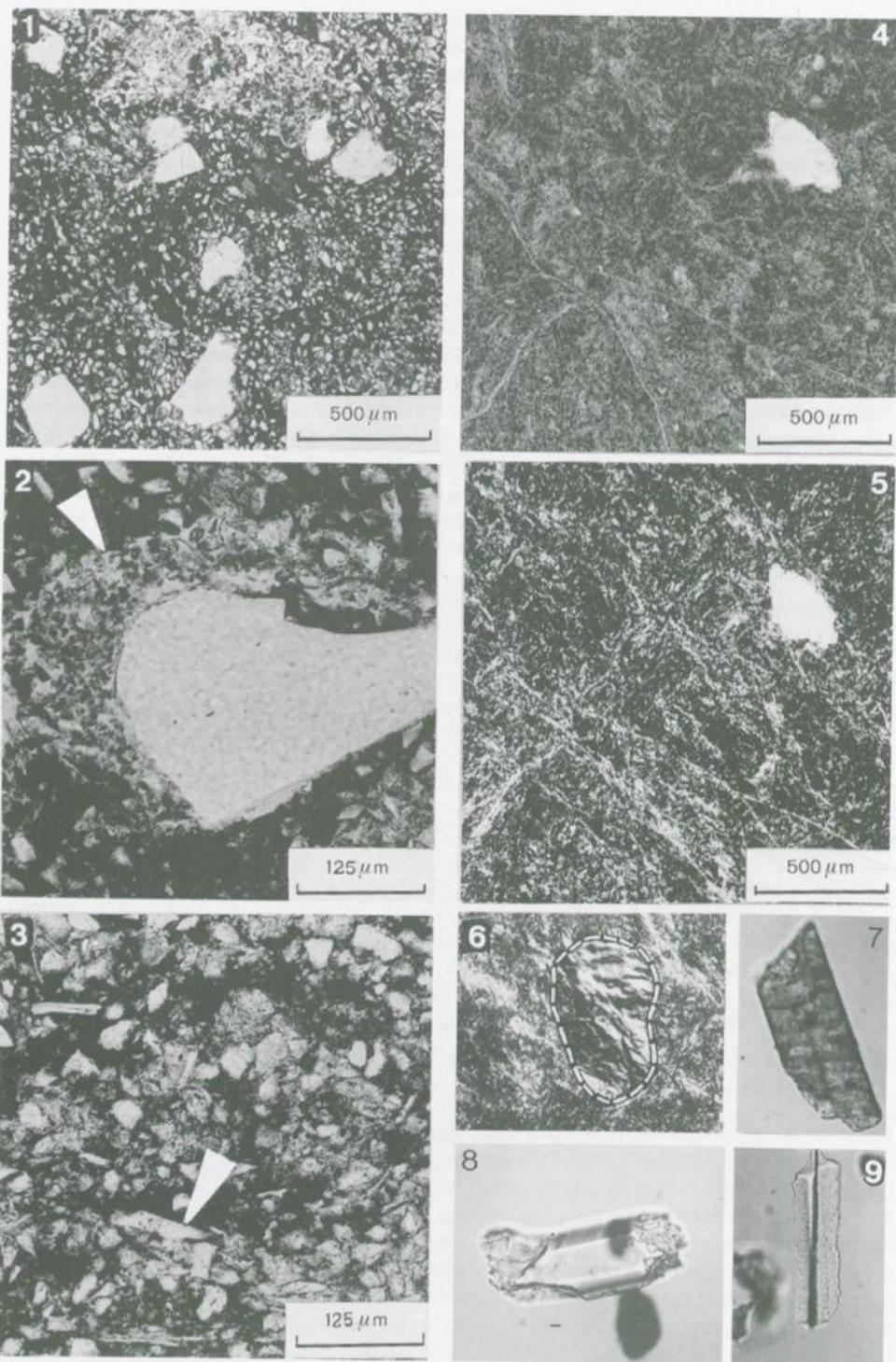
Mit dem Begriff Saprolit wird verwittertes Gestein bezeichnet, das sich bei unveränderten Gefügemerkmalen durch mineralogische und chemische Veränderungen vom Ausgangsgestein unterscheidet (CAROLL 1970: 19 f.). In Abb. 5 sind die Ergebnisse aus Untersuchungen zusammengetragen, die an tektonisch geschützten Restprofilen der Verwitterungsrinde durchgeführt wurden. Über dem unverwitterten paläozoischen Ausgangsgestein mit den Tonmineralen Illit/Muskovit und Chlorit folgt eine Saprolitzone, in der Smectit, aber auch Vermiculit und Wechsellagerungsminerale hinzutreten (ECKHARDT 1960, FELIX-HENNINGSSEN & SPIES 1985, SPIES 1986, FELIX-HENNINGSSEN 1990). Die Entwicklung der neu auftretenden Tonminerale geht auf die Umwandlung von Chlorit zurück. Die Mächtigkeit dieser Zone variiert zwischen 10 und 30 m. In der überlagernden Tonmineralzone tritt Kaolinit auf Kosten des Chlorits hinzu. Smectit und Vermiculit sind nicht mehr vorhanden. Chlorit kann im oberen Bereich völlig in Kaolinit übergehen, so daß nur noch eine Tonmineralassoziation von Kaolinit und Illit besteht. Die Mächtigkeit der Zone kann über 100 m betragen (SPIES 1986). Bei VALETON (1983) werden vergleichbare Saprolitzonen aufgrund der charakteristischen Tonminerale als Smectit- bzw. Kaolinitzone bezeichnet. Im eigentlichen Boden, dem „Solum“, mit entsprechend pedogenem Gefüge kann die Kaolinitbildung sogar auf die Umwandlung von Illit zurückgehen (FELIX-HENNINGSSEN & WIECHMANN 1985, FELIX-HENNINGSSEN 1990). Durch ascendente hydrothermale Wässer des tertiären und quartären Vulkanismus im Rheinischen Schiefergebirge (Siebengebirge, Westerwald und Eifel, vgl. Tab. 1) kam es zusätzlich zu einem Gesteinszersatz (JARITZ 1966, SPIES & FELIX-HENNINGSSEN 1985, SPIES 1986, FELIX-HENNINGSSEN 1990). Zur Unterscheidung von Verwitterungsbildungen wurde der Begriff „Edaphoid“ eingeführt (KRESS-VOLTZ 1964). Kaolinit und Dickit treten als Tonmineralneubildungen auf (Abb. 5). Diese Zersatzzone kann am unteren Ahrtal bis über 500 m unter die Tertiärbasis reichen (SPIES 1986). Die Übereinstimmung der Tonmineralzonen im Saprolit mit den beiden tonmineralogischen Hauptzonen in den Tonen der südlichen Niederrheinischen Bucht läßt vor allem vor dem Hintergrund der räumlichen Nähe an genetische Zusammenhänge beider Einheiten denken. Danach ist für das Tertiär im wesentlichen von einer sukzessiven Abtragung der Saprolitzonen im nördlichen Rheinischen Schiefergebirge auszugehen, wobei die Erosion durch die aktive Hebung

des Rheinischen Massivs mitbestimmt wurde. Das erodierte Material kam in der vorgelagerten, südlichen Niederrheinischen Bucht wieder zum Absatz.

Folgender Sedimentations- bzw. Abtragungsablauf kann rekonstruiert werden:

- Bis Unter-Miozän wurde die oberste Saprolitzzone abgetragen und in Form von kaolinit- und illitführenden Liegendtonen im Süden der Niederrheinischen Bucht wieder abgelagert. Die tonmineralogische Zusammensetzung der Liegendtone zeigt deutliche Parallelen zu den tertiären Tonvorkommen von Witterschlick, Röttgen und Adendorf und der Tongrube Zievel des Antweiler Grabens am Südrand der Bucht (RIEDEL 1966, RADZEWSKI 1968, TEICHMÜLLER & ASHAUER 1968). Weiterhin sind vergleichbare Tonmineralassoziationen aus den tertiären Tonen der intramontanen Becken im Rheinischen Schiefergebirge bekannt geworden (vgl. für die Westerwälder Tone AHRENS 1960, 1964, RADZEWSKI 1968, KROMER 1980, AHORNER 1993; für den Bereich des Neuwieder Beckens BOTTKE 1963; für das Eckfelder Tonvorkommen STADLER in: v. d. BRELIE et al. 1969). Die stratigraphische Position dieser Vorkommen reicht vom Paläozän des Antweiler Grabens (OEHMS 1980) bis zum Unter-Miozän. Eine zeitliche Beschränkung der Abtragung nur auf das „Altmiozän“ (DAHME-AHRENS 1982) ist daher nicht dokumentiert. Demnach kann von einer weitgehenden Abspülung der obersten Zone der Verwitterungsdecke bis zum Ende des Unter-Miozäns ausgegangen werden, d.h. daß mindestens 100 m des Saprolits abgetragen wurden. Eine Abschätzung der Abtragsdauer und -geschwindigkeit ist nicht möglich, da bis zum Alttertiär eine aktive Saprolitbildung anhielt. Außerdem kann keine befriedigende Angabe zur Ausgangsmächtigkeit der Zone gemacht werden.
- Mit Beginn der Hemmoor-Stufe (Oberes Unter-Miozän) setzte, durch den Nachweis von Smectit und Vermiculit in den tonigen Zwischenmitteln der Hauptflöz-Gruppe belegt, die Erosion der darunter folgenden Saprolitzzone ein. Eine Erklärung für das Smectitmaximum in der Reuver-Serie (Ober-Pliozän) der Niederrheinischen Bucht könnte in der Abtragung der Smectitanreicherung an der Saprolitbasis (ECKHARDT 1960) zu suchen sein. Neben der Smectitzufuhr durch die Saprolitabtragung wird auch Smectit abgeschwemmt worden sein, der aus verwitterten tertiären Tuffen im Rheinischen Schiefergebirge stammte (AHRENS 1964, BALLMANN 1972, HEITFELD et al. 1977, NEGENDANK et al. 1982).
- Ab der Wende Pliozän/Pleistozän scheint verstärkt die Erosion von unverwittertem Gestein stattgefunden zu haben. Die tonmineralogischen Daten der Tegelen-Schichten (Schicht 13, Altpleistozän) zeigen, daß kein abrupter Wechsel im Tonmineralspektrum eintrat, sondern nur eine weitere Reduzierung der Kaolinit- und Smectitanteile festzustellen ist. Auch in den heutigen Sedimenten des Rheins (<2 µm-Fraktion) treten bei Illitdominanz noch Kaolinit, Smectit und Chlorit auf (IRION 1983: Tab. 1). Dies ist auch verständlich, wenn man das heutige räumliche Nebeneinander von konservierten Bereichen der Verwitterungsdecke und der unverwitterten Ausgangsgesteine bedenkt. Für den Erhalt der heute noch vorhandenen Saprolitreste (SPIES 1986) sind differenzierte tektonische Prozesse von Hebung und Senkung verantwortlich gewesen.

Weiterhin spiegelt die Abnahme des Kaolinit/Chlorit-Verhältnisses in den Tonschichten der südlichen Niederrheinischen Bucht die Zufuhr von stetig geringer verwittertem Saprolitmaterial wider. Die vereinzelt erhöhten Fireclay-Anteile von durchschnittlich 20 % in den Liegendtonen und tonigen Zwischenmitteln könnten auf die Umlagerung von fossilen Böden aus dem Bereich des Rheinischen Schiefergebirges zurückgehen. FELIX-HENNINGSSEN (1990: 88 f.) fand in dem autochthonen präoligozänen Bodenprofil „Bengen“ deutlich höhere Fireclay-Anteile (maximal 76 % in der Tonfraktion) als im unterlagernden Saprolit. Die durchschnittlichen Fireclay-Anteile von 10 % in den Saprolitzonen stimmen mit den Fireclay-Anteilen in den untersuchten Tonschichten der südlichen Niederrheinischen Bucht überein (HERMANN 1992: 62, 64), was ein weiteres Argument für den genetischen Zusammenhang beider Einheiten darstellt. Dickit wurde, wie bereits schon bei RIEDEL (1966) und BRINKMANN (1976), nicht nachgewiesen. Offensichtlich ist der Eintrag von vulkanogenem Dickit aus dem Bereich des Rheinischen Schiefergebirges zu vernachlässigen.



Mit Hilfe der Zwischenmittel- und Deckschichtentone können annäherungsweise Aussagen über die Abtragung der smectitreichen Saprolitzone gemacht werden. Der Abtragungszeitraum umfaßte ungefähr 15 Mio. Jahre (von der Grenze Unter-/Mittel- Miozän bis Grenze Plio-/Pleistozän). Bei einer Mächtigkeit von 10 bis 30 m ergibt sich für das Rheinische Schiefergebirge ein durchschnittlicher Erosionsbetrag von 0,7 bis 2,0 m pro 1 Mio. Jahren. QUITZOW (1982) kommt bei Untersuchungen in der Osteifel für den Zeitraum von Oligozän bis Wende Miozän/Pliozän auf durchschnittliche Abtragungsbeträge zwischen 1,8 und 2,1 m pro 1 Mio. Jahren. QUITZOW benutzte für seine Berechnungen die Höhenniveaudifferenzen zwischen unter Vulkaniten gelegenen Rumpfflächenresten und ungeschützten Positionen. Dabei stellten radiometrische Altersdaten der Vulkanite für die Abtragsabschätzung eine zuverlässige Basis dar. Beide Abschätzungen stimmen zumindest in ihren Größenordnungen überein und geben eine Vorstellung über die Abtragsgeschwindigkeit während des Neogens im Rheinischen Schiefergebirge.

Für das marine Ober- und Mittel-Oligozän der nördlichen Niederrheinischen Bucht liegen im Vergleich zur südlichen Niederrheinischen Bucht unterschiedliche tonmineralogische Daten vor, da Smectit als weitere Tonmineralphase auftritt. RIEDEL (1966: 13) gibt für die tiefen Grafenberger Sande, den Septarienton und den Ratinger Ton aus dem Schacht Tönisberg - zwischen Kempen und Moers - eine Tonmineralassoziation von Illit, Montmorillonit und Kaolinit (<6 µm-Fraktion) an. Die Untersuchung der mittel-oligozänen Nucula-Ton-Probe aus dem Schacht Matzerath bei Erkelenz (Probe N) ergab ebenfalls ein Tonmineralspektrum (<2 µm-Fraktion) von Illit (75 %), Smectit (20 %) und Kaolinit (5 %). Der vergleichbare Rupelton von Boom in Belgien liefert in der quantitativen Reihenfolge von Smectit, Illit und Kaolinit (<2 µm-Fraktion) eine ähnliche Tonmineralzusammensetzung (DECLERER et al. 1983). Die Herkunft des Smectits kann strömungsbedingt als Nordkomponente gedeutet werden. SINDOWSKI (1939) wies anhand der metamorphen Schwermineralassoziationen im Mittel-Oligozän der nördlichen Niederrheinischen Bucht Strömungen aus nördlicher Richtung nach. Die Erosion von smectithaltigen Kreidesedimenten, z.B. der Münster-

## Tafel 1.

Fig. 1: Übersicht: Toniger Silt aus Schicht 5A. Beachte die ausgeprägte bimodale Korngrößenverteilung. Die großen Feinsandkörner sind meist isometrisch und kantenrund; die Matrix ist tonig-siltig.

Parallele Nicols

Fig. 2: Ovale rhyolithisches Gesteinsfragment mit Quarzeinsprengling und anhaftender Grundmasse (Pfeil) aus Schicht 5A.

Parallele Nicols

Fig. 3: Übersicht: Splittrig-feinsiltige Tonmatrix. Beachte eckig-kantige bis -splittrige Form der Siltkörner (Pfeil); Schicht 5A.

Parallele Nicols

Fig. 4: Übersicht: Uniformer, extrem feiner Ton (über 80 % Gehalt der <2 µm-Fraktion) mit einzelner eckigen Quarzkorn. Beachte maschiges Gefüge des Tons; Schicht 9A.

Parallele Nicols

Fig. 5: Wie Fig. 4, aber unter gekreuzten Nicols. Maschiges Gefüge, das Gefügen aus Böden ähnlich ist (vgl. BULLOCK et al. 1985), tritt deutlich hervor.

Fig. 6: Gerundeter Tonklast von geflammter Innentextur (Umriß gestrichelt) in maschigem Ton - vermutlich vertonte vulkanische Grundmasse (200 µm lang), Schicht 9A.

Gekreuzte Nicols

Fig. 7: Eckiges Spaltstückchen von intensiv pigmentiertem Feldspat vulkanischer Herkunft (200 µm lang), Schicht 9A.

Parallele Nicols

Fig. 8: Idiomorpher prismatischer Quarz mit „ausgefranst“ korrodierten Enden - vermutlich evaporitische Bildung (250 µm lang), Schicht 9A.

Parallele Nicols

Fig. 9: Optisch isotropes, längliches Bruchstück von Bimsstein (270 µm lang), Schicht 9A.

Parallele Nicols

länder Kreidebucht, kann für eine weitere Smectitzufuhr verantwortlich gewesen sein (STARKE 1970, ECKHARDT et al. 1980). Eine Smectitzulieferung aus dem verwitterten Bereich des Rheinischen Schiefergebirges ist unwahrscheinlich, da die Smectitzone des Saproлита noch nicht der Erosion unterlag. Kaolinit und Illit können dagegen als detritische Südkomponente aus umgelagertem Saproлитmaterial stammen.

#### 2.4. Zusätzliche Hinweise aus Dünnschliffen und aus geochemischen Daten einzelner Proben

Die Tonprobe aus Schicht 5A, ein toniger Silt, zeigt unter dem Mikroskop (udM) eine bimodale Korngrößenverteilung (Taf. 1, Fig. 1). Die grobe Fraktion besteht hauptsächlich aus verrundetem Quarz und rhyolitischen Gesteinsfragmenten mit magmatischer Korrosion (Taf. 1, Fig. 2). Die uniforme, feine Tonfraktion führt Beimengungen von eckigem Quarz und Feldspat (Taf. 1, Fig. 3) sowie Spuren von Biotit, gebleichtem Biotit, Muskovit, idiomorphem Zirkon, braunem Spinell, Turmalin und Hornblende. Leukoxen, reichlich Rutilmikrolithen und braune organische Substanz sind in der Matrix eingestreut. Vereinzelt treten im Dünnschliff braune, optisch isotrope Tonbereiche auf. Vermutlich handelt es sich bei ihnen um eine amorphe Vorstufe von Kaolinit-Neubildung aus glasigen Vulkanaschen unter humiden Verwitterungsbedingungen. In der isolierten Silt-/Feinsand-Fraktion finden sich folgende charakteristische Komponenten: höckerige Quarzkörner häufig mit einspringenden Winkeln (magmatisch korrodiert oder aus Bodenhorizonten), violettstichiger Sanidin mit ebenen Kristallflächen und Gangquarze mit Helminth-Einschlüssen. Schwerminerale sind opake Erzminerale, Leukoxen, Rutil (vor allem die Varietät Nigrin), Biotit, sagenitischer Chlorit, Turmalin (oval oder idiomorph mit winzigen Rutilmikrolithen), Zirkon, Staurolith und Disthen. Die Anteile an Haupt- und Spurenelementen sind in Tabelle 2 aufgeführt. Der  $C_{org}$ -Gehalt von 1,29 % ist relativ niedrig für ein Gestein aus einer Braunkohlenfolge.

Die untersuchte Tonprobe aus Schicht 9A, ein reiner Ton, zeigt udM durch vielfältige Zerschierung und führt nur vereinzelt siltgroße Sandkörner (Taf. 1, Fig. 4). Unter gekreuzten Nicols wird die Maschenstruktur der Tonmatrix noch deutlicher (Taf. 1, Fig. 5). Eine vergleichbare Struktur ist bei BULLOCK et al. (1985: 107, Fig. 107g) als für einen Boden typische Pedostruktur (textural pedofeature) abgebildet. Charakteristische Komponenten sind Grobsilt-Körner mit spezifischen Verwachsungen (Taf. 1, Fig. 6); vermutlich handelt es sich um Fragmente vulkanischer Gesteins-Grundmassen. Globulare Schemen wie von vollständig vertonten vulkanischen Blasenräumen, ovale pigmentierte Schemen von mineralogisch instabilen Tonklasten, winzige eckige Feldspat- und Kaolinfragmente treten nur vereinzelt auf. Schnitte von gelbbraunen Pflanzenwurzeln sind verbreitet. Die zerscherte, extrem feine Tonmatrix (87 %  $< 2 \mu\text{m}$ -Fraktion) ist reichlich durchsetzt von winzigen Rutilmikrolithen. In der isolierten Silt-Fraktion treten folgende charakteristische Komponenten auf: Quarz unterschiedlicher Kornform und Polyquarz, eckige Feldspat-Spaltstückchen (Taf. 1, Fig. 7), idiomorphe, ausgefrante Quarzkristalle (Taf. 1, Fig. 8) und optisch isotrope, längliche, scharfkantige Bimsfragmente (Taf. 1, Fig. 9). Schwerminerale - teilweise auffallend große Körner aus vermutlich grobsiltigem Ausgangssediment - sind opake Erzminerale, Leukoxen, Rutil (meist sehr klein, teilweise zu isometrischen Korngruppen zusammengeschweißt), brauner Spinell (Picotit), Biotit, sagenitischer Chlorit, Turmalin, und winziger, idiomorph-isometrischer Zirkon (z.T. zusammengeschweißt). Die Anteile an Haupt- und Spurenelementen sind in Tabelle 2 aufgezählt. Der  $C_{org}$ -Gehalt von 0,37 % ist niedrig für ein Gestein aus einer Braunkohlenfolge.

Die Korngrößen-Verteilung nach Pipett-Analyse bewegt sich zwischen tonigem Silt (Schicht 5A) und ungewöhnlich feinem Ton (Schicht 9A). Die Feinsandanteile beider Proben liegen unter 6 %. Die Dünnschliffuntersuchungen ergaben, daß die ursprünglichen Korngrößen des feinen Tons (Schicht 9A) zur Zeit der Ablagerung erheblich größer waren. Somit spiegeln die vorliegenden Pipett-Analysen - analog zu Beobachtungen aus anderen Tongesteinen meso- und känozoischen Alters - diagenetisch verminderte Partikelgrößen wider. Die deutliche Bimodalität der tonigen Silt-Probe aus Schicht 5A kann entweder zwei unterschiedliche Herkunftsgebiete bzw. Gesteine oder aber unterschiedliche Transportmechanismen (z.B. fluviatil und äolisch) bedeuten.

Tabelle 2. Geochemische Daten für zwei ausgewählte Tonproben (Schicht 5A und 9A)

Schicht	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (SO <sub>3</sub> )	LOI	SUM	
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
9A	52.85	1.146	26.81	2.95	0.016	1.26	0.52	0.17	2.74	0.09	<0.05	11.28	99.83
5A	78.95	2.056	10.24	0.65	0.008	0.4	0.17	0.16	1.46	0.05	<0.05	5.62	99.76

Schicht	(As)	Ba	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Ga	Hf	La	Mo	Nb	Ni
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
9A	15	516	153	10	158	27	24	35	<20	71	<5	15	55
5A	9	299	97	<7	104	17	14	32	<20	65	<5	37	8

Schicht	Pb	Rb	Sc	Sn	Sr	Ta	Th	U	V	W	Y	Zn	Zr
	ppm												
9A	27	208	25	<3	138	<10	23	20	192	11	25	90	149
5A	26	94	12	5	140	10	24	8	128	<10	31	10	446

Der Dünnschliff des tonigen Silts (Schicht 5A), der in der Silt-/Feinsand-Fraktion deutliche Anteile von magmatisch korrodiertem Quarz und rhyolitische Gesteinsfragmente und eine feinsplittrige Tonmatrix (Taf. 1, Fig. 1 bis 3) zeigt, kontrastiert deutlich mit dem feinen Ton (Schicht 9A), der nur ein vereinzelt Quarzkorn und ein zerschertes Gefüge zeigt (Taf. 1, Fig. 4 und 5). Die ausgewaschenen, isolierten Silt-/Feinsand-Fractionen der beiden Proben sind ähnlich; sie zeichnen sich vor allem durch das Auftreten vulkanischer Bimsfragmente und durch idiomorphe Quarzprismen aus, die reich an evaporitischen Mineralinterpositionen sind. Diese beiden Komponenten sind infolge ihrer Seltenheit im Dünnschliff nur ausnahmsweise zu beobachten.

Die geochemischen Analysen auf Haupt- und Spurenelemente (Tab. 2) zeigen deutliche Unterschiede. Im tonigen Silt (Schicht 5A) deutet sich saurer Chemismus an mit einem hohen SiO<sub>2</sub>-Gehalt, einem beachtlichen TiO<sub>2</sub>-Gehalt und relativ hohen Gehalten an Nb, Th und Zr. Der reine Ton (Schicht 9A) weist zwangsläufig einen hohen Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Gehalt auf. Insgesamt deutet die chemische Analyse dieser Probe aber einen basischen Chemismus an (hohe Gehalte an Ca, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Ba, Ce, Cr, Cs?, Ga, La, Ni, Rb, Sc, U, V). Zr und Y sind dagegen niedrig.

Eine entscheidende Aussage vermitteln die hohen TiO<sub>2</sub>-Werte. Sie entsprechen den hohen TiO<sub>2</sub>-Werten, die RIEDEL (1966) in Tonen der Niederrheinischen Bucht nachgewiesen hat, ohne aber eine Interpretation versucht zu haben. KUBANEK et al. (1988) haben gleichfalls hohe TiO<sub>2</sub>-Gehalte in den mittel-eozänen Messeler Ölschiefer nachgewiesen und sie auf die Verwitterung und den diagenetischen Abbau von basaltischen Ausgangsgesteinen zurückgeführt. Für beachtlich hohe

Cr-Werte postuliert schon RIEDEL (1966: 98) einer Beteiligung von Schwermineralen, wobei man vor allem an braunen Spinell denken muß. Ferner können auch die hohen Gehalte an Ba, Sr, Zr, Y, Nb, Cr und Ni vulkanogenen Ursprungs sein. Ein beachtlicher Anteil der tonigen Komponenten beider Sedimentproben ist aus dem Abbau mineralogisch instabiler Gesteine wie Vulkaniten, sauren und/oder basischen, herzuleiten.

## 2.5. Tonmineralogie und Paläoklima

Tonmineralogische Studien vor allem an autochthonen Paläoböden können wertvolle Hinweise auf paläoklimatische Verhältnisse geben. Allerdings wird die klimatische Interpretation von Sedimenten durch Umlagerungseffekte und Transportdifferenzierungen erschwert. So wird die Suspensionsfracht heutiger Flüsse weitgehend durch Erosion der im Einzugsgebiet anstehenden Gesteine bzw. im marinen Bereich durch Aufarbeitung älterer Sedimente und Strömungsprozesse bestimmt (IRION 1983, IRION & ZÖLLMER 1990, ZÖLLMER 1992). Ein Rückschluß auf das aktuelle Klima würde zu falschen Aussagen führen. So weisen z.B. die Elbe und der Amazonas unter deutlich unterschiedlichen Klimaten eine ähnliche Tonmineralzusammensetzung in ihren Flußsedimenten auf (IRION 1983: Tab. 1). In den untersuchten Tonen der südlichen Niederrheinischen Bucht, die unter fluviatil-limnischen Bedingungen abgelagert wurden, sind Umlagerungen von Sediment- und Bodenmaterial sehr wahrscheinlich. Bei den Tonschichten handelt es sich in den meisten Fällen nur noch um Erosionsreste. Die höheren Kaolinitanteile in den tonigen Einschaltungen der Hauptkies-Serie und der Rotton-Serie des Tagebaus Bergheim könnten von der Wiederaufarbeitung älterer kaolinitreicherer Tone von der Kölner Scholle herrühren. Die Abtragung in diesem Bereich begann im Ober-Miozän und setzte sich im Pliozän fort. Das deutlichere Smectitmaximum der Reuver-Serie im Tagebau Hambach geht nicht auf Transportdifferenzierungen zurück. Denn es läßt sich keine zu erwartende Abnahme des Kaolinitanteils im Vergleich zu dem Reuver-Ton des Tagebaus Bergheim feststellen. In den Tonprofilen sind hydromorphe Paläoböden dokumentiert, die sich unter hohen Grundwasserständen bildeten. Diese hohen stagnierenden Grundwasserstände verhinderten Stofftransporte und -verlagerungen. In den meisten fossilen Bodenprofilen sind daher auch keine Veränderungen im Tonmineralbestand festzustellen (HERMANN 1992). Für die im Rotton der Tagebaue Hambach und Bergheim auftretenden Al-Chlorite ist eine detritische Herkunft anzunehmen. Es handelt sich möglicherweise um umgelagertes Bodenmaterial aus dem Bereich der Kölner Scholle oder dem weiteren Hinterland. Die Al-Chloritbildung geht rezent in Böden unter kühl-humiden bis warm-wechselfeuchten Klimaten vor sich (RICH 1968, BLUM 1976). Stark bis mäßig saure Bodenreaktion, geringer Gehalt an organischem Kohlenstoff, oxidierende Bedingungen und häufiger Wechsel von Durchfeuchtung und Austrocknung werden als optimale Rahmenbedingungen für die Bildung sekundärer Chlorite angegeben (RICH 1968, BARNHAISEL & BERTSCH 1989). So treten Al-Chlorite in Braunerden, Podsolen, Pseudogleyen, Marschböden u.a. Bodentypen auf (BLUM 1976). Bei der Entstehung der sekundären Chlorite scheinen vor allem die Eigenschaften der humosen Oberböden von Bedeutung zu sein. Vor dem Hintergrund der zahlreichen Herkunftsmöglichkeiten des Al-Chlorits kann dieser für die Entstehungszeit des Rottons lediglich als Indikator humider Bedingungen gelten, die die Bildung von sekundärem Chlorit in Böden des Hinterlandes begünstigten.

Mit Hilfe der tonmineralogischen Daten können Informationen über längerfristige Klimaentwicklungen gewonnen werden. Die Abnahme des Kaolinit/Chlorit-Verhältnisses in der Schichtenfolge spiegelt die Zufuhr von Material wider, das im Hinterland einer stetig geringer werdenden Verwitterungsintensität ausgesetzt war. Zumindest seit dem Unter-Miozän kam es zu keiner bedeutenden Kaolinitneubildung mehr. Die Dominanz des Illits in den Tonen der Zwischenmittel und Deckschichten könnte auf verstärkte Illitbildung in Böden des Hinterlandes zurückgehen. MÜCKENHAUSEN (1979a) und MÜCKENHAUSEN & SCHALICH (1982) machen hierfür einen Rückgang der Temperaturen verantwortlich. Die beiden Mg-reichen Tonminerale Sepiolith und Palygorskit gelten als Indikator arider Klimate (MILLOT 1964, CHAMLEY 1989). Das Ausbleiben von Sepiolith und Palygorskit in der untersuchten Schichtenfolge kann als Beleg dafür gelten, daß im Hinterland kein arides Klima geherrscht haben dürfte. Das Tertiär des Oberrheintal-Grabens kann mit dem



Die tonmineralogischen Untersuchungen an 200 Proben ( $<2 \mu\text{m}$ -Fraktion) ergaben zwei Haupttonmineralzonen (Abb. 3 und 4).

1. Die Liegendtone (Köln-Schichten), die durch die Tonminerale Kaolinit, Illit und untergeordnet Chlorit gekennzeichnet sind.
2. Die tonigen Zwischenmittel des Hauptflözes (Ville-Schichten) und die Tone der Deckschichten (Inden- bis Tegelen-Schichten), die in unterschiedlichen Anteilen Kaolinit, Illit, Smectit, Vermiculit, primären und sekundären Chlorit (Al-Chlorit), irreguläre und reguläre Wechsellagerungsminerale aufweisen. Illit dominiert quantitativ. Das Kaolinit/Chlorit-Verhältnis verschiebt sich innerhalb der Schichtenfolge vom Liegenden zum Hangenden zugunsten des Chlorits. Smectit hat im Reuver-Ton (Ober-Pliozän) ein Maximum mit einem Anteil bis zu 50 %.

Die tonmineralogische Gesamtentwicklung in den Tonschichten wird durch die Abtragungsgeschichte des nördlichen Rheinischen Schiefergebirges bestimmt, wenngleich vereinzelte Veränderungen im Tonmineralspektrum unterhalb von Braunkohlen und das Auftreten von Al-Chlorit in Paläoböden auf Versauerungsprozesse zurückzuführen sind.

Im Rheinischen Schiefergebirge erfolgte unter tropischen Klimaten von Mittel-Jura bis Altertär die Bildung einer mächtigen Verwitterungsdecke. Nach SPIES (1986) und FELIX-HENNINGSEN (1990) folgt über den unverwitterten paläozoischen Sand-, Silt- und Tongesteinen ein Saprolit mit zwei Tonmineralzonen (Abb. 5):

1. eine basale Saprolitzone, die neben Illit/Muskovit und Chlorit aus Smectit, Vermiculit, irregulären und regulären Wechsellagerungsmineralen besteht,
2. eine Tonmineralzone im Hangenden, die Kaolinit, Illit und Chlorit führt. Chlorit kann bei intensivem Gesteinszersatz ganz fehlen.

Die ähnlichen Tonmineralzonen im Restsaprolit des nördlichen Rheinischen Schiefergebirges und in den Tonschichten der südlichen Niederrheinischen Bucht legen den Schluß nahe, die Tone als umgelagertes Material der mesozoisch-tertiären Verwitterungsdecke zu deuten. Somit scheint bis zum Unter-Miozän die oberste Saprolitzone mit der Kaolinitdominanz abgetragen worden zu sein. Mit der Hauptflözbildung (Ville-Schichten, Oberes Unter-Miozän) setzte die Flächenabspülung der darüber folgenden Saprolitzone ein. Das Smectitmaximum des Reuver-Tons (Ober-Pliozän) kann mit der Zunahme des Smectitanteils an der Saprolitbasis korreliert werden. Ab der Wende Plio-/Pleistozän unterliegt demnach vorwiegend unverwittertes Gestein der Erosion. Der auffällende Wechsel zwischen den beiden Tonmineralzonen in den Tönen der südlichen Niederrheinischen Bucht kann nicht klimagesteuert gewesen sein, da kein deutlicher Klimawechsel im Miozän des Rheinlandes belegt ist (Abb. 6). Vielmehr ist die Abtragungsgeschichte des Rheinischen Schiefergebirges ein wesentlicher Faktor für die Zusammensetzung der Tone in der südlichen Niederrheinischen Bucht. Mit den Angaben von Zeitdauer der Abtragung und Mächtigkeit der Saprolitzonen können für das nördliche Rheinische Schiefergebirge grobe Abschätzungen der Abtragungsgeschwindigkeit während des Jungtertiärs versucht werden. Analysen von Dünnschliffen, Schlammrückständen der Silt/Feinsand-Fraktion und der Haupt- und Spurenelemente von ausgewählten Proben konnten deutliche Anteile von meist intensiv verwittertem, vulkanischem Material in verschiedenen Tonhorizonten nachweisen: eindeutige Spuren von vulkanischen Gesteinsfragmenten (u.a. Bims- und porphyrische Rhyolith-Fragmente), vereinzelte Körner von splittrigem Quarz, Sanidin und Picotit sowie hoher  $\text{TiO}_2$ -Gehalt verbunden mit feinverteilten Titanmineralen. Ein nicht unbedeutender Anteil an ursprünglich, mineralogisch instabilem vulkanischem Material versteckt sich allerdings in der tonigen Matrix.

#### 4. Danksagung

Herrn Prof. Dr. W. MEYER (Geologisches Institut der Universität Bonn) und Herrn Prof. Dr. G. W. BRÜMMER (Institut für Bodenkunde der Universität Bonn) sei für ihre Anregungen gedankt. Herr Dipl.-Geol. F. von der

HOCHT (Rheinbraun A.G.) war bei der Geländearbeit eine große Hilfe und stets ein wichtiger Diskussionspartner. Herrn Dr. G. GROSS (Rheinbraun A.G.) sei für die freundliche Überlassung der acht zusätzlichen Proben aus dem Tagebau Bergheim und Herrn Prof. Dr. W. STAHL (Bundesanstalt für Rohstoffe und Geowissenschaften, Hannover) für die geochemische Untersuchung dieser Proben gedankt. Dem Holos-Verlag (Bonn) gilt für die freundliche Druckgenehmigung der Abbildungen und der Tabelle 1 der Dank.

### 5. Schriftenverzeichnis

- ABRAHAM, M. (1994): Untersuchungen zur sedimentologischen Entwicklung der fluviatilen Deckschichten (Miozän/Pliozän) der Rheinischen Braunkohle. - Bonner Geowiss. Schr. (Bonn) **15**, 1-227.
- AHORN, K. (1993): Kartierung im südwestlichen Westerwald und sedimentologische sowie tonmineralogische Untersuchungen an ausgewählten Tonen des Gebietes. - Dipl.-Kartierung und Dipl.-Arb., Geol. Inst. Bonn, 120 S. - Bonn (unveröff.).
- AHORN, L. (1970): Seismo-tectonic relations between the graben zones of the Upper and Lower Rhine Valley, - in: ILLIES, S. H. & MÜLLER, S. (Hrsg.): Graben problems. - Int. Upper Mantle Proj., Sci. Rep. (Stuttgart) **27**, 155-165.
- AHRENS, W. (1960): Die Lagerstätten nutzbarer Steine und Erden im Westerwald. - Z. dt. geol. Ges. (Hannover) **112**, 238-252.
- (1964): Einführung in die Geologie der Tonlagerstätten des Westerwaldes und angrenzender Gebiete. - Ber. Dtsch. Keram. Ges. (Bad Honnef) **41**, 236-239.
- ALBERS, H.J. (1981): Neue Daten zum Klima des nordwesteuropäischen Alttertiärs. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf. (Krefeld) **29**, 483-503.
- ANDERSON, H.-J. (1966): Die Schichtenfolge des Tertiärs und Quartärs, - in: Geologische und bergbauliche Übersicht des rheinischen Braunkohlenreviers. Brosch. zur Frühjahrstag. dt. geol. Ges. in Köln, **1966**, 2-5 - Krefeld.
- & BRAUN, F.J. (1969): Ein Vorkommen von marinem Pliocän bei Weeze-Kalbeck (Niederrheinische Bucht). - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf. (Krefeld) **16**, 371-376.
- BALKE, K.-D. (1973): Geothermische und hydrogeologische Untersuchungen in der südlichen Niederrheinischen Bucht. - Geol. Jb. (Hannover) **C5**, 5-61.
- BALLMANN, P. (1972): Verwitterung und Mineralneubildungen in tertiären Trachyttuffen des Siebengebirges unter Berücksichtigung der Ablagerungsverhältnisse. - Pedologie (Gent) **22**, 328-355.
- BARNHASEL, R.I. & BERTSCH, P.M. (1989): Chlorites and Hydroxy-Interlayered Vermiculite and Smectite, - in: DIXON, J.B. & WEED, S.B. (Hrsg.): Minerals in Soil Environments. 2. Aufl., 729-788 - Madison (Wisc.).
- BERGGREN, W.A., KENT, D.V., FLYNN, J.J. & COUVERING, J.A. van (1985): Cenozoic geochronology. - Geol. Soc. Amer. Bull. (Boulder) **96**, 1407-1418.
- BERTLING, M., HERMANN, K. & HOCHT, F. von der (1995): Sedimentologie und Paläontologie autochthoner Muschel-Bohrungen in Kohleflözen (Neogen der Niederrheinischen Bucht). - N. Jb. Geol. Paläont., Mh. (Stuttgart) **1995**, 711-736.
- & HERMANN, K. (1996): Autochthone Muschelbohrungen im Neogen des Rheinischen Braunkohlenreviers und ihre sedimentologische Bedeutung. - Zbl. Geol. Paläont. Teil I (Stuttgart) **1995**, 33-44.
- BLUM, W. (1976): Bildung sekundärer Al-(Fe)-Chlorite. - Z. Pflanzenern. Bodenk. (Weinheim) **139**, 107-125.
- BOENIGK, W. (1978a): Gliederung der altquartären Ablagerungen in der Niederrheinischen Bucht. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf. (Krefeld) **28**, 135-212.
- (1978b): Schwermineralassoziationen im Grenzbereich Tertiär/Quartär der Erft-Scholle (Niederrheinische Bucht). - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf. (Krefeld) **28**, 123-133.
- (1981): Die Gliederung der tertiären Braunkohlenschichten in der Ville (Niederrheinische Bucht). - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf. (Krefeld) **29**, 193-263.
- , BRELIE, G. von der, BRUNNACKER, K., KOCI, A., SCHLICKUM, W.R. & STRAUCH, F. (1974): Zur Pliozän-Pleistozän Grenze im Bereich der Ville (Niederrheinische Bucht). - Newsl. Stratigr. (Leiden) **3**, 219-241.
- , KOCI, A. & BRUNNACKER, K. (1979): Magnetostratigraphie im Pliozän der Niederrheinischen Bucht. - N. Jb. Geol. Paläont., Mh. (Stuttgart) **1979**, 513-528.
- BOERSMA, J.R., GELDER, A. van, GROOT, T. DE & PUIGDEFABREGAS, C. (1981): Formen fluviatiler Sedimentation in neogenen und jüngeren Ablagerungen im Braunkohlentagebau Frechen (Niederrheinische Bucht). - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf. (Krefeld) **29**, 275-307.
- BOTTKE, H. (1963): Die Tonlagerstätte der Höhrer Löcher bei Vallendar/Rhein am Ostrand des Neuwieder Beckens. - Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch. (Wiesbaden) **91**, 256-276.
- BREDDIN, H. (1932): Über die tiefsten Schichten der Aachener Kreide sowie eine senone Einebnungsfläche und Verwitterungsrinde am Nordabfall des Hohen Venns. - Zbl. Mineral. Geol. Paläont., Abt. B (Stuttgart) **1932**, 593-613.

- (1937): Lehrausflug in die Aachener Kreide; Morphologie des Nordabfalls der Eifel und des Hohen Venns am 23. August 1937. - Z. dt. geol. Ges. (Berlin) **89**, 568-577.
- BRELIE, G. von der (1981a) unter Mitarbeit von HAGER, H. & KOTHEN, H.: Neue Gesichtspunkte zur pollenstratigraphischen Gliederung des Pliozäns in der Niederrheinischen Bucht. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf. (Krefeld) **29**, 265-274.
- (1981b): Die Grenze Pliozän/Pleistozän und das Tigium in der Erft-Scholle (Niederrheinische Bucht) aus palynologischer Sicht. - Sonderveröff. Geol. Inst. Univ. Köln (Köln) **41**, 29-42.
- , QUITZOW, H.W. & STADLER, G. (1969): Untersuchungen im Alttertiär von Eckfeld bei Manderscheid (Eifel). - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf. (Krefeld) **17**, 27-40.
- BRINKMANN, K. (1976): Zur Geochemie und Genese der Eisensulfide in jungtertiären Sedimenten der Niederrheinischen Bucht. - Diss. Univ. Köln, 133 S. - Köln.
- BRUNNACKER, K. (1978a): Gliederung und Stratigraphie der Quartärterrassen am Niederrhein. - Kölner Geogr. Arb. (Köln) **36**, 37-58.
- (1978b): Neuere Ergebnisse über das Quartär am Mittel- und Niederrhein. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf. (Krefeld) **28**, 111-122.
- BUCHARDT, B. (1978): Oxygen isotope palaeotemperatures from the Tertiary period in the North area. - Nature (London) **275**, 121-123.
- BULLOCK, P., FEDOROFF, N., JONGERIUS, A., STOOPS, G. & TURSINA, T. (1985): Handbook for soil thin section description. 152 S., 146 Abb., 16 Tab. - Albrighton, Wolverhampton (Wane Research).
- BURGH, J. van der (1978): Hölzer aus dem Pliozän der Niederrheinischen Bucht. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf. (Krefeld) **28**, 213-275.
- (1987): Miocene floras in the lower Rhenish Basin and their ecological interpretation. - Rev. Palaeobot. Palynol. (Amsterdam) **52**, 299-366.
- (1988): Some local floras from the Neogene of the lower Rhenish basin. - Tertiary Res. (Leiden) **9**, 181-212.
- CAROLL, D. (1970): Rock weathering. 203 S. - New York-London.
- CHAMLEY, H. (1989): Clay sedimentology. 623 S. - Paris-Tokyo-Hongkong (Springer).
- DAHM-ARENS, H. (1982): Genese und Verbreitung der Paläoböden in Nordrhein-Westfalen. - Geol. Jb. (Hannover) **F14**, 168-175.
- DECLER, J., VIAENE, W. & VANDENBERGHE, N. (1983): Relationships between chemical, physical and mineralogical characteristics of the Rupelian Boom Clay, Belgium. - Clay Minerals (London) **18**, 1-10.
- DÜLLMANN, H. (1987): Geotechnische und baubetriebliche Einflüsse auf die Dichtigkeit von Deponieabdichtungen aus Ton - Ergebnisse von Praxisversuchen. - Fortschritte der Deponietechnik (Berlin) **19**, 215-245.
- ECKHARDT, F.-J. (1960): Die Veränderung eines devonischen Tonschiefers durch Mineralumwandlung infolge der tertiären Zersetzung. - Z. dt. geol. Ges. (Hannover) **112**, 188-196.
- , RÖSCH, H. & STEIN, V. (1980): Investigation of clay deposits of economic in Lower Saxony. - Geol. Jb. (Hannover) **D39**, 85-97.
- ERNST, W. (1958): Bestimmung der Salinitätsfazies tertiärer Tone der Niederrheinischen Bucht mit Hilfe des Bor-Gehaltes. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf. (Krefeld) **1**, 93-94.
- FELIX-HENNINGSSEN, P. (1990): Die mesozoisch-tertiäre Verwitterungsdecke (MTV) im Rheinischen Schiefergebirge - Aufbau, Genese und quartäre Überprägung. - Relief, Boden, Paläoklima (Berlin-Stuttgart) **6**, 1-192.
- & SPIES, E.-D. (1985): Mineralogische und geochemische Untersuchungen an jungmesozoisch-tertiären Verwitterungsprofilen des Rheinischen Schiefergebirges. - Mitt. dt. bodenk. Ges. (Göttingen) **43**, 911-916.
- & WIECHMANN, H. (1985): Ein mächtiges autochthones Bodenprofil präoligozänen Alters aus unterdevonischen Schiefer der nordöstlichen Eifel. - Z. Pflanzenern. Bodenk. (Weinheim) **148**, 147-158.
- FLIEGEL, G. (1913): Über tiefgründige chemische Verwitterung und subaerische Abtragung. - Z. dt. geol. Ges., Mbr. (Berlin) **65**, 387-404.
- FUCHS, K., GEHLEN, K. von, MÄLZER, H., MURAWSKI, H. & SEMMEL, A. (Hrsg.) (1983): Plateau uplift: The Rhenish Shield - a case history. 411 S. - Berlin-Heidelberg.
- GLIESE, J. (1971): Fazies und Genese der Kölner Schichten (Tertiär) in der südlichen Niederrheinischen Bucht. - Sonderveröff. Geol. Inst. Univ. Köln (Köln) **19**, 91 S.
- & HAGER, H. (1978): On brown coal resources in the Lower Rhine Embayment (West Germany). - Geol. en Mijnb. ('s-Gravenhage) **57**, 517-525.
- GRABERT, H. (1962): Eine ungewöhnlich tiefgreifende tertiäre Verwitterungszone im Devon des Siebengebirges bei Königswinter. - Decheniana (Bonn) **114**, 171-176.
- , REHAGEN, H.W. & STADLER, G. (1969): Tertiär und Quartär im südlichen Oberbergischen (rechtsrheinisches Schiefergebirge). - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf. (Krefeld) **17**, 279-292.
- GRIFF, K. (1958): Erdgeschichtliche Aussagen der Korallen des niederrheinischen Oberoligozäns und Miteloligozäns. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf. (Krefeld) **1**, 239-253.

- GROSS, G.K. (1986): Recent sedimentation of East African Rivers and Upper Tertiary fluvial sediments of the Lower Rhine Basin - a comparison. - *Senckenbergiana marit.* (Frankfurt a.M.) **17**, 305-317.
- HAGER, H. (1977): Zur geologischen Gliederung der Schichtenfolge im rheinischen Braunkohlenrevier. - Braunkohle, Tagebautechnik und Energieversorgung (Düsseldorf) **29**, 116-120.
- (1981): Das Tertiär des Rheinischen Braunkohlenreviers, Ergebnisse und Probleme. - *Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf. (Krefeld)* **29**, 529-563.
- (1986): Peat accumulation and syngenetic clastic sedimentation in the Tertiary of the Lower Rhine basin (F.R.Germany). - *Mém. Soc. géol. France, N.S. (Paris)* **149**, 51-56.
- , KOTHEN, H. & SPANN, R. (1981): Zur Setzung der rheinischen Braunkohle und ihrer klastischen Begleitschichten. - *Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf. (Krefeld)* **29**, 319-352.
- & PRÜFERT, J. (1988): Tertiär, - in: HILDEN, H.D. (Hrsg.): *Geologie am Niederrhein*. 4. Aufl., 32-40 - Krefeld.
- HEITFELD, K. H., DÜLLMANN, H., KOHLHAAß, W. & VÖLTZ, H. (1977): Ingenieurgeologische Untersuchungen zur Sanierung eines besiedelten Rutschgebietes. *Ber. 1. Nat. Tag. Ingenieurgeol., Paderborn*, 23-49 - Essen.
- HERMANN, K. (1985): Geologische Kartierung im Raum Koisdorf/Osteifel. *Dipl.-Kartierung Geol. Inst. Bonn*, 46 S. - Bonn (unveröff.).
- (1986): Geologische Untersuchung des Ton 7F (Obermiozän) im Bereich des Tagebaus Hambach (Niederrheinische Bucht). *Dipl.-Arb. Geol. Inst. Bonn*, 190 S. - Bonn (unveröff.).
- (1992): Untersuchungen in neogenen Tonschichten des Rheinischen Braunkohlenreviers, südliche Niederrheinische Bucht. - *Bonner Geowiss. Schr. (Bonn)* **2**, 1-203.
- & HOCHT, F. von der (1990): Ein erster Fund von Bohrspuren in einem Ton und Diskussion der Bohrspuren in der Braunkohle aus dem Tertiär der Niederrheinischen Bucht. - *Natur am Niederrhein (Krefeld)* **5**, 63-65.
- HOCHT, F. von der (1988): Die Knorpelfischfauna der Walfischfundstelle von Kervenheim. - *Natur am Niederrhein (Krefeld)* **3**, 13-24.
- HOFFMANN, H. (1987): Untersuchungen an mineralischen Deponiebasisabdichtungen nach über siebenjähriger Beanspruchung. - *Fortschritte der Deponietechnik (Berlin)* **19**, 183-214.
- ILLIES, J.H. (1980): Plateau uplift of the Rhenish shield, - in: CLOSS, H. (Hrsg.): *Mobile earth: Internat. Geodyn. Proj. final report of the FRG/DFG*. 139-141 - Boppard.
- IRION, G. (1983): Clay Mineralogy of the Suspended Load of the Amazon and of Rivers in the Papua-New Guinea Mainland. - *Mitt. Geol.-Paläont. Inst. Univ. Hamburg (Hamburg)* **55**, 483-504.
- & ZÖLLMER, V. (1990): Pathways of Fine-Grained Clastic Sediments - Examples from the Amazon, the Weser Estuary, and the North Sea, - in: HELING, D., ROTHE, P., FÖRSTNER, U. & STOFFERS, P. (Hrsg.): *Sediments and Environmental Geochemistry - Selected Aspects and Case Histories*. 351-366 - Berlin-Heidelberg-New York-London-Paris-Tokyo-Hongkong (Springer).
- JARITZ, G. (1966): Untersuchungen an fossilen Tertiärböden und vulkanogenen Edaphoiden des Westerwaldes. *Diss. Univ. Bonn*, 152 S. - Bonn.
- JUNG, D. & LANGER, W. (1990): Foraminiferen aus dem Oligozän des Schachtes Lohberg IV bei Hünxe a. d. Lippe (Niederrheinische Bucht). - *N. Jb. Geol. Paläont., Abh. (Stuttgart)* **180**, 75-96.
- KAHMANN, W. (1937): Sedimentpetrographische Beiträge zur Gliederung des Tertiärs der südlichen Niederrheinischen Bucht. - *Decheniana (Bonn)* **95**, 157-206.
- KENT, D.V. & GRADSTEIN, F.M. (1985): A Cretaceous and Jurassic geochronology. - *Geol. Soc. Amer. Bull. (Boulder)* **96**, 1419-1427.
- KNAPP, G. (1980): Erläuterungen zur Geologischen Karte der nördlichen Eifel 1 : 100.000. 3. Aufl., 155 S. - Krefeld.
- KÖSTER, H. M. (1980): Kaolin Deposits of Eastern Bavaria and the Rheinische Schiefergebirge (Rhenish Slate Mountains). - *Geol. Jb. (Hannover)* **D39**, 7-23.
- KOWALZCYK, K. (1969): Zur Kenntnis des Altquartärs der Ville. - *Sonderveröff. Geol. Inst. Univ. Köln (Köln)* **18**, 1-147.
- KRESS-VOLTZ, M. (1964): Gefüge- und Strukturuntersuchungen an vulkanogenen Edaphoiden, - in: JONGERIUS, A. (Hrsg.): *Soil Micromorphology*. 139-149 - Amsterdam-London-New York.
- KROLL, J.M. & BORCHERT, W. (1969a): Geologisch-petrographische Untersuchungen an westdeutschen Kaolinlagerstätten. II. Kaolinlagerstätte Lohrheim bei Diez an der Lahn. - *Ber. Dtsch. keram. Ges. (Bad Honnef)* **46**, 81-85.
- & BORCHERT, W. (1969b): Geologisch-petrographische Untersuchungen an westdeutschen Kaolinlagerstätten. III. Kaolinlagerstätte Geisenheim/Rheingau. - *Ber. Dtsch. Keram. Ges. (Bad Honnef)* **46**, 138-142.
- & BORCHERT, W. (1969c): Geologisch-petrographische Untersuchungen an westdeutschen Kaolinlagerstätten. VI. Kaolinlagerstätte Oedingen bei Oberwinter (Bonn). - *Ber. dt. keram. Ges. (Bad Honnef)* **46**, 322-326.
- KROMER, H. (1980): Tertiary Clays in the Westerwald Area. - *Geol. Jb. (Hannover)* **D39**, 69-84.

- KUBANEK, F., NÖLTNER, T., WEBER, J. & ZIMMERLE, W. (1988): On the lithogenesis of the Messel Oil Shale. - *Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg (Frankfurt a.M.)* **107**, 13-28.
- LIETZ, J. & MANZE, U. (1976): Neue Kieseloolithfunde aus den Liegendschichten der niederrheinischen Hauptflözgruppe und ihre Bedeutung für die Frage nach dem Alter des Rheins. - *Braunkohle, Tagebautechnik und Energieversorgung (Düsseldorf)* **28**, 417-420.
- LIPPOLT, H.J. (1983): Distribution of Volcanic Activity in Space and Time, - in: FUCHS, K. et al. (Hrsg.): *Plateau uplift*. 112-120 - Berlin-Heidelberg.
- LÖHNERTZ, W. (1978): Zur Altersstellung der tiefliegenden fluviatilen Tertiärablagerungen der SE-Eifel (Rheinisches Schiefergebirge). - *N. Jb. Geol. Paläont., Abh. (Stuttgart)* **156**, 179-206.
- MARTINI, E. (1981): Sciaenides (Pisces) aus dem Basisbereich der Hydrobien-Schichten des Oberrheingrabens, des Mainzer Beckens und des Hanauer Beckens (Miozän). - *Senckenbergiana Lethaea (Frankfurt a.M.)* **62**, 93-123.
- MEYER, W. (1979): Influence of the Hercynian structures on Cainozoic movements in the Rhenish Massif. - *Allg. Vermessungsnachr. (Karlsruhe)* **86**, 375-377.
- (1988): *Geologie der Eifel*. - 2. Aufl., 615 S. - Stuttgart.
- ALBERS, H.J., BERNERS, H.-P., GEHLEN, K. von, GLATTHAAR, D., LÖHNERTZ, W., PFEFFER, K. H., SCHNÜTGEN, A., WIENECKE, K. & ZAKOSEK, H. (1983): Pre-Quaternary uplift in the central part of the Rhenish Massif, - in: FUCHS, K. et al. (Hrsg.): *Plateau uplift*. 39-46 - Berlin-Heidelberg.
- MILLOT, G. (1964): *Géologie des argiles*. 499 S. - Paris.
- MOHR, B. (1984): Die Mikroflora der obermiozänen bis unterpliozänen Deckschichten der Rheinischen Braunkohlen. - *Palaeontographica, Abt. B. (Stuttgart)* **191**, 29-133.
- MÜCKENHAUSEN, E. (1953): Fossile Böden in der nördlichen Eifel. - *Geol. Rdsch. (Stuttgart)* **41**, 253-268.
- (1958): Bildungsbedingungen und Umlagerung der fossilen Böden der Eifel. - *Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf. (Krefeld)* **2**, 495-502.
- (1978): Rezente und fossile Böden (Paläoböden) der Eifel. - *Kölner Geogr. Arb. (Köln)* **36**, 7-35.
- (1979a): Die Paläoböden der Eifel in Abhängigkeit von der Geomorphologie. - *Z. Geomorph., N.F., Suppl. Bd. (Berlin-Stuttgart)* **33**, 16-24.
- (1979b): Utilization for agriculture and forestry of Graulehme, Tertiary Paleosols in Central Europe. - *Geoderma (Amsterdam)* **22**, 39-44.
- & SCHALICH, J. (1982): Paläoböden der Eifel. - *Geol. Jb. (Hannover)* **F14**, 176-184.
- MÜLLER, A. (1980): Otolithen (Pisces, Teleostei) aus dem Oberoligozän (Chattium) des Schachtes Sophia Jakoba 8 (Erkelenz, NW-Deutschland). - *N. Jb. Geol. Paläont., Abh. (Stuttgart)* **179**, 41-69.
- MURAWSKI, H., ALBERS, H.J., BENDER, P., BERNERS, H.-P., DÖRR, S., HUCKRIEDE, R., KAUFFMANN, G., KOWALCYK, G., MEIBURG, P., MÜLLER, R., RITZKOWSKI, S., SCHWAB, K., SEMMEL, A., STAPF, K., WALTER, R., WINTER, K.-P. & ZANKL, H. (1983): Regional tectonic setting and geological structure of the Rhenish Massif, - in: FUCHS, K. et al. (Hrsg.): *Plateau uplift*. 9-38 - Berlin-Heidelberg.
- NEGENDANK, J.F.W., IRION, G. & LINDEN, J. (1982): Ein eozänes Maar bei Eckfeld nordöstlich Manderscheid (SW-Eifel). - *Mainzer geowiss. Mitt. (Mainz)* **11**, 157-172.
- NICKE, H. (1983): Reliefgenese des südlichen Bergischen Landes zwischen Wupper und Sieg. - *Kölner Geogr. Arb. (Köln)* **43**, 1-286.
- (1993): Reliefgenese des nordostrheinischen Schiefergebirges zwischen Rhein, Ruhr und Sieg. - *Bonner Geowiss. Schr. (Bonn)* **6**, 1-382.
- OEHMS, E.P.N. (1980): Schwermineralogische und mikropaläontologische Untersuchungen im marin beeinflussten Alttertiär des Antweiler Grabens (südliche Niederrheinische Bucht). - *Meded. Werkgr. Tert. Kwart. Geol. (Rotterdam)* **17**, 225-231.
- PETZELBERGER, B.E.M. (1994): Die marinen Sande im Tertiär der südlichen Niederrheinischen Bucht - Sedimentologie, Fazies und stratigraphische Deutung unter Berücksichtigung der Sequenz-Stratigraphie. - *Bonner Geowiss. Schr. (Bonn)* **14**, 1-112.
- PFLUG, H.D. (1959): Die Deformationsbilder im Tertiär des rheinisch-saxonischen Feldes. - *Freiberger Forsch.-H. (Berlin)* **C71**, 1-110.
- PHILIPPSON, A. (1899): Die Entwicklungsgeschichte des Rheinischen Schiefergebirges. - *Sitzungsber. d. Niederrh. Ges. f. Nat.- u. Heilkde., (Bonn)* 48-50.
- (1903): Zur Morphologie des Rheinischen Schiefergebirges. *Verh. XIV dt. Geogr.-Tag, Köln*, 193-295 - Berlin.
- QUITZOW, H.W. (1954): Tektonik und Grundwasserstockwerke im Erftbecken. - *Geol. Jb. (Hannover)* **69**, 455-464.
- (1959): Hebung und Senkung am Mittel- und Niederrhein während des Jungtertiärs und Quartärs. - *Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf. (Krefeld)* **4**, 389-400.

- (1974): Das Rheintal und seine Entstehung, Bestandsaufnahme und Versuch einer Synthese, - in: L' évolution quaternaire des bassins fluviaux de la mer nord méridionale. Cent. Soc. Géol. Belgique, 53-104 - Liège.
- (1978): Der Abfall der Eifel zur Niederrheinischen Bucht im Gebiet der unteren Ahr. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf. (Krefeld) **28**, 9-50.
- (1982): Die Hochflächenlandschaft der zentralen Eifel und der angrenzenden Teile des Rhein-Troges und Neuwieder Beckens. - Mainzer geowiss. Mitt. (Mainz) **11**, 173-206.
- RADCZEWSKI, O.E. (1968): Die Rohstoffe der Keramik - Minerale und Vorkommen. 143 S. - Berlin-Heidelberg-New York (Springer).
- RICH, C.I. (1968): Hydroxy interlayers in expansible layer silicates. - Clays and Clay Minerals (Oxford) **16**, 15-30.
- RICHTER, D. (1962): Die Hochflächen-Treppe der Nordeifel und ihre Beziehungen zum Tertiär und Quartär der Niederrheinischen Bucht. - Geol. Rdsch. (Stuttgart) **52**, 376-404.
- RIEDEL, D. (1966): Ein Beitrag zur Mineralogie und Chemie der Tone aus dem Tertiär der Niederrheinischen Bucht. Diss. Univ. Köln, 114 S. - Köln.
- ROTHAUSEN, K. (1958): Marine Vertebraten im oberoligozänen Meeresand von Süchteln und Düsseldorf. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf. (Krefeld) **1**, 363-384.
- SCHMIDT, W. & WOLTERS, R. (1952): „Basiston“ der Aachener Kreide, Alttertiär und fossile Verwitterung am Nordrand der Eifel. - Geol. Jb. (Hannover) **66**, 661-670.
- SCHNEIDER, H. & THIELE, S. (1965): Geohydrologie des Erftgebietes. - 185 S. - Düsseldorf.
- SCHÜTTIG, R. & ASHAUER, W. (1958): Die Liegendtone des Hauptflözes der niederrheinischen Braunkohle. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf. (Krefeld) **2**, 483-494.
- SCHWARZBACH, M. (1968): Das Klima des rheinischen Tertiärs. - Z. dt. geol. Ges. (Hannover) Jg. 1966, **118**, 33-68.
- SEIDEL, U. (1957): Ein Vorkommen von Ophiomorpha Lundgren im Miozän der Niederrheinischen Bucht. - N. Jb. Geol. Paläont., Mh. (Stuttgart) **1956**, 489-496.
- SINDOWSKI, K.-H. (1939): Studien zur Stratigraphie und Paläogeographie des Tertiärs der südlichen Niederrheinischen Bucht (Faziesprobleme der mitteleuropäischen Tertiärmeere Nr. 7). - N. Jb. Mineral. Geol. Paläont., Abt. B (Stuttgart) **82**, 415-484.
- SPICHER, K.-U. (1985): Die Liegendtone im ehemaligen Braunkohlentagebau Vereinigte Ville (Niederrheinische Bucht). Dipl.-Arb. Geol. Inst. Köln, 39 S. - Köln (unveröff.).
- SPIES, E.-D. (1986): Vergleichende Untersuchungen an präpleistozänen Verwitterungsdecken im Osthunsrück und an Gesteinsersatz durch azendente (Thermal-) Wässer in der Nordeifel (Rheinisches Schiefergebirge). Diss. Univ. Bonn, 182 S. - Bonn.
- & FELIX-HENNINGSEN, P. (1985): Geologisch-mineralogische Untersuchungen der tiefgründig kaolinisierten Unterdevongesteine im Osthunsrück und der nordöstlichen Eifel. - Mitt. dt. bodenk. Ges. (Göttingen) **43**, 931-936.
- STARKE, D. (1970): Verteilung und Faziesabhängigkeit der Tonminerale in den geologischen Systemen. - Freib. Forsch.-H. (Leipzig) **C254**, 1-185.
- STICKEL, R. (1927): Zur Morphologie der Hochflächen des linksrheinischen Schiefergebirges und angrenzender Gebiete. - Beitr. z. Landesg. d. Rheinl. (Leipzig) **5**, 1-104 Leipzig.
- STRAUCH, F. (1989): Tierische Fossilien im Bereich des Tertiärs der Rheinischen Braunkohle. Posterausstellung auf der 59. Jahrestagung der Paläontologischen Gesellschaft in Bonn, Kurzfassung, S. 89 - Bonn.
- TEICHMÜLLER, M. & TEICHMÜLLER, R. (1959): Die paläogeographische Stellung und Faziesentwicklung der rheinischen Braunkohle. - Freiburger Forsch.-H. (Berlin) **C57**, 106-124.
- TEICHMÜLLER, R. (1974): Die tektonische Entwicklung der Niederrheinischen Bucht, - in: ILLIES, J. H. & FUCHS, K. (Hrsg.): Approaches to taphrogenesis. - Inter-Union Comm. on Geodyn. sci. Rep. (Stuttgart) **8**, 270-285.
- & ASHAUER, W. (1968): Tonlagerstätten am Südrand der Niederrheinischen Bucht. - Exkursion D, Frühjahrestagung dt. geol. Ges. in Köln, 1966. - Z. dt. geol. Ges., (Hannover) Jg. 1966, **118**, 8-13.
- TRIBUTH, H. & LAGALY, G. (1986): Aufbereitung und Identifizierung von Boden- und Lagerstätten-tonen I. Aufbereitung der Proben im Labor. - GIT Fachz. Lab. (Darmstadt) **30**, 524-529.
- VALETON, I. (1983): Klimaperioden lateritischer Verwitterung und ihr Abbild in den synchronen Sedimentationsräumen. - Z. dt. geol. Ges. (Hannover) **134**, 413-452.
- WEILER, W. (1958): Fisch-Otolithen aus dem Oberoligozän und dem Mittelmiozän der Niederrheinischen Bucht. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf. (Krefeld) **1**, 323-361.
- WIRTH, W. (1982): Böden, Verwitterungsbildungen und Denudation im Bereich reliktscher Verebnungsflächen des nördlichen Schiefergebirges. - Geol. Jb. (Hannover) **F14**, 185-204.

- ZAGWIJN, W.H. (1989): The Netherlands during Tertiary and the Quarternary: A case history of Coastal Lowland evolution. - *Geol. en Mijnb.* (Dordrecht) **68**, 107-120.
- & HAGER, H. (1987): Correlations of continental and marine deposits in the south-eastern Netherlands and the Lower-Rhine District. - *Meded. Werkgr. Tert. Kwart. Geol.* (Leiden) **24**, 59-78.
- ZENSES, E. (1980): Reliefentwicklung in der nördlichen Eifel. - *Kölner Geogr. Arb.* (Köln) **38**, 1-220.
- ZEZSCHWITZ, E. von (1969): Untersuchungen über den Basengehalt der grauen Plastosole (Graulehme) der Nordeifel. - *Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.* (Krefeld) **17**, 399-26.
- ZIEGLER, P. A. (1982): *Geological Atlas of Western and Central Europe*. 130 S. - 's-Gravenshage.
- ZÖLLMER, V. (1992): Tonminerale in Sedimenten des Nordseeraumes - Ihr Auftreten in kretazischen, tertiären und quartären Abfolgen sowie ihr Verteilungsmuster in der heutigen Nordsee. - *Diss. Univ. Heidelberg*, 156 S. - Heidelberg.

Anschriften der Verfasser: Dr. Klaus Hermanns, Josefstr. 16, D-53111 Bonn, Dr. Winfried Zimmerle, Prinzengarten 6, D-29223 Celle

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Decheniana](#)

Jahr/Year: 1997

Band/Volume: [150](#)

Autor(en)/Author(s): Hermanns Klaus, Zimmerle Winfried

Artikel/Article: [Deutung der tertiären Tone in der südlichen Niederrheinischen Bucht 347-372](#)