

# **BULLETIN N° 10 / 1979**

**Zur Ausbildung des Räts in den  
Flachbohrungen Mersch (Luxemburg)**

**Stratigraphische, sedimentologische und  
organisch-geochemische Untersuchungen**

**von J. BINTZ, G. EVEN, P. FLEKKEN,  
F. HENDRIKS und A. MULLER**

# Zur Ausbildung des Räts in den Flachbohrungen Mersch (Luxemburg)

## **Stratigraphische, sedimentologische und organisch-geochemische Untersuchungen**

von J. Bintz a), G. Even b), P. Flekken c), F. Hendriks d) und A. Muller d)

---

### **Anschrift der Verfasser :**

- a) J. Bintz: Service Géologique du Luxembourg, Ministère des Travaux Publics, Luxembourg, Boulevard Roosevelt 4
- b) G. Even: Laboratoire de Géologie, Université de Nancy I, F-54037 Nancy Cedex, Case Officielle 140
- c) P. Flekken: Institut für Chemie 5 (Erdöl und organische Geochemie) der Kernforschungsanlage Jülich, D-5170 Jülich, Postfach 1913
- d) F. Hendriks u. A. Muller: Lehrgebiet Allg. und Historische Geologie, R. W. T. H. Aachen, D-5100 Aachen, Wüllnerstr. 2



## GLIEDERUNG

1. Einleitung
2. Topographische und geologische Situation
3. Die stratigraphische Folge
4. Sedimentologie
  - 4.1. Granulometrie
  - 4.2. Schwermineralogie
  - 4.3. Tonmineralogie
5. Organische Geochemie und Kohlenpetrologie
  - 5.1. Einführung
  - 5.2. Methodik
  - 5.3. Einfluß der Verwitterung
  - 5.4. Ergebnisse
    - 5.4.1. Die Verteilung des organischen Kohlenstoffes
    - 5.4.2. Inkohlungsgrad des OM und Mazeralgruppenanalyse
    - 5.4.3. Zusammensetzung des Kerogens (Pyrolyse)
    - 5.4.4. Extraktgehalte und das Verhältnis Extrakt/Corg (mg/g)
    - 5.4.5. Die Zusammensetzung der gesättigten Kohlenwasserstoffe
  - 5.5. Erdölgeologische Aspekte

## ZUSAMMENFASSUNG

Aus den Kernbohrungen Mersch (Luxemburg) wurden 36 Proben im Grenzbereich Obere Trias — Unterer Lias z. T. granulometrisch, tongeologisch, schwermineralogisch, organisch-geochemisch und kohlenpetrologisch untersucht.

Es handelt sich um sandig-pelitische Sedimente mit schwachem Karbonatgehalt, der auch im Hettangium nur im Mittel um 25 Gew.-% liegt. Die Schwermineralvergesellschaftung ist durch einen Z.T.R. - Anteil von 81% und durch 16% Granat gekennzeichnet. Ab Grenze Steinmergelgruppe/Rät tritt im Rät neben Illit auch Kaolinit und Chlorit auf. Auch sind die smectitreicheren Mixed Layers im Rät häufiger als in der Steinmergelgruppe. Die Sedimente des Hettangiums unterscheiden sich in Bezug auf ihre Tonmineralvergesellschaftung nicht wesentlich von denen des Räts.

Die lösliche organische Substanz ist vollmarinen Ursprungs. Jedoch ist der terrigene Einfluß so groß, daß die geradzahligen n-Alkane der niederen Homologen, die unter mehr oder weniger stark reduzierenden Bedingungen eines karbonatischen bzw. evaporitischen Ablagerungsmilieu entstehen, die ungeradzahligen Homologen im höhermolekularen Bereich nicht überdecken konnten. Die bessere Durchlüftung weist das Hettangium auf.

Wegen der Art der organischen Substanz und ihrer geringen Reife sind die untersuchten Sedimente nicht als Erdöl- und Erdgas-Muttergestein anzusprechen.

## RÉSUMÉ

Dans 5 sondages carottés, qui font partie d'une campagne de reconnaissance pour la construction d'une autoroute dans les environs de Mersch (Luxembourg), les couches de passage du Trias supérieur au Lias inférieur sont décrites stratigraphiquement et caractérisées par l'analyse sédimentologique et chimique de 36 échantillons.

Il s'agit de sédiments grésopélitiques avec de faibles teneurs en carbonate, qui dans l'Hettangien sont en moyenne de 25%. Le cortège des minéraux lourds est caractérisé par la prédominance des ubiquistes (Z.T.R. = 81%) avec un pourcentage élevé de grenats (16%). Du point de vue de l'association des minéraux argileux, la coupure Trias sup. - Rhétien est très nette: Le Trias supérieur comporte essentiellement de l'illite ouverte, alors que le Rhétien renferme une illite mieux cristallisée mêlée de kaolinite, d'argiles gonflantes de chlorite. Cette association reste sensiblement identique dans l'Hettangien.

La matière organique soluble est d'origine marine, mais fortement influencée par des apports terrigènes. La composition de la matière organique ainsi que sa faible maturité indiquent que les sédiments analysés ne possèdent pas les caractéristiques de roches-mère ni pour du gaz ni pour du pétrole.

## 1. EINLEITUNG

Die Association Géologique du Luxembourg kam in Beaufort (Luxembourg) im Oktober 1976 überein, das vom Geologischen Dienst Luxemburgs bereitgestellte Bohrmaterial Mersch gemeinschaftlich zu untersuchen. Dieses umfaßt Bohrkerne aus 10 Bohrungen (vergleiche Tabelle 1), zu denen ausführliche Bohrberichte zur Verfügung standen. Fünf Bohrprofile sind in der vorliegenden Arbeit in den Abbildungen 2 bis 6 wiedergegeben. Aus diesen Bohrungen wurden 36 Proben entnommen; hiervon sind

10 Proben dem Hettangium,

24 Proben dem Rät,

2 Proben der Steinmergelgruppe zuzuordnen.

Zur Zeit wird dieses Material nach folgenden Aspekten untersucht :

Stratigraphie:	J. Bintz, Luxemburg; M. Hanzo, J. Hilly, Nancy; F. Hendriks, A. Muller, Aachen,
Sedimentologie:	(Granulometrie, Schwermineralogie) : F. Hendriks,
Tonmineralogie:	G. Even, Nancy; F. Hendriks,
Geomechanik:	G. Even, J. Hilly, A. Muller,
Mikropaläontologie:	Ch. Ruget, Lyon,
Palynologie:	M. C. Adloff, J. Doubinger, Strasbourg,
Organ. Geochemie u. Kohlenpetrologie:	P. Flekken, Jülich,
Koordination:	A. Muller.

Zu folgenden Teilgebieten erfolgt hier ein Zwischenbericht :

- Topographische und geologische Situation der Bohrungen  
Mersch, J. Bintz
- Die stratigraphische Folge, A. Muller, F. Hendriks
- Sedimentologie :  
Granulometrie und Schwermineralogie, F. Hendriks  
Tonmineralogie, F. Hendriks, G. Even
- Organische Geochemie und Kohlenpetrologie, P. Flekken.

## 2. TOPOGRAPHISCHE UND GEOLOGISCHE SITUATION

Die projektierte Autobahnstraße der Nordautobahn, Teilstück Luxemburg - Mersch, verläuft auf der Anhöhe zwischen dem Alzetetal im Osten und dem Mamertal im Westen. Dieses Plateau wird von Luxemburger Sandstein gebildet, in welches die beiden genannten Flüsse ein je im Mittel 140 m tiefes Tal eingeschnitten haben. Im Bereich der hier bearbeiteten Bohrungen hat die Erosion in den

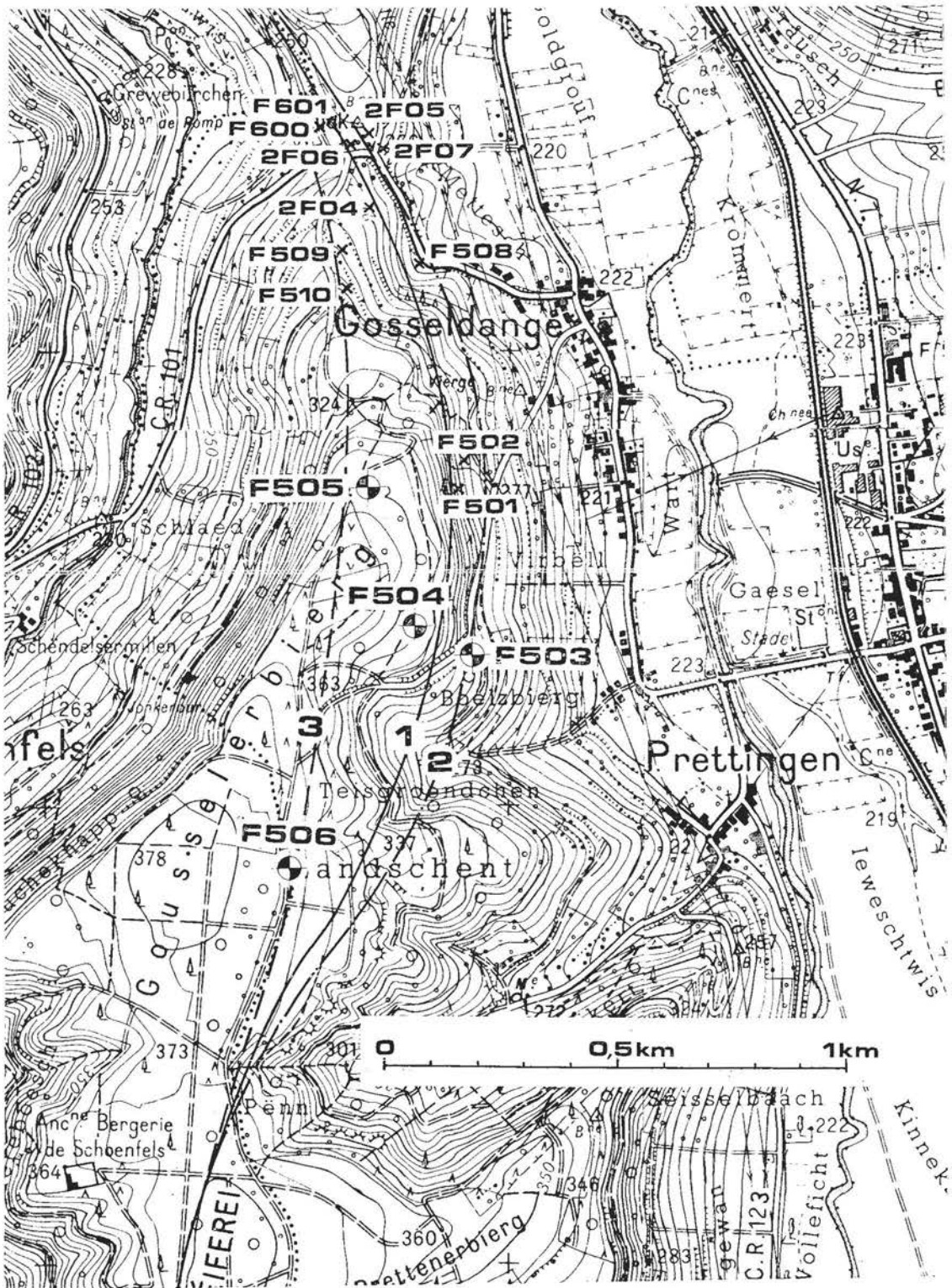


Abb. 1: Die topographische Lage der Bohrungen Mersch (Luxemburg)

beiden Talsohlen die Schichten der Steinmergelgruppe (Ob. Trias) erreicht. Während die Steilhänge bewaldet sind, trägt das Plateau nur gelegentlich Wald.

Von den geologischen Gegebenheiten her gesehen bietet der Luxemburger Sandstein, der lithologisch als Sandstein mit kalkigem Bindemittel ausgebildet ist, kaum Schwierigkeiten geotechnischer Art. Die Hauptschwierigkeiten treten beim Durchqueren der Mergel von Levallois auf, die beim Abstieg der Trasse vom Plateau zur Talsohle durchschnitten werden. Diese Mergel, die hier eine Mächtigkeit von ca. 2 Meter erreichen, sind infolge ihres geotechnischen Verhaltens besonders rutschempfindlich.

Für den Bereich des Abstieges vom Plateau (370 m über N.N.) bis zum Ort genannt «Kallek» (226 m über N.N.) wurden drei verschiedene Trassen untersucht, um eine optimale Lösung in Bezug auf die roten Mergeln von Levallois zu finden. Eine erste Trasse (1) verläuft am westlichen Alzettehang entlang, durchfährt den Steilhang des Luxemburger Sandsteines, erreicht in seinem Liegenden das in lothringischer Fazies ausgebildete ältere Hettangium, das größtenteils mit Hangschutt bedeckt ist, dann die Rätformation, um beim Ort genannt «Kallek» in den Schichten der Steinmergelgruppe zu verlaufen. Diese Trasse bietet von der Geologie her gesehen die größten Schwierigkeiten.

Eine Variante verläuft etwas östlich der oben genannten Trasse und umgeht die geologischen Schwierigkeiten teilweise durch den Bau einer Hangbrücke.

Eine dritte Trasse verläuft westlich der Ersten und umgeht die Rutschgefahr indem die Anhöhe des Plateaus mit dem Ort «Kallek» durch einen Tunnel verbunden wird, der die oben genannten geologischen Formationen durchfährt.

Für sämtliche drei Trassen war es notwendig eine möglichst genaue geologische Detailkartierung zu besitzen. Zu diesem Zweck wurden in diesem Gebiet insgesamt 15 Kernbohrungen abgeteuft, von denen in der vorliegenden Arbeit fünf (F 503, F 504, F 505, F 506 und F 509) untersucht und beschrieben wurden.

### 3. DIE STRATIGRAPHISCHE FOLGE

Die Liegendschichten des Räts werden durch graugrüne, z. T. leicht sandige, dolomitische Mergel der Steinmergelgruppe gebildet.

Sie werden durch die Sedimente des sandig-pelitischen Räts, dessen Mächtigkeit zwischen 1,90 m (F 509) und 3,30 m (F 504) schwankt, überlagert. In der Bohrung F 506, in der die Rätbasis nicht mit Sicherheit durchteuft wurde, liegt eine Mächtigkeit von 3,80 m vor. Die Unterrät-Folge setzt in den Bohrungen F 502 und F 503 mit einem Basis-Konglomerat ein. Generell liegen graue und



grauweiße, z. T. tonige, Sandsteine, schwarze bis grauschwarze, z. T. sandige, häufig blättrige Tone und vereinzelt graue bis grauschwarze, z. T. sandige Mergel vor.

Gelegentlich sind geröllführende bis konglomeratistische Horizonte eingeschaltet.

Die Mergel und Tone von Levallois besitzen eine recht konstante Mächtigkeit, die zwischen 0,90 m (F 510) und 2,00 m (F 503) schwankt.

Im Hangenden des Räts wurden die Bildungen des Hettangiums in lothringischer Fazies erbohrt. Diese Schichtenfolge umfaßt graue und grauschwarze Tone, tonige bis mergelige Sandsteine, Kalke sowie tonige bis sandige Mergel. Wurde diese Folge unter anstehendem Luxemburger Sandstein erbohrt, kommt ihr eine Mächtigkeit zu, die sich zwischen 14,20 m (F 505) und 16,30 m (F 506) bewegt.

In den Bohrungen F 504 (48 m), F 505 (50 m) und F 506 (87 m) wurde der Luxemburger Sandstein über größere Mächtigkeiten durchteuft.

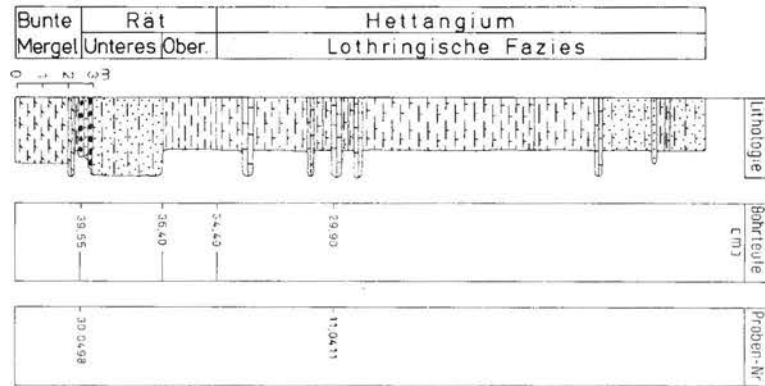
Tabelle 1 : Die stratigraphischen Serien der Bohrungen Mersch

Bohrung	F 501	F 502	F 503	F 504	F 505	F 506	F 507	F 508	F 509	F 510
Bohrteufe (m)	21,25	21,50	42,00	72,00	73,20	112,00	10,00	12,50	33,60	16,50
Vw. sandiger Hangschutt, z. T. anstehender Luxemburger Sandstein	13,00	11,40	18,35	50,30	54,60	90,00	1,40	2,80	10,00	5,30
Hettangium in Lothriger Fazies	3,00	3,85	16,05	16,10	14,20	16,30	—	—	14,60	6,80
Mergel und Tone von Levallois	1,40	1,55	2,00	1,80	1,35	1,90	—	?	1,70	0,90
Sandig-pelitisches Rät	3,60	2,95K	3,15K	3,30	3,05+	3,80+	—	?	1,90	2,00
Top der bunten Mergel	21,00	19,75	39,55	71,50	—	—	1,40	2,80	28,20	15,00

K: Mit Rätbaskonglomerat

+: Die Rätbasis wurde nicht mit Sicherheit erbohrt

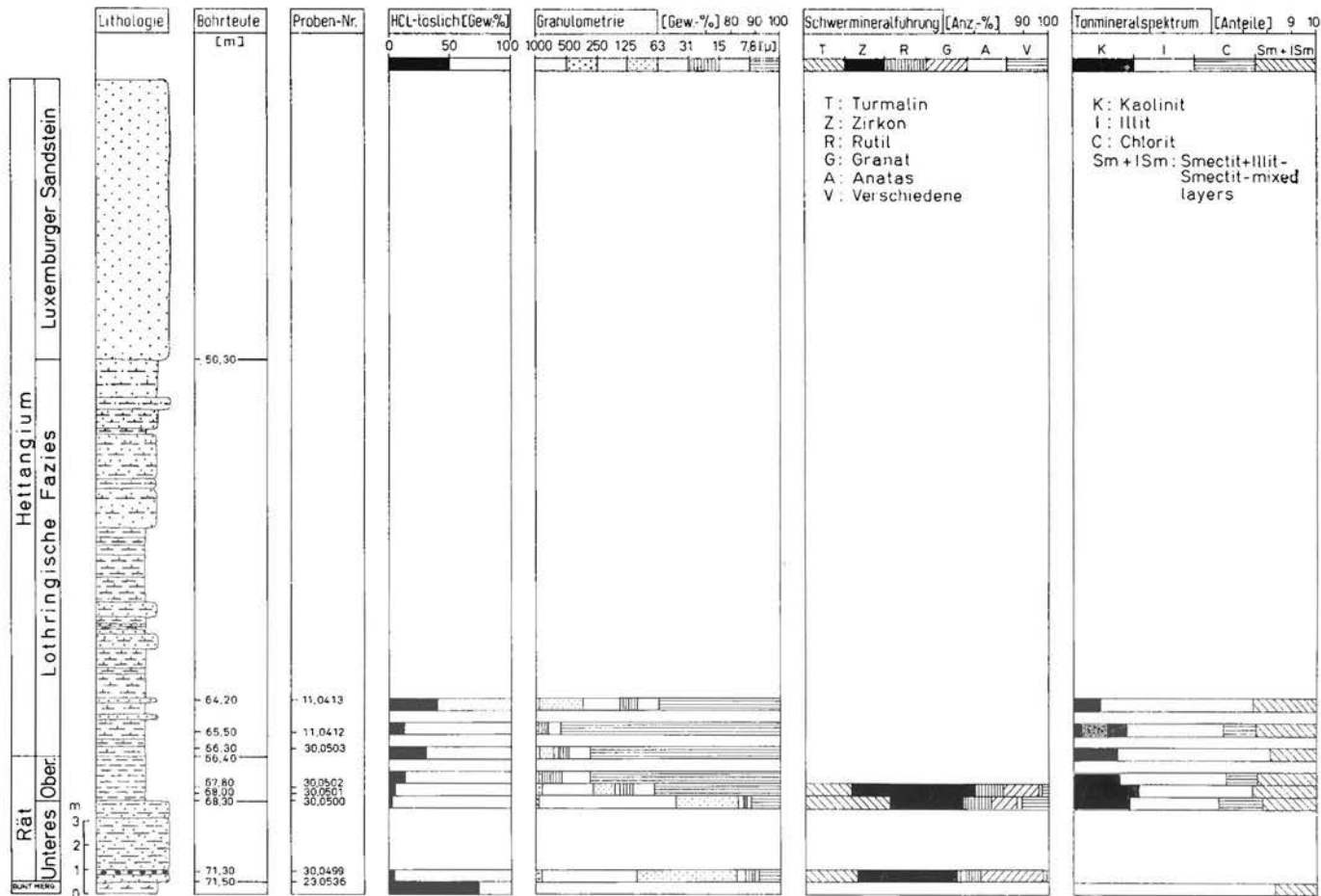
Abb. 2 : Das Bohrprofil Mersch F 503



MERSCH F 503  
M: 1:100

MERSCH F 504  
M: 1:100

Abb. 3 : Das Bohrprofil Mersch F 504



## 4. SEDIMENTOLOGIE

### 4.1. Granulometrie

Im Rahmen der granulometrischen Untersuchungen wurden insgesamt 31 Proben bearbeitet, wovon 22 Proben das Rät und 9 das Hettangium repräsentieren.

Die granulometrischen Analysen wurden entsprechend dem von PAPAIOANNOU (1977) beschriebenen Verfahren durchgeführt. Von jeder Probe wurde 100 g zerkleinertes Material mit 15%iger HCl behandelt. Der ausgewaschene unlösliche Rückstand diente einer kombinierten Sieb-/Schlammanalyse.

Die Siebfabrikation wurde bei einer Siebdauer von rund 10 min. mit einer Siebfrequenz von 50 Hz. unter Verwendung von ASTM-Sieben mit einer Maschenweite von 0,5 phi Abstand getrennt. Die Ermittlung der Kornverteilung in der Schlammfraktion erfolgte mit Hilfe der Sedimentationswaage nach SARTORIUS.

Zur Verarbeitung und Speicherung der anfallenden Daten wurde auf das erweiterte Programm SIEBA (SCHRECK, PREUGSCHAT & NIEMITZ, 1975) zurückgegriffen. Die Aufzeichnung der errechneten Sieblinien und Kennwerte erfolgte auf externen Datenspeichern (Magnetbänder), von denen sie als Eingangswerte für mathematisch-statistische Untersuchungen abgerufen werden können.

Die Proben des Unterräts (8) zeichnen sich durch einen relativ niedrigen Karbonatgehalt von 2 bis 8 Gew.-% aus. Der mittlere HCl-lösliche Anteil liegt bei 5,0 Gew.-%.

Die unterrätischen Sedimente sind verhältnismäßig grobkörnig. Das Korngrößenspektrum reicht von der Fraktion Ton + sehr feiner Silt bis Grobsand. In vier Proben dominiert die Kornklasse Ton + sehr feiner Silt mit mehr als 50 Gew.-%, während eine Probe zu mehr als 50 Gew.-% Feinsand führt. Die Werte für die Erste Percentile (C) und den Median (Md) schwanken zwischen 143 und 598 Mikron (8 Proben) bzw. 4 und 131 Mikron (6 Proben).

Nur 2 Proben können anhand von Kennwerten charakterisiert werden. Diese gutsortierten Proben (So: 1,29) besitzen eine besser sortierte Grobfraction (Sk: 0,86-0,95; Sk<sub>1</sub>: 0,63) bei einer extrem leptokurtosischen Verteilung (K<sub>G</sub>: 4,69).

Der Karbonatgehalt in den oberrätischen Proben (14) variiert zwischen 5 und 29 Gew.-%. Der Mittelwert für den HCl-löslichen Anteil beträgt 11,4 Gew.-%.

Die Ablagerungen des Oberräts sind relativ feinkörnig. Im Kornklassenspektrum überwiegt in fast allen Proben die Klasse Ton + sehr feiner Silt mit mehr als 50 Gew.-%. Nur in einem Fall ist diese Fraktion mit weniger als 50 Gew.-% (45 Gew.-%) vertreten.

Tabelle 2 : Granulometrie

Katalog-Nr.	C ( $\mu$ )	Md ( $\mu$ )	So	Sk	SkI	KG	H Cl-löslich (Gew.-%)	Korngrößenspektrum	dominierende Kornklasse (Anteil > 50 Gew.-%)	
F 504	23.0536						72	T + sfSi — MSa		
	30.0499	957,90	116,22	1,29	0,93	0,63	4,69	3	T + sfSi — GSa	
	30.0500	284,73	131,11	1,29	0,86			2	T + sfSi — MSa	FSa (55 Gew.-%)
	30.0501	301,80	6,98					5	T + sfSi — MSa	T + sfSi (52 Gew.-%)
	30.0502	122,64						13	T + sfSi — FSa	T + sfSi (79 Gew.-%)
	30.0503	121,49						29	T + sfSi — FSa	T + sfSi (78 Gew.-%)
	11.0412	33,13						12	T + sfSi — sfSa	T + sfSi (90 Gew.-%)
	11.0413	118,78	7,76					39	T + sfSi — FSa	
F 505	30.0504	199,45	8,89					3	T + sfSi — FSa	
	30.0505	377,78	14,34					4	T + sfSi — MSa	
	30.0506	440,48	4,51					8	T + sfSi — GSa	T + sfSi (61 Gew.-%)
	30.0507	251,56						7	T + sfSi — MSa	T + sfSi (67 Gew.-%)
	30.0508	170,85						12	T + sfSi — FSa	T + sfSi (71 Gew.-%)
	30.0509	21,61						10	T + sfSi — MSi	T + sfSi (84 Gew.-%)
	30.0510	17,49						12	T + sfSi — FSi	T + sfSi (92 Gew.-%)
	11.0414	109,16						12	T + sfSi — FSa	T + sfSi (91 Gew.-%)
	11.0415	69,37						20	T + sfSi — sfSa	T + sfSi (88 Gew.-%)

F 506	30.0541	264,47					8	T + sfSi — MSa	T + sfSi (65 Gew.-%)
	30.0542	207,90					9	T + sfSi — FSa	T + sfSi (71 Gew.-%)
	30.0543	105,29					9	T + sfSi — FSa	T + sfSi (90 Gew.-%)
	30.0544	7,79					10	T + sfSi — FSi	T + sfSi (99 Gew.-%)
	11.0417	15,75					9	T + sfSi — FSi	T + sfSi (92 Gew.-%)
	11.0418	76,13					15	T + sfSi — sfSa	T + sfSi (72 Gew.-%)
		90,48					25	T + sfSi — sfSa	T + sfSi (81 Gew.-%)
F 509	23.0541	127,17					75	T + sfSi — FSa	
	30.0545	189,94					1	T + sfSi — FSa	T + sfSi (67 Gew.-%)
	30.0547	143,50	6,75				8	T + sfSi — FSa	T + sfSi (52 Gew.-%)
	30.0548	398,81	12,13				7	T + sfSi — MSa	
	30.0549	184,50					7	T + sfSi — FSa	T + sfSi (70 Gew.-%)
	30.0550	213,12					15	T + sfSi — FSa	T + sfSi (74 Gew.-%)
	30.0551	70,71					14	T + sfSi — sfSa	T + sfSi (87 Gew.-%)
	11.0420	74,15	3,89				42	T + sfSi — sfSa	T + sfSi (55 Gew.-%)
	11.0421	67,44					52	T + sfSi — sfSa	T + sfSi (81 Gew.-%)

#### Zeichenerklärung

T+sfSi : Fraktion Ton + sehr feiner Silt

FSi : Fraktion Feinsilt

MSi : Fraktion Mittelsilt

sfSa : Fraktion sehr feiner Sand

FSa : Fraktion Feinsand

MSa : Fraktion Mittelsand

GSa : Fraktion Grobsand

Außer C und Md konnten keine weiteren Kornverteilungskennwerte zu den oberrätischen Sedimenten errechnet werden. Die Angaben für die Erste Percentile (C) schwanken zwischen 8 und 399 Mikron (14 Proben).

Vergleicht man anhand obiger Ergebnisse das Unterrät mit dem Oberrät, so fällt als erstes der Unterschied in der Karbonatführung auf. Im Unterrät liegt der HCl-lösliche Anteil im Schnitt bei 5,0 Gew.-%, während der Karbonatgehalt im Oberrät mit einem Mittelwert von 11,4 Gew.-% mehr als doppelt so hoch ist.

Bei einer Gegenüberstellung der Kornklassen und ihrer Anteile an den einzelnen Proben ergibt sich als erstes, daß die Schichten des Unterräts ein größeres Kornklassenspektrum umfassen (Ton + sehr feiner Silt bis Grobsand) als die des Oberräts (Ton + sehr feiner Silt bis Mittelsand).

Vor allem prägt die Fraktion Ton + sehr feiner Silt viel stärker das Sedimentationsbild im Oberrät als im Unterrät.

Auch die Werte der ersten Percentile (Unterrät: 144 - 958 Mikron, Oberrät: 8 - 399 Mikron) und des Medians (Unterrät: 4,5 - 131 Mikron, Oberrät: 7 Mikron) bestätigen diesen Sachverhalt.

Übereinstimmend weisen jedoch die Sedimente des Unterräts und des Oberräts eine so schlechte Sortierung auf, daß eine Charakterisierung anhand weiterer Kornverteilungskennwerte nicht möglich ist.

Die Proben des dem Rät überlagernden Hettangiums in lothringischer Fazies haben einen Karbonatgehalt von 9 bis 52 Gew.-%. Der HCl-lösliche Anteil beträgt im Mittel 25,1 Gew.-%.

Die Kornverteilung in den untersuchten Schichten reicht von der Fraktion Ton + sehr feiner Silt bis zur Kornklasse Feinsand. Alle 9 Proben weisen ein Korngrößenspektrum auf, in dem die Klasse Ton + sehr feiner Silt zu mehr als 50 Gew.-% vertreten ist.

Außer C und Md konnten keine weiteren Kornverteilungskennwerte ermittelt werden. Die Werte für die Erste Percentile und den Median liegen bei 16 - 119 Mikron (9 Proben) bzw. 4 + 8 Mikron (2 Proben).

#### 4.2. Die Schwermineralvergesellschaftung

Im Rahmen der Schwermineralanalyse wurden 7 Rät-Proben aus drei Bohrprofilen (F 504: 3 Proben; F 505: 3 Proben; F 509: 1 Probe) untersucht.

Zur Bearbeitung des Schwermineralspektrums wurde in Anlehnung an Testergebnissen von SCHRECK (1976) die Fraktion 62,5 bis 125 Mikron gewählt, da innerhalb dieses Korngrößensbereichs

Abb. 4 : Das Bohrprofil Mersch F 505

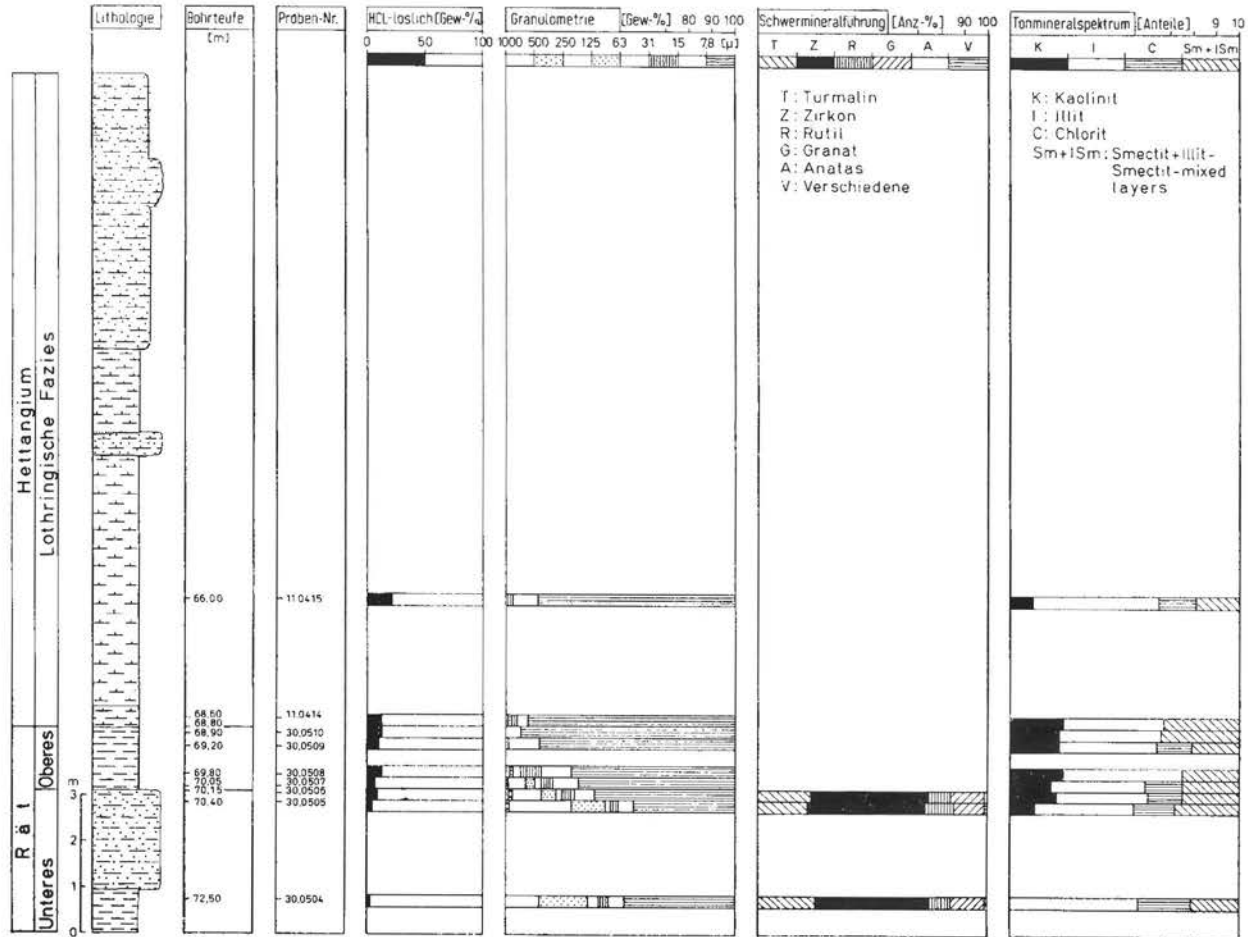




Tabelle 3 : Schwermineralführung

	30.0499	30.0500	30.0501	30.0504	30.0505	30.0506	30.0548
Turmalin (Anz.-%)	22	35	19	25	22	22	21
Zirkon (Anz.-%)	40	30	50	50	51	52	47
Rutil (Anz.-%)	10	11	11	9	11	10	14
Granat (Anz.-%)	26	11	15	15	14	16	17
Anatas (Anz.-%)	1	2	+	—	+	+	—
Baryt (Anz.-%)	+	8	3	—	+	—	—
Apatit (Anz.-%)	—	+	—	+	—	—	—
Hornblende (Anz.-%)	+	+	—	—	—	—	—
Epidot (Anz.-%)	—	2	—	—	+	—	+
Schwermineralgehalt (Gew.-%)	0,66	0,19	0,13	0,29	0,29	0,35	0,23
Zahl der gezählten Körner	278	221	334	218	416	240	402
Erste Percentile, C (Mikron)	958	285	302	200	378	440	399
Median, Md (Mikron)	116	131	7	10	14	5	12
Karbonatgehalt (Gew.-%)	3	2	5	3	4	8	7

*Zeichenerklärung :*

+: in Spuren (Anteil kleiner 1 Anz.-%) vorhanden

relativ gesehen die meisten Schwerminerale auftreten. Außerdem ist in dieser Kornklasse die Wahrscheinlichkeit einer Mineralsonde- rung in Folge hydrodynamischer Sortierungsprozesse am geringsten.

Der Schwermineralgehalt in den 7 Proben schwankt zwischen 0,13 und 0,66 Gew.-% (Tab. 3).

Die Turmalinführung variiert zwischen 19 und 35 Anz.-%. Es handelt sich dabei um gut gerundete, kugelige bis hochovale, aber auch eckige und z. T. idiomorphe Mineralkörner mit vielen Farb- varietäten. Innerhalb des Farbenspektrums überwiegen grüne, graue, braune, graugrüne und grünbraune Vertreter, während blaue, grünblaue und blaubraune Komponenten seltener vorkommen.

Gemittelte arithmetische Proben		
F 504 (n = 3)	F 505 (n = 3)	Alle Proben (n = 7)
25	23	24
40	51	46
10	10	11
17	25	16
1	+	+
4	+	2
+	+	+
+	—	+
+	+	+
0,33	0,31	0,31
278	291	301
515	339	423
85	10	42
3,3	5,0	4,6

Der Zirkon ist mit einem Anteil von 30 bis 52 Anz.-% am häufigsten vertreten. Dieses Mineral ist zumeist gut gerundet. Idiomorphe Kristalle und eckige Bruchstücke sind seltener. Die Körner sind im allgemeinen farblos. Nur gelegentlich sind leicht rosa getönte Exemplare zu erkennen.

Der Gehalt an Rutilkörner ist mit 9 bis 14 Anz.-% verhältnismäßig stabil. Die Rutilen weisen überwiegend eine idiomorphe oder scherbenförmige Ausbildung auf. Gerundete Körner treten nur untergeordnet auf.

Die Granatführung ist trotz eines relativ niedrigen Karbonatgehaltes (2-8 Gew.-%) recht hoch (11-26 Anz.-%). Es sind vor allem farblose, hauptsächlich scherbenförmige Exemplare zu beobachten, obwohl ebenfalls leicht gelblich getönte Körner vorkommen. Bedenkt man, daß die Löslichkeit von Granat mit zunehmender Azidität wächst, so läßt sich unter Berücksichtigung der hohen Granatanteile ableiten, daß postsedimentäre Lösungsvorgänge in einem sauren Milieu nicht oder nur untergeordnet stattgefunden haben.

Neben den zuvor erwähnten Schwermineralien wurden außerdem Anatas, Baryt, Apatit, Hornblende und Eidopt nachgewiesen. Ihre Anteile am gesamten Schwermineralbestand betragen jedoch im allgemeinen nur 0 bis 3 Anz.-%.

Die unter Verwendung der Zählergebnisse von allen 7 Schwermineralpräparaten errechnete mittlere arithmetische Probe (Tab. 3), sowie die mittleren arithmetischen Proben zu den Bohrungen F 504 und F 505 fügen sich gut in das Spektrum der bisher bekannten Angaben zur Schwermineralvergesellschaftung am Ost- und Nordoststrand des Pariser Beckens (vgl. ANTUN, 1953; KEPPENS, 1972; COUREL, 1976; HENDRIKS, 1977; WEHRENS, 1978).

#### 4.3. Das Tonmineralspektrum

Die Untersuchung der Tonmineralien erfolgte an insgesamt 33 Proben, wovon zwei aus den Steinmergel-, 22 aus den Rät- (9 Unter-rät-Proben; 13 Oberrät-Proben) und 9 aus den Hettangium-Schichten stammen.

Die Methodik zur tonmineralogischen Analyse des Probenmaterials beruht auf Erfahrungen von MULLER, PARTING & THOREZ (1973).

Diese Untersuchungen wurden mit Hilfe von Röntgendiffraktometrie an orientierten, entkalkten Tonpasten durchgeführt. Die Herstellung der Tonmineralpräparate erfolgte unter Verwendung der durch einen Sedimentationsvorgang nach dem STOKESchen Fallgesetz von der Restprobe abgetrennten Fraktion kleinerer zwei Mikron. Zur Identifizierung der einzelnen Tonmineralvertreter wurde jedes Präparat im normalen Zustand, nach einer Bedampfung mit Äthylglykol, sowie nach einem Erhitzen auf 450° C diffraktometrisch untersucht. Die Erkennung eines Tonminerals erfolgt an Hand des im Diffraktogramm aufgezeichneten, charakteristischen Reflexes bei einer bestimmten Wellenlänge. Zur Ermittlung der relativen Häufigkeit eines Tonminerals wurde jeweils die entsprechende Reflexhöhe gemessen.

Tabelle 4 : Tonmineralverteilung

Proben-Nr.	K(001)	I(001)	C(001)	I+IS(001)	Mixed Layer-Typ
Steinmergelgruppe					
23.0536	—	8,4	—	1,6	3
23.0541	—	9,0	—	1,0	3
Sandig-pel. Rät					
30.0500	2,3	3,7	1,8	2,2	5
30.0504	—	5,6	2,3	2,1	3
30.0505	1,1	4,3	1,8	2,8	4
30.0506	2,0	4,0	1,5	2,5	5
30.0541	2,3	4,8	—	2,9	5
30.0545	0,5	4,9	1,5	3,1	4
30.0546	1,1	4,6	1,3	2,5	4
30.0547	1,5	5,6	—	2,9	5
30.0548	1,9	4,0	1,5	2,6	5
Mergel von Levallois					
30.0501	2,7	4,7	—	2,6	5
30.0502	1,9	4,4	1,3	2,4	5
30.0503	1,8	6,3	—	1,9	3
30.0507	1,8	4,1	1,6	2,5	5
30.0508	2,2	5,2	—	2,6	5
30.0509	2,1	4,3	1,5	2,1	4
30.0510	2,1	4,5	—	3,4	4
30.0542	1,7	4,1	1,8	2,4	5
30.0543	1,8	4,2	1,3	2,7	5
30.0544	0,5	4,6	1,9	3,0	5
30.0548	1,9	4,0	1,5	2,6	5
30.0549	2,3	4,7	—	3,0	5
30.0550	1,9	3,9	1,7	2,5	5
30.0551	2,6	5,0	—	2,4	4
Hettangium					
11.0412	2,2	4,0	1,3	2,5	5
11.0413	1,1	6,3	—	2,6	5
11.0414	2,3	4,4	—	3,2	5
11.0415	1,0	5,5	1,6	1,9	3
11.0417	2,2	3,7	1,4	2,7	4
11.0418	1,2	5,7	1,5	1,7	5
11.0419	1,5	5,0	1,6	1,9	3
11.0420	0,7	4,3	1,8	3,2	4
11.0421	0,7	4,0	1,6	3,7	4

*Zeichenerklärung :*

*Mixed Layer-Typen*

- 1: 10—(10—14S)      Vorherrschaft von Illit  
2: 10—(10—14S)  
3. 10—(10—14S)—14S  
4: (10—14S)—14S  
5: (10—14S)—14S      Vorherrschaft von Smectit

Die untersuchten Proben ergaben ein aus Kaolinit, Illit, Chlorit und I+IS-Mixed Layers zusammengesetztes Tonmineralspektrum. Bei der Berechnung der relativen Häufigkeit der einzelnen Tonmineralvertreter wurden ausschließlich die Hauptreflexe (001-Reflexe) berücksichtigt.

Kaolinit (K) tritt nur in den Rät- und Hettangiumablagerungen auf (Tab. 4).

Die Rät-Proben zeigen im allgemeinen einen Kaolinitgehalt von 1,1 bis 2,7 Einheiten, während er in drei Proben mit 0 bis 0,5 Einheiten sehr gering ist. Ähnlich verhält es sich mit dem Kaolinitvorkommen im Hettangium. Der Hauptanteil der Proben weist einen Kaolinitanteil von 1,1 bis 2,3 Einheiten auf. Zwei Mal liegt er jedoch um 0,6 Einheiten.

Illit (I) wurde in allen Proben nachgewiesen.

In den Steinmergelproben tritt ein offener Illit mit 8,4 resp. 9,0 Einheiten auf. Innerhalb des Räts ist der Illit besser kristallisiert, seine Anteile schwanken zwischen 3,7 und 6,3 Einheiten. Im Durchschnitt liegt die Illitführung im Rät bei 4,6 Einheiten. In den Hettangium-Proben ist der Illit wie im Rät mit 3,7 bis 6,3 Einheiten vertreten. Hier beträgt der Durchschnittswert 4,8 Einheiten.

Da der Hauptreflex des Chlorits bei 13,8 Å mit dem Reflex wechsellagernder Tonminerale zusammenfällt, ist eine eindeutige Identifizierung des Chlorits schwierig und konnte bei einigen Proben nicht durchgeführt werden.

In den Steinmergelablagerungen wurde kein Chlorit festgestellt. Das Rät zeigt einen zwischen 1,3 und 1,9 Einheiten schwankenden Chloritgehalt. In einem Fall liegt der Chloritanteil bei 2,3 Einheiten. Für das Hettangium wurde mit 1,3 bis 1,8 Einheiten eine ähnliche Chloritführung wie im Rät nachgewiesen.

Die Tonminerale mit einer Wechsellagerung aus Illit und Smectit (I+IS-Mixed-Layers) zeigen eine Reflexserie mit einer Bandbreite von 10 bis 17 Å.

Im Bereich der Steinmergelschichten treten diese Mixed Layers verhältnismäßig selten auf (1,0 und 1,6 Einheiten). Das Rät und das Hettangium weisen mit 1,9 bis 3,3 bzw. 1,7 bis 3,7 in etwa ähnliche Gehalte an I+IS-Mixed-Layers auf.

Mit Hilfe dieser Ergebnisse ist für die erbohrte Schichtenfolge von den höchsten Ablagerungen der Steinmergelgruppe bis in den unteren Bereich des Hettangiums in lothringischer Fazies eine gewisse Entwicklung erkennbar.

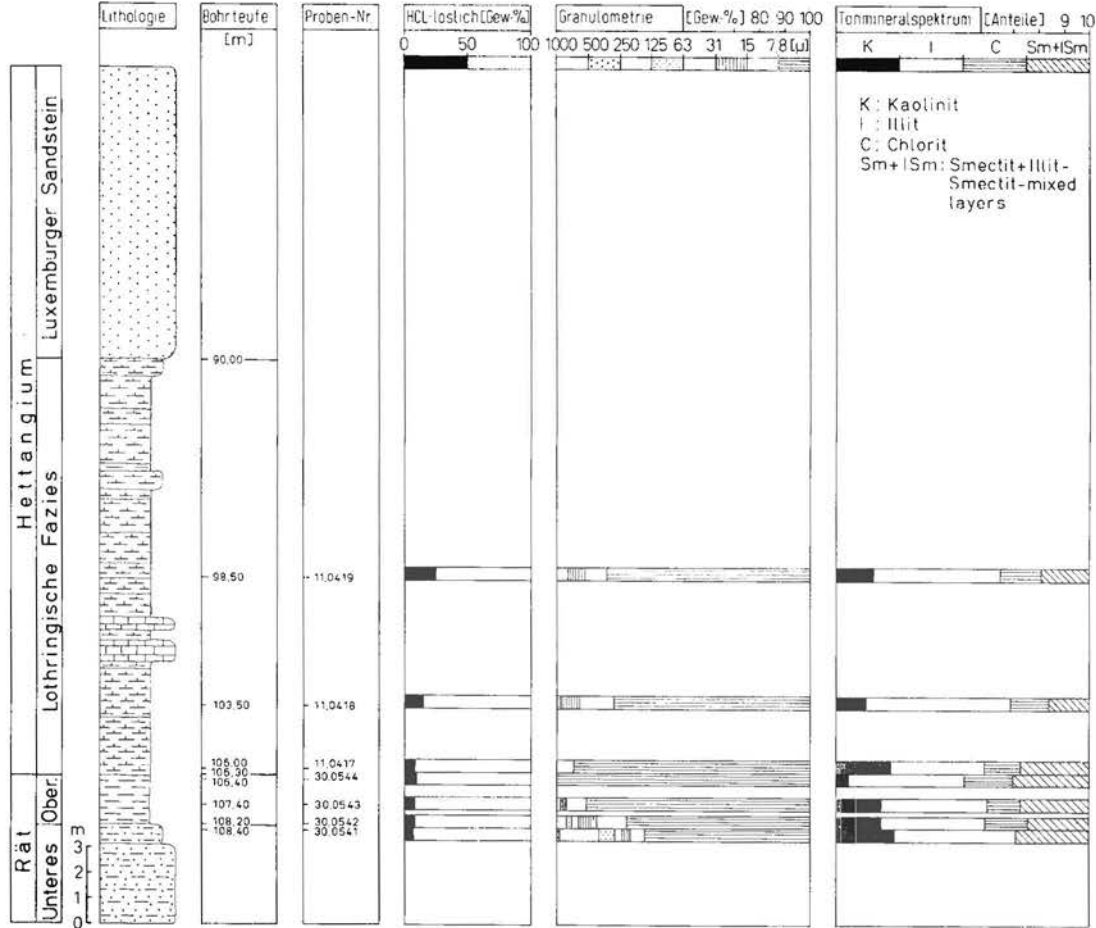
Die Steinmergelsedimente führen weder Kaolinit noch Chlorit. Der Illit-Gehalt ist sehr hoch (im Durchschnitt 8,7 Einheiten), während der Anteil an wechsellagernden Tonmineralien nur untergeordnet von Bedeutung ist (im Durchschnitt 1,3 Einheiten). Ergänzend dazu konnte nachgewiesen werden, daß es sich bei den I+IS-Mixed Layers um die relativ smectitarne Vertreter der Zusammensetzung 10—(10—14S)—14S handelt.

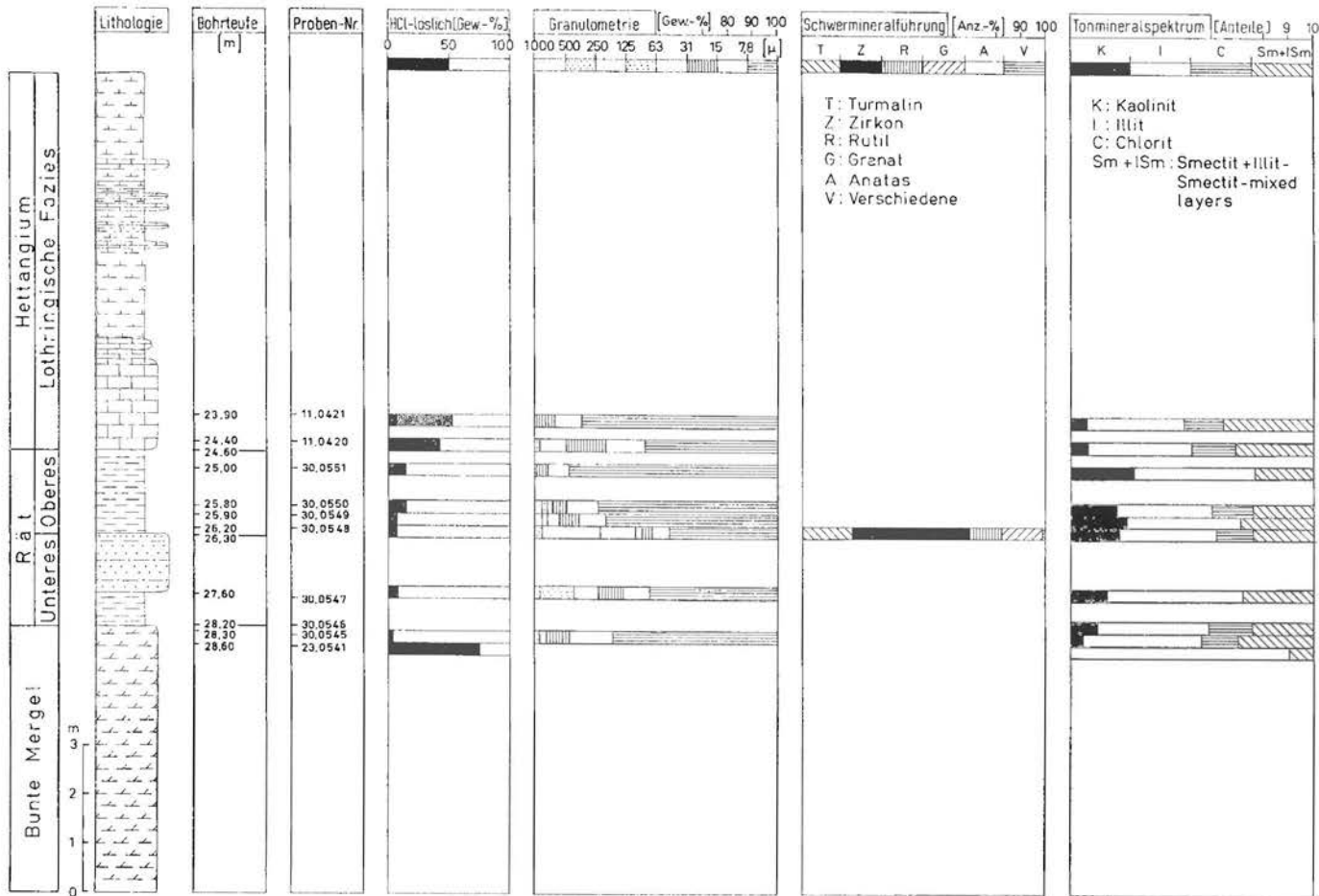
Das Tonmineralspektrum des Räts hebt sich deutlich von dem seiner Liegendschichten ab. So treten im Rät Kaolinit und Chlorit mit einem durchschnittlichen Gehalt von 1,7 bzw. 1,1 Einheiten auf. Die Illitführung liegt im Durchschnitt bei 4,6 Einheiten und ist damit bedeutend niedriger als im Bereich der Steinmergelgruppe. Dagegen sind die wechsellagernden Tonmineralien mit durchschnittlich 2,6 Einheiten im Rät häufiger vertreten als in den Steinmergelproben. Innerhalb der Gruppe der I+IS-Mixed Layers überwiegen die sehr smectitreichen Varianten (10—14 S)—14S (14 Proben). Die weniger smectitreichen Mixed Layer-Typen (10—14S)—14S (6 Proben) und 10—(10—14S)—14S (2 Proben) kommen verhältnismäßig selten vor. Betrachtet man die Verteilung dieser Varianten in den einzelnen Profilen, so ist im Verlauf des Unterräts eine mehr oder weniger deutlich ausgeprägte Zunahme des Smectitanteils zu beobachten. Im Gegensatz dazu verringert sich zum Hangenden des Oberräts hin wiederum die Häufigkeit der besonders smectitreichen Mixed Layers.

Die Sedimente des Hettangiums unterscheiden sich in Bezug auf ihre Tonmineralvergesellschaftung nicht wesentlich von denen des Räts. So beträgt der Kaolinitgehalt im Durchschnitt rund 1,4 Einheiten, während die Chloritführung durchschnittlich bei 1,2 Einheiten liegt. Illit ist im Schnitt zu  $\pm 4,8$  Einheiten vertreten und wechsellagernde Tonmineralien erscheinen mit einem durchschnittlichen Anteil von 2,6 Einheiten. Gleichfalls besteht eine große Ähnlichkeit hinsichtlich der auftretenden Mixed Layer-Typen. Es dominieren nämlich die sehr smectitreichen Varianten der Zusammensetzung (10—14S)—14S (4 Proben), während die weniger smectitreichen Arten (10—14S)—14S (3 Proben) und 10—(10—14S)—14S (2 Proben) seltener sind.

MERSCH F506  
 M: 1:100

Abb. 5 : Das Bohrprofil Mersch F 506







## 5. ORGANISCHE GEOCHEMIE UND KOHLENPETROLOGIE \*)

### 5.1. Einführung

18 Gesteinsproben aus den Bohrungen F 504, F 505 und F 509 wurden mit organisch-geochemischen und kohlenpetrologischen Methoden untersucht.

Das Ziel der Arbeit war, die Trias-Lias-Schichten nach der Art des organischen Materials (Kerogen, Bitumen) zu charakterisieren, um somit Aussagen über das Ablagerungsmilieu zu machen.

Kalkschalen, Kieselskelette usw. der verschiedenen Organismen sind von der vorliegenden Abhandlung ausgenommen.

Unter OM — organisches Material — werden in dieser Arbeit ausschließlich Reste von pflanzlichen Teilen und tierischen Weichteilen sowie biosynthetisierte Produkte verstanden.

Stratigraphie	Lithologie	Anzahl der analysierten Proben
Hettangium, Lothringer Fazies	Mergel (sandig)	5
Mergel und Tone von Levallois	Tone	6
Sandig-Pel. Rät	Sande + Tone	5
Steinmergelgruppe	Dolomite	2

Gesamt : 18 Proben

Tabelle 5.1.: Anzahl und stratigraphische Zuordnung der untersuchten Proben

Organisch gebildete Bestandteile sind untergeordnet am Aufbau fast aller Sedimente beteiligt.

Ein Teil des OM der Sedimente entstammt direkt der Biosphäre und sind Bestandteile, die von Organismen biosynthetisiert wurden.

Neben marinen autochthonen Komponenten wie Algen, Zoo- und Phytoplankton, besteht das OM seit dem mittleren Paläozoikum aus einem terrigenen allochthonen Anteil wie Sporomorphen und Resten höherer Pflanzen. Auch die in der Wassersäule und dem Sediment lebenden Mikroorganismen, die als das letzte Glied in der Nahrungskette vor der Lithifikation anzusehen sind, liefern einen beachtlichen Beitrag (LIJMBACH 1975).

Während der Sedimentation kommen diese Typen von OM gemischt und in unterschiedlichen Anteilen zur Ablagerung zusammen mit minerogenen Bestandteilen.

\*) Die Untersuchungen wurden im Rahmenprogramm Energie-Forschung, Projekt-Nr. 3070 B, durchgeführt. Wir danken dem Bundesministerium für Forschung und Technologie (Bonn, Bundesrepublik Deutschland) für die Bereitstellung der Finanzmittel.

Während der Sedimentation und der frühen Diagenese unterliegen diese Komponenten nur geringfügigen chemischen Veränderungen. Unterliegt das OM jedoch einer thermischen Beeinflussung während der Katagenese, so bilden sich aus dem Kerogen neue organische Verbindungen (u. a. Kohlenwasserstoffe).

### 5.2. Methodik

Die organisch-geochemische und kohlenpetrologische Methodik stützt sich auf folgende Analysen:

1. Bestimmung des Gehaltes an organischem Kohlenstoff (Corg)
2. Flow-Blending Extraction
3. Trennung der Fraktion der gesättigten Kohlenwasserstoffe mittels Dünnschichtchromatographie
4. Gaschromatographische Analyse der gesättigten Kohlenwasserstoffe
5. Harnstoffadduktion zur Trennung der gesättigten Kohlenwasserstoffe in den Teil der n-Alkane (Addukt) und den Teil der iso- und cyclo-Alkane (non-Addukt)
6. Gaschromatographie der gesättigten Kohlenwasserstoffe und der n-Alkanfraktion
7. Pyrolyse des Kerogens
8. Isolierung des Kerogens mittels einer Schwerelösung
9. Bestimmung des Inkohlungsgrades nach der Huminit/Vitrinitreflexion und Sporenfarbe
10. Art der organischen Substanz nach der Mazeralanalyse.

Die Analysenmethodik ist detailliert in ESPITALIÉ et al. (1977; 7) RADKE et al. (1978; 2) und FLEKKEN (1978; 1, 3-6, 8-10) beschrieben.

### 5.3. Einfluß der Verwitterung

Verwitterungsprozesse (oxidative oder bakterielle) sind u. a. bekannt durch ihre Verringerung des Corg-Gehaltes in Sedimenten (LEYTHAEUSER 1973, FLEKKEN 1975, 1976, 1978).

FLEKKEN (1978) wies eine Verwitterung von bis zu ca. 7 m im Posidonien-Shale der Bohrungen Raemerich und Budgeberg (Luxemburg) nach. In unseren Schichten ist der Einfluß der rezenten Verwitterung in den Teufen der Probennahme (28-71 m) somit wohl auszuschließen.

### 5.4. Ergebnisse

Die Zusammensetzung der organischen Substanz von Trias-Lias-Proben aus Luxemburg wurde von FLEKKEN (1978) dargestellt. Dort beträgt die mittlere Menge an organischem Kohlenstoff

(Corg) 3,1% — was mit 4,59 Gew.-% an OM gleichzusetzen wäre (Vergl. Tab. 5.3.) — das lösliche OM (Extrakt, Bitumen) 413 ppm und der Kerogenanteil 4,55% (Gew.-% vom Sediment). Vom OM besteht demnach 0,9% aus löslichem OM und 99,1% aus unlöslichem Kerogen. Das lösliche OM besteht im Mittel zu 12% aus der speziell untersuchten Stoffgruppe der gesättigten Kohlenwasserstoffe, zu 33% aus aromatischen Kohlenwasserstoffen und zu 55% aus Heretoverbindungen.

Im einzelnen sind die Ergebnisse der organisch-geochemischen und kohlenpetrologischen Untersuchungen in den Tabellen 5.2. und 5.4. aufgeführt.

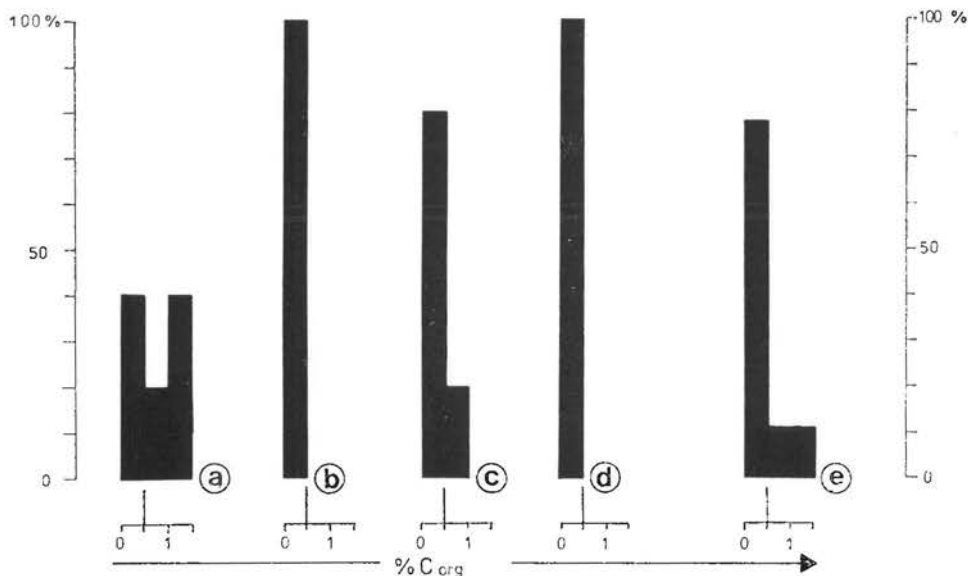


Abb. 7: Die Verteilung des organischen Kohlenstoffs

- a) im Hettangium, Lothringische Fazies
- b) in den Mergeln von Levallois
- c) im sandig-pelitischen Rät
- d) in der Steinmergelgruppe
- e) für sämtliche Proben

#### 5.4.1. Die Verteilung des organischen Kohlenstoffs.

Der Gehalt an organischem Kohlenstoff (Corg) läßt eine Aussage über die Menge der organischen Substanz in einem Sediment zu.

Weil das OM außer Kohlenstoff auch die Elemente H, O, N, S, Metalle usw. enthält, werden zur Umrechnung von Corg-Gehalten

	Proben-Nr..	Corg (%)	Extrakt (ppm)	Extrakt/Corg. (mg/g)	Pr/nC <sub>17</sub>	Pr/Ph	CPI <sub>29</sub>	CPI <sub>18</sub>	ΣnC <sub>15_20</sub> (%)
F 505	23.0536	0,08	75	93,8	0,70	1,02	2,7	0,48	55,0
	30.0499	0,16	100	62,5	1,07	1,43	2,0	0,56	64,4
	30.0500	0,14	35	25,0	0,87	1,68	1,3	0,65	60,5
	30.0501	0,23	57	24,8	1,15	0,95	1,8	0,56	44,9
	30.0502	0,27	28	10,4	1,40	1,27	1,2	0,37	44,9
	30.0503	1,22	1496	122,6	0,70	1,09	1,2	0,85	59,9
	11.0412	0,33	76	23,0	1,09	1,16	6,8	0,54	43,7
	11.0413	0,75	128	17,1	1,14	1,25	1,6	0,69	56,6
F 504	30.0504	0,85	53	6,2	0,80	1,25	1,5	0,70	36,9
	30.0505	0,29	23	7,9	1,03	0,97	2,2	0,48	46,4
	30.0506	0,34	43	12,6	0,80	1,10	1,4	0,52	49,1
	30.0507	0,32	42	13,1	1,40	0,95	1,6	0,29	43,7
	30.0508	0,30	39	13,0	0,70	1,02	1,2	0,43	78,9
	30.0509	0,26	30	11,5	0,96	1,14	1,4	0,51	64,5
	30.0510	0,28	34	12,1	0,84	1,00	1,3	0,45	55,9
	11.0414	0,29	45	15,5	0,81	1,17	2,7	0,42	74,6
11.0415	1,44	192	13,3	1,07	1,53	1,8	1,26	46,3	
F 509	23.0541	0,07	24	34,3	1,33	1,05	1,2	0,34	38,2

Tabelle 5.2.: Geochemische Daten der untersuchten Proben

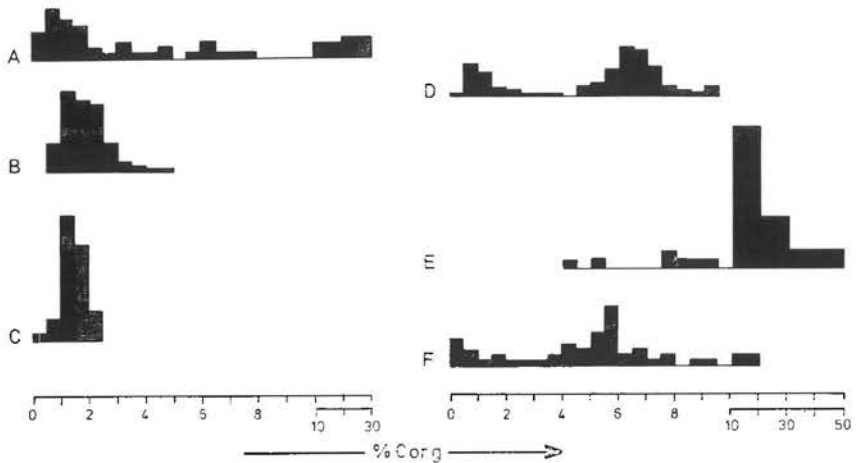


Abb. 8 : Häufigkeitsverteilungen von Corg in Muttergesteinen, Ölshales und flözführendem Karbon (Nebengestein)  
 A. Saarkarbon, Tonschiefer (LEYTHAEUSER 1968)  
 B. Mowry shale (SCHRAYER et al. 1966)  
 C. Douala Becken (ALBRECHT et al. 1976)  
 D. Untertoarcium Luxembourg (FLEKKEN 1978)  
 E. Ölshale (z. T. nach WILLIAMSON 1964)  
 F. Kimmeridgium, Nordsee (OUDIN 1976, SEEMANN 1977)

in OM-Gehalte von mehreren Autoren Umrechnungsfaktoren angegeben. Diese liegen für fossile Sedimente zwischen 1.07 und 1.7 (WENZLOW 1975). FORSMAN & HUNT (1958) geben z. B. einen Wert von 1.22 für marines OM an. TISSOT & WELTE (1978) geben mehrere Umrechnungsfaktoren an, wobei die Diagenese und Katabogenese sowie die Art des OM Berücksichtigung finden (Tab. 5.3.).

	Kerogentyp			Kohle
	sapropelitisch	liptobio-litisch	humitisch	
Diagenese (bis ca. 0,5% Rm)	1,25	1,34	1,48	1,57
Ende der Katagenese (bis ca. 2,0% Rm)	1,20	1,19	1,18	1,12

Tabelle 5.3.. Umrechnungsfaktoren für die Berechnung des gesamten organischen Materials aus Kohlenstoffgehalten (verändert nach TISSOT & WELTE 1978)

Im Hettangium in Lothringer Fazies treten größere Schwankungen im Corg-Gehalt auf. Sie liegen bei einem Mittel von 0,81% zwischen 0,29% und 1,44%.

Für die Bohrung F 504 beträgt das Maximum 1,22, das Minimum 0,33%. In der Bohrung F 505 beträgt das Maximum 1,44 und das Minimum 0,29%. In den Mergeln von Levallois ist der Gehalt an Corg sehr uniform. Hier treten Werte zwischen 0,23% und 0,32% mit einem Mittel von 0,28% auf.

Im sandig-pelitischen Rät treten in den sandigen Teilen der Bohrung F 504 niedrige Gehalte auf. Im sandigen Teil der Bohrung F 505 verhalten sich die Gehalte an Corg wie in den Mergeln von Levallois. Im tonigen Teil der Bohrung F 505 liegt der Gehalt an Corg über dem Durchschnittswert von 0,36%. Die Gehalte schwanken zwischen 0,14% und 0,85%. Die beiden dolomitischen Proben der Steinmergelgruppe sind mit Corg-Gehalten von 0,08% bzw. 0,07% sehr arm an OM. Insgesamt hebt sich der größere Gehalt einiger Hettangium-Proben heraus (Abb. 7).

Vergleichen wir diese Werte mit Daten aus der Bohrung Rébierg (FLEKKEN 1978), so finden wir in beiden Bohrungen Gehalte an OM in etwa der gleichen Größenordnung.

Für das Hettangium in Lothringer Fazies schwanken in Rébierg die Werte zwischen 0,85% und 1,92%. Das Mittel beträgt 1,26%. Für das Rät liegen Werte von 0,18% und 0,29% vor. Proben aus der Steinmergelgruppe wurden in Rébierg nicht analysiert. Verglichen mit den Referenzproben bekannter Erdölmuttergesteine, Ölschiefer und flözkohlenführender Schichten (Nebengestein) sind die Werte in den Trias-Lias-Proben, insgesamt betrachtet, gering (Abb. 8).

Nur die Proben 11.0415 und 30.0503 und im geringen Maße auch die Proben 30.0504 und 11.0413 heben sich etwas heraus. Verglichen mit FLEKKEN (1978; Fig. 7.), wo für verschiedene stratigraphische Serien der Luxemburger Trias-Lias-Sedimente Corg-Histogramme dargestellt sind, liegen die Modalwertklassen der Proben der Bohrungen Mersch unterhalb denen dieser Referenzbohrungen.

#### 5.4.2. Inkohlungsgrad des OM und Mazeralgruppenanalyse.

Wie aus früheren Arbeiten von HAGEMANN (1975) und FLEKKEN (1978) bekannt ist, befindet sich das OM der Luxemburger Trias-Lias-Ablagerungen in dem Reifestadium bzw. Inkohlungsstadium einer Weichbraunkohle.

Die mittlere Huminitreflexion beträgt ca. 0,3% (Rm, Öl, 546 nm); die Sporenfarbe ist hellgelb bis gelb.

Der Temperatureinfluß auf Grund der maximalen Versenkungstiefe lag unterhalb der Grenze von 60 - 70° C. Diese Grenze wird erst an der Wende Matt/Glanzbraunkohle überschritten (Rm ca. 0,5%) (WELTE 1975, TEICHMÜLLER 1974).

Das OM der Trias-Lias-Sedimente befindet sich somit noch in der biochemischen Phase der Inkohlung. Im Vergleich mit Daten von TISSOT et al. (1971) kann man feststellen, daß die maximale Absenkung weniger als 600 m betragen hat.

Für die Reifegradbestimmung des Probenmaterials Mersch wurde die Probe 30.0503 gewählt. Ihr mittleres Huminitreflexionsvermögen beträgt 0,34% Rm.

Der Liptinitgehalt beträgt ca. 3%, der Vitrinitgehalt ca. 5% und der Inertinitanteil 92% im isolierten Kerogen. Der isolierbare Kerogenanteil dieser Probe beträgt 0,65 Gew.-% vom Sediment.

Bei einem Corg-Gehalt von 1,22%, einem Umrechnungsfaktor von 1.48 (1,81% OM) und einem Gehalt von ca. 0,15% an löslichem OM im Sediment (d. h. 12,7% von Corg) beträgt der isolierbare Anteil 35,9% und der nicht isolierbare Anteil 51,4% im Sediment.

Der Kerogentyp ist als Typ III (vergl. Kap. 5.4.3.) zu bezeichnen, d. h., ein i. w. terrestrisches Ausgangsmaterial.

#### 5.4.3. Zusammensetzung des Kerogens (Pyrolyse)

Die Kerogenzusammensetzung wurde mittels der Pyrolyse nach ESPITALIÉ et al. (1977) bestimmt.

Als Beispiel eines Thermogrammes bzw. Pyrogrammes ist die Probe 11.0415 in Abb. 9 A dargestellt.

Es werden hierzu bestimmt :

Der Anteil an freien Kohlenwasserstoffen (S1), vergleichbar mit dem Extrakt, der durch Pyrolyse austreibbare Anteil an neugebildeten Kohlenwasserstoffen (S2) und die Menge an gebildetem CO<sub>2</sub> (S3), organischen Ursprungs (thermische Decarboxylierung).

Aus diesen Anteilen wird der Wasserstoffindex iH (mg Kohlenwasserstoffe von S2 pro g Corg) und der Sauerstoffindex iO (mg CO<sub>2</sub> aus S3 pro g Corg) berechnet.

Außerdem wird die Temperatur (Tmax °C) bestimmt, bei der die maximale Menge an Kohlenwasserstoffe aus dem Kerogen gebildet wird (Maximum des S2 Peaks). Die Meßwerte sind in Tab. 5.4. aufgeführt.

Die Darstellung im iH-iO-Diagramm ist vergleichbar mit dem «van KREVELEN H/C-O/C Diagramm» (VAN KREVELEN 1961).

Die Lage der Wasserstoff- und Sauerstoffindices der Proben im iH-iO-Diagramm (Abb. 10) läßt eine Aussage über die Art des Kerogens (Typeneinteilung nach TISSOT et al. 1971) zu.

Bohrung/Probe		iH	iO	Tmax
F 504	11.0413	130.6	56.0	402.4
	11.0412		108.3	
	30.0503	100.0	28.9	413.2
	30.0502		44.4	
	30.0501		139.1	
	30.0500		200.0	
	30.0499		118.2	
	21.0536		371.4	
F 505	11.0415	171.5	41.3	404.1
	11.0414		113.8	
	30.0510	31.3	142.8	(292.0)*
	30.0509		107.7	
	30.0508		83.3	
	30.0507		259.4	
	30.0506		58.8	
	30.0505		60.7	
	30.0504	49.4	8.2	412.0
F 509	23.0541		288.9	

\*) sehr breiter S<sub>2</sub>-Peak

Tabelle 5.4.: Wasserstoff- und Sauerstoffindizes des Kerogens

Die Wasserstoffindizes schwanken für das Hettangium in lothringischer Fazies zwischen 0 und 171.5 mg/gCorg \*) (Mittel 80.4), für die Mergel von Levallois zwischen 0 - 31.3 mg/gCorg und für das sandig-pelitische Rät zwischen 0 - 49.4 mg/gCorg; Mittel 9.9.

Für die Steinmergelgruppe liegen beide Meßwerte unterhalb der Nachweisgrenze.

Der Sauerstoffindex zeigt folgende Minima, Maxima und Mittelwerte :

Für das Hettangium 28.9-113.8 mgCO<sub>2</sub>/gCorg (Mittel 70.0)

Für die Mergel von Levallois 44.4-259.4 mgCO<sub>2</sub>/gCorg (Mittel 129.5)

Für das sandig-pelitische Rät 8.2-200.0 mgCO<sub>2</sub>/gCorg (Mittel 89.2).

Die Werte für die Steinmergelgruppe schwanken zwischen 288.9 und 371.4 mgCO<sub>2</sub>/gCorg (Mittel 330.2).

Von den meisten Proben lag der Wasserstoffindex unterhalb der Nachweisgrenze (n.m.), die von DISKO (1978, mündl. Mittl.) auf ca 10 mg/gCorg geschätzt wird.

Bei den Berechnungen sind diese Werte gleich Null gesetzt.



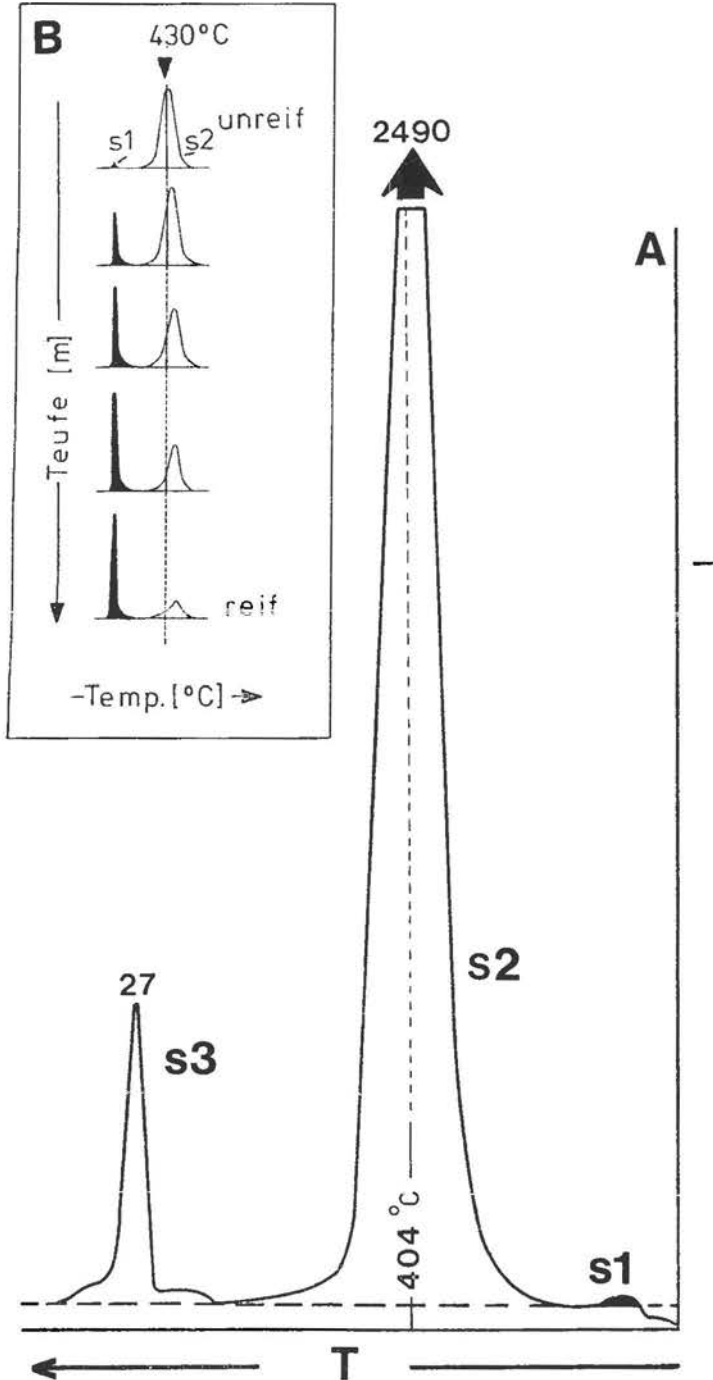


Abb. 9 : A. Beispiel eines Pyrogrammes (Probe 11.0415)  
B. Einfluß der Reife auf das Kerogen (ESPITALIÉ et al. 1977)

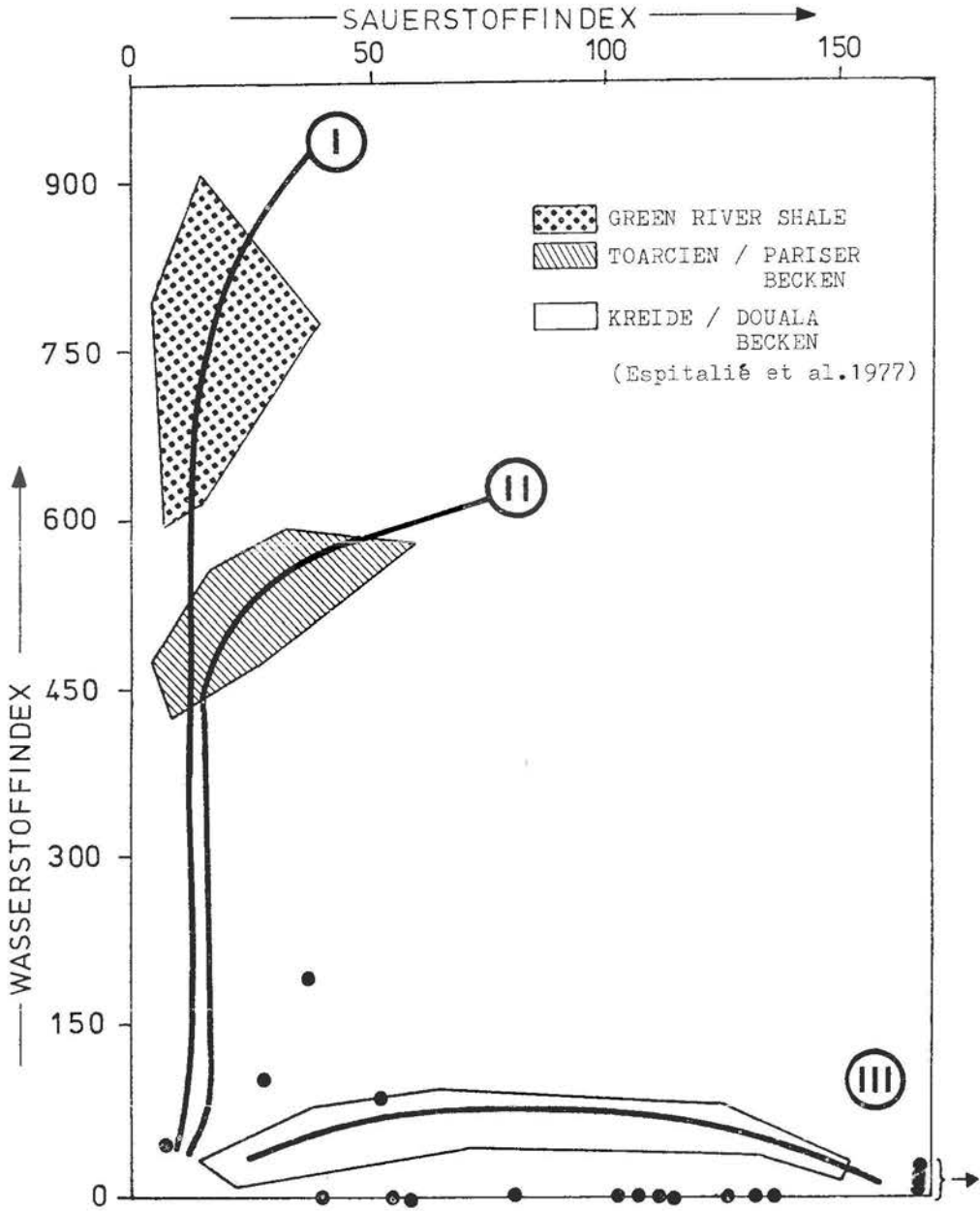


Abb. 10 : Elementarzusammensetzung des Kerogens

Einen Vergleich mit Referenzdaten (Abb. 10) verschiedener Kerogentypen zeigt, daß das Kerogen der untersuchten Proben ein OM des Types III (lignohumitischer Natur nach COMBAZ 1975) ist. Es stellt ein aromatisches Kerogen kohlenartiger Natur dar (vergl. van KREVELEN 1961, Abb. VI-4).

Dieser Kerogentyp stimmt überein mit den kohlenpetrologischen und isotopengeochemischen Daten von REDDING (1978) und FLEKKEN (1978), nach denen das Kerogen der Trias-Lias-Sedimente Luxemburgs meist terrestrischen Ursprungs ist, d. h. höheren Landpflanzen entstammt.

Zu einem gleichen Ergebnis führte ebenfalls die Mazeralanalyse der Probe 30.0503 (vergl. Kap. 5.4.2.).

Die Probe 11.0415 hat einen etwas höheren H-Index, was auf Beimischung von wasserstoffreicherem OM (i. w. Liptinite), wahrscheinlich Sporomorphen bzw. Algen, zurückzuführen ist.

Diese Aussagen über die Art des Kerogens treffen nicht für den löslichen Anteil des OM zu. In diesem Inkohlungsstadium hat das Kerogen noch keine Kohlenwasserstoffe freigesetzt. Der lösliche Anteil ist der chemisch gering veränderte Teil biologischer Abbauprodukte. Der lösliche und unlösliche Teil des OMs stellen im biochemischen Bereich der Inkohlung zwei unterschiedliche Systeme dar (FLEKKEN 1978).

Im geochemischen Inkohlungsbereich werden große Mengen an Kohlenwasserstoffe neugebildet, die die ursprüngliche Zusammensetzung des primären löslichen Anteils überdecken (TISSOT et al. 1974).

Verglichen mit Daten von ESPITALIÉ et al. (1977) zeigen die  $T_{max}$ -Werte, welche in den Proben aus Luxemburg zwischen 402 und 413 °C schwanken, ebenfalls, daß der Inkohlungsgrad gering ist.

Je höher die Reife des Kerogens ist, desto höher ist auch die Temperatur, bei welcher eine maximale Menge an Pyrolysat entsteht.

Auch ändert sich das Verhältnis  $S_1/S_2$  mit der Reife (vergl. Abb. 9 B).

Abb. 9 A belegt für die Probe 11.0415 also ebenfalls eine geringe Maturität der organischen Substanz.

Beachtet man die Stratigraphie, so weisen einige Proben (30.0503, 11.0413 und 11.0415) des Hettangiums höhere  $iH$ -Werte als andere Proben auf, d. h. sie besitzen ein H-reicheres Kerogen. Die untersuchten Steinmergelproben sind durch sehr hohe Sauerstoffindices charakterisiert.

#### 5.4.4. Extraktgehalte und das Verhältnis Extrakt/Corg (mg/g)

Im allgemeinen sind die Gehalte an Extrakt der Trias-Lias-Sedimente gering (Tab. 5.2.). Die Gehalte sind abhängig von der Menge an Corg und der Art der organischen Substanz. Die Berechnung des Verhältnisses Extrakt/Corg in mg/g (BITTERLI 1963) eliminiert die Abhängigkeit vom Kohlenstoffgehalt und läßt beim gleichen Inkohlungsgrad einen Vergleich zum Ablagerungsmilieu zu (LEYT-HAEUSER 1975).

Dieses Verhältnis variiert für das Hettangium in lothringischer Fazies zwischen 13.1 und 122.6 (Mittel 38.3), für die Mergel von Vallois zwischen 10.4 und 24.8 (Mittel 14.2) und für das sandig-pelitische Rät zwischen 6.2 und 62.5 (Mittel 22.8). Die Proben der Steinmergelgruppe weisen Verhältnisse von 34.3 - 93.8 auf (Mittel 64.1).

Allgemein beinhaltet das marine OM relativ, d. h. pro Kohlenstoffeinheit, mehr lösliches OM als OM terrestrischen Ursprungs (Abb. 11). Tragen wir die Daten der Proben aus den Bohrungen Mersch in Abb. 17 ein, wo die relative Menge an Extrakt in Relation zum Inkohlungsgrad dargestellt ist, so stellen wir eine beachtliche Streuung fest. Hier spielt der sehr hohe Inertinitanteil, der im Luxemburger Raum terrestrischen Ursprungs ist (HAGEMANN 1975, FLEKKEN 1978, REDDING 1978), eine Rolle und verringert sehr stark das Verhältnis mg Extrakt/gCorg. Nur wenige Proben zeigen deutlich ihre marine Fazies.

#### 5.4.5. Die Zusammensetzung der gesättigten Kohlenwasserstoffe

Eine Aussage über die Ablagerungsverhältnisse und die Art des löslichen OMs läßt am besten eine Betrachtung der mittels der Dünnschicht-Chromatographie bzw. Harnstoffadduktion abgetrennten Fraktion der gesättigten Kohlenwasserstoffe, speziell der Normal-Alkane, zu.

In Abb.12 ist für die Probe 23.0536 die Verteilung der gesättigten Kohlenwasserstoffe (A), der iso + cyclo-Alkane (B) und der normal-Alkane (C), sowie die n-Alkanverteilungskurve (D) dargestellt.

Diese Art der Information lag für jede Probe vor.

Die Zusammensetzung der Gaschromatogramme der Probe 23.0536 zeigt deutlich den Effekt, der die Harnstoffadduktion hervorruft. So verschwindet z. B. ein Großteil des «Berges» im Gaschromatogramm (A) der gesättigten KW. Dieser setzt sich aus gaschromatographisch nicht mehr weiter auflösbaren Naphthenen zusammen. Dieser Naphthenenberg erscheint in der Abb. 12 (C) relativ stark verringert.

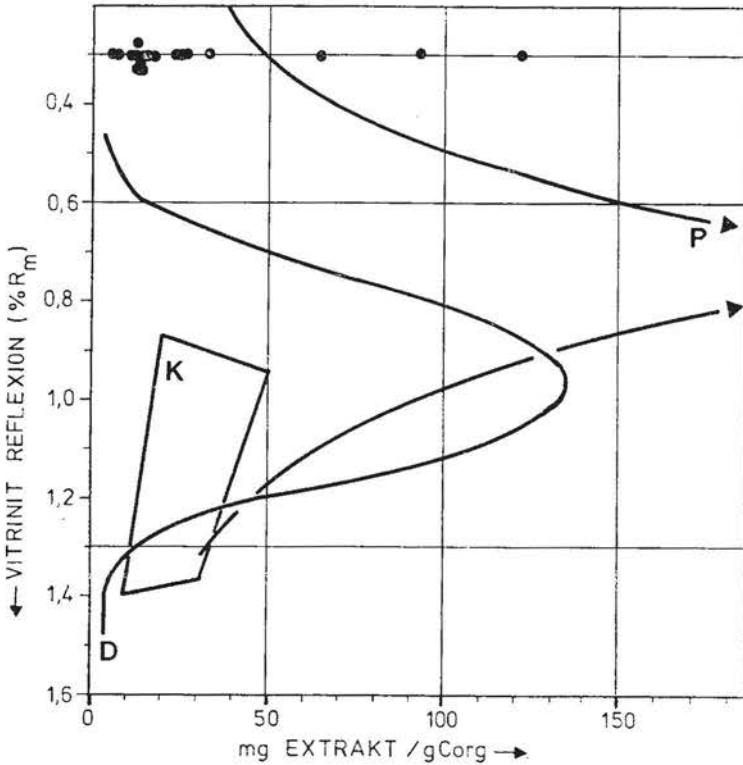


Abb. 11 : Das Verhältnis mg Extrakt/g Corg in Relation zum Inkohlungsgrad (nach LEYTHAEUSER 1975)

P: Marines Toarcium des Pariser Beckens

D: Gemischte Kreide- und Tertiär-Ablagerungen des Douala-Beckens

K: Terrestrische Kohle

Bei der Betrachtung der Gaschromatogramme der gesättigten Kohlenwasserstoffe (A) fällt auf, daß die meisten Proben im Vergleich mit den n-Alkanen einen sehr hohen Anteil an Naphthenen aufweisen. LEYTHAEUSER et al. (1978) fanden für gering inkohlte mesozoische Sedimente Grönlands, daß der Anteil an Naphthene im Verhältnis zu den n-Alkanen bei Zunahme der Marinität des Ablagerungsmilieus zunimmt.

Dies würde für unsere Trias-Lias-Proben auf einen marinen Ursprung des löslichen OM<sub>1</sub> hindeuten.

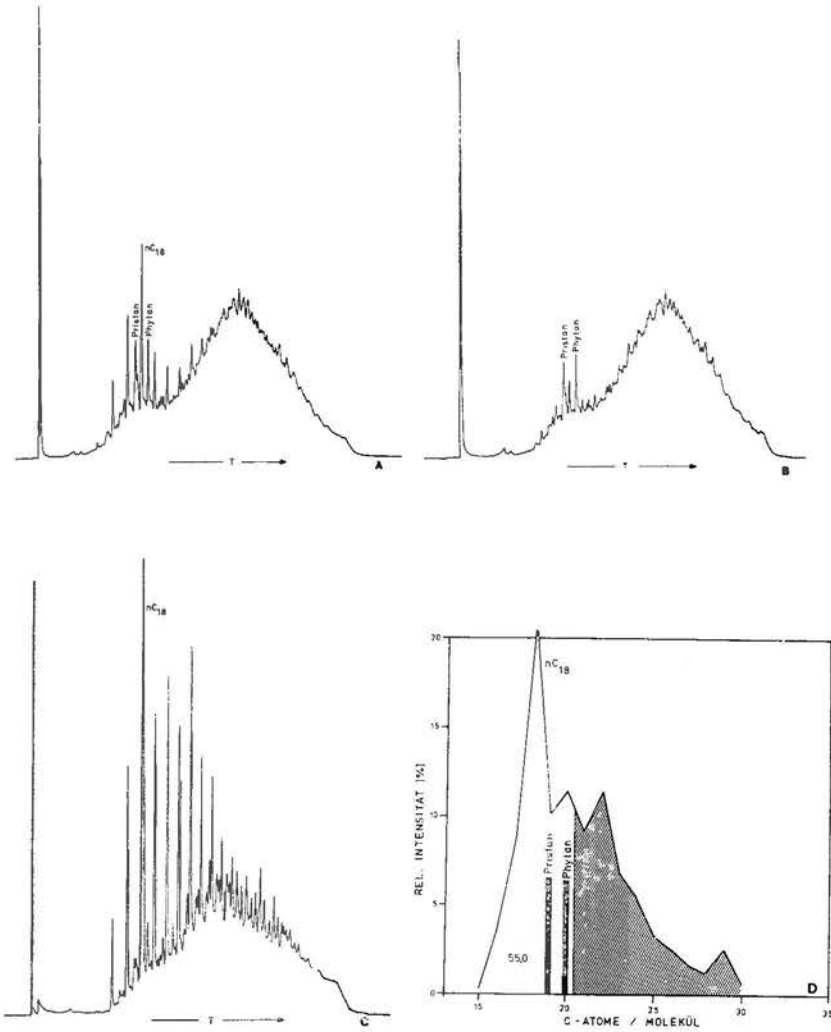


Abb. 12 : Gaschromatogramme und n-Alkanverteilung der Probe 23.0536

- A — gesättigte Kohlenwasserstoffe
- B — Iso- und Cyclo-Alkane
- C — n-Alkane
- D — n-Alkanverteilung (normiert)

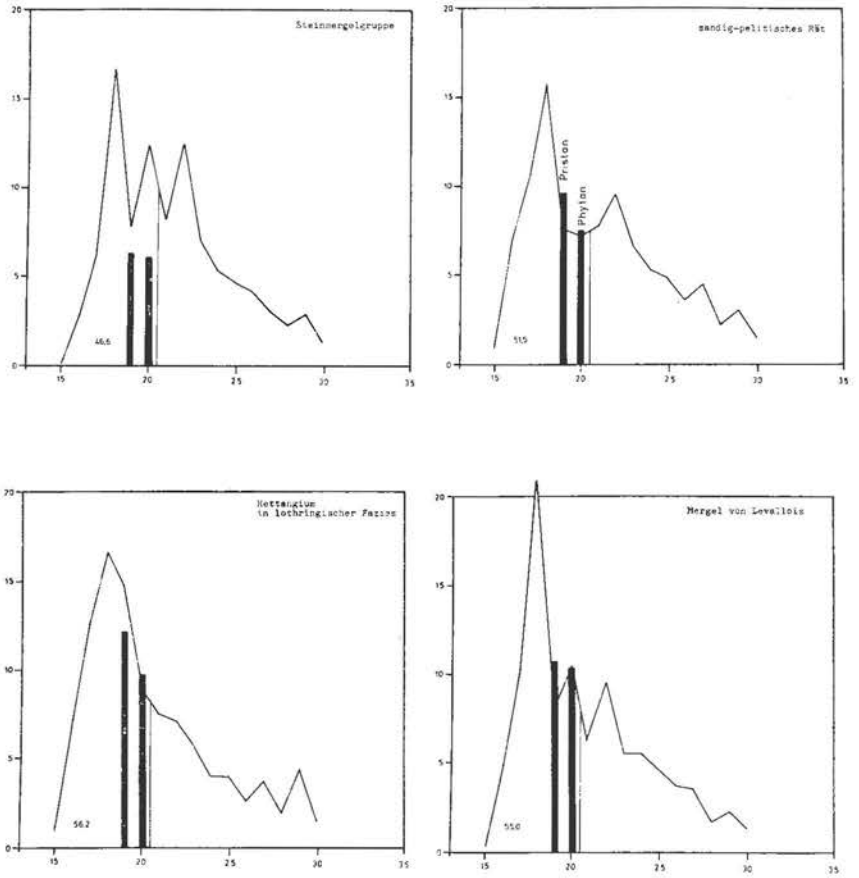


Abb. 13 : Gemittelte n-Alkanspektren für die einzelnen stratigraphischen Serien der Bohrungen Mersch

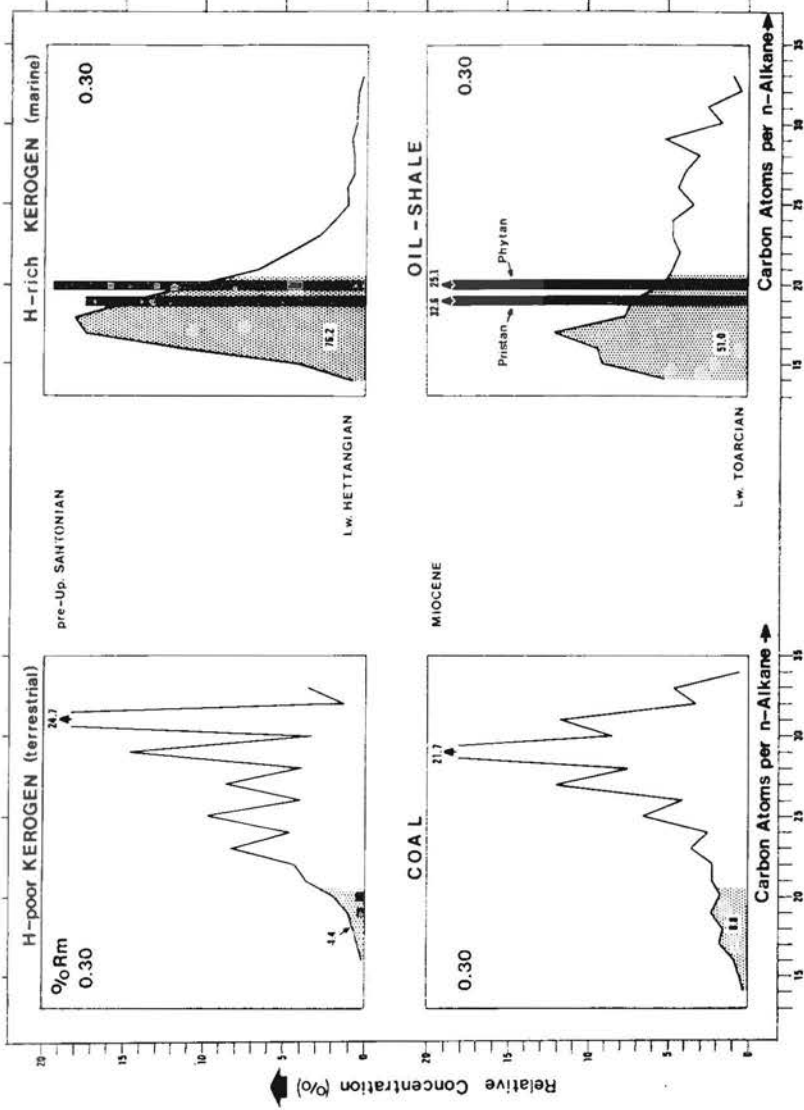


Abb. 14 : n-Alkanspektren verschiedener Typen organischer Substanz gleichen Reifegrades (Rm) (nach FLEKKEN 1978)



Ebenso fällt bei der Betrachtung der n-Alkanspektren (C und D) auf, daß:

eine Bevorzugung einzelner ungeradzahliger n-Alkane im höhermolekularen Bereich auftritt;

im niedrigmolekularen Bereich eine Bevorzugung der geradzahligen n-Alkane vorliegt.

Außerdem kann bei einer mengenmäßigen Betrachtung festgestellt werden, daß der Schwerpunkt (Maximum) der Menge an n-Alkane sich im niedrigmolekularen Bereich befindet.

Alle diese Erscheinungen sind abhängig von den unterschiedlichen Mengen des dem Sediment zugeführten OM marinen und terrestrischen Ursprungs, d. h. des Ablagerungsmilieus.

Auch ändern sich die n-Alkan-Spektren bei steigender Inkohlung. Bei der vorliegenden Betrachtung braucht dieser Faktor nicht mit einbezogen werden.

#### Bevorzugung der ungeradzahligen n-Alkane

Die Erscheinung des bevorzugten Auftretens der ungeradzahligen n-Alkane im höhermolekularen Bereich des Spektrums kann mit dem Carbon Preference Index (kurz CPI) nach PHILIPPI (1965) beschrieben werden.

$$CPI_{29} = \frac{2 \cdot nC29}{nC28 + nC30}$$

Die Bevorzugung ist durch die Abbauprodukte terrestrischer Pflanzenteile, hauptsächlich Wachse der Kutikulen (LIJMBACH, 1975) bedingt.

Obwohl man allgemein sagen kann, daß der CPI-Wert ein Maß für den terrestrischen Einfluß in einem Sediment ist — insofern als CPI-Werte über eins ein terrigen beeinflusstes OM anzeigen — kann man dennoch nicht in einer n-Alkanverteilung auf den prozentualen Anteil an OM terrestrischen Ursprungs schließen.

Ein Extrem stellt die Probe 11.0412 dar.

Vergleicht man die mittleren n-Alkanspektren der Proben aus den Bohrungen Mersch (Abb. 13) mit Referenzproben gleichen Inkohlungsgrades (Abb. 14), bezüglich der Bevorzugung der ungeradzahligen höheren Homologen und der Lage des Maximums, so kommt man zu dem Schluß, daß das lösliche OM der untersuchten Trias-Lias-Sedimente überwiegend marinen Ursprungs ist. Sie sind mit wechselnden Anteilen terrestrischen OMs vermischt.

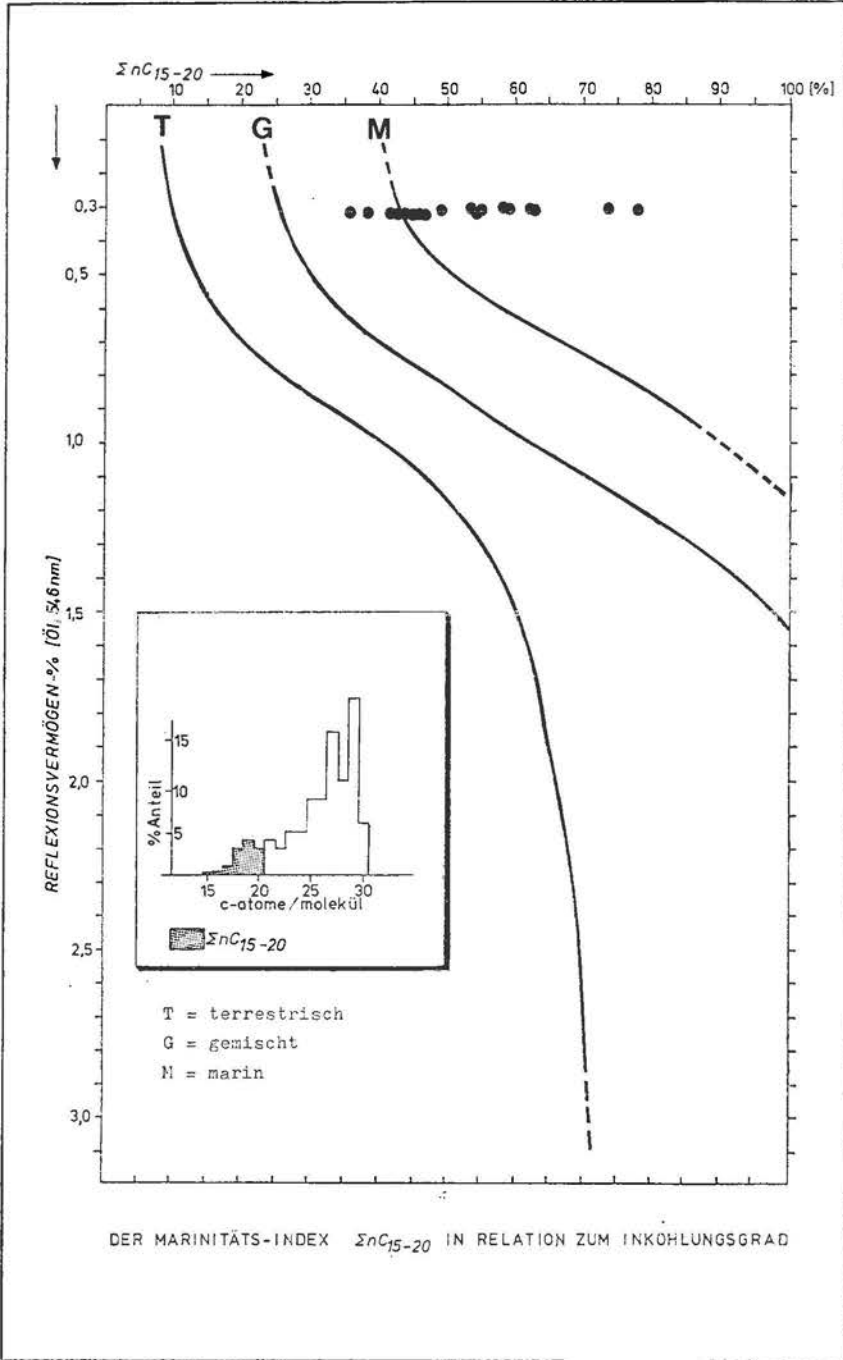


Abb. 15 : Der Marinitäts-Index  $\Sigma nC_{15-20}$  in Relation zum Inkohlungsgrad (FEKKEN 1978)

### Der Marinitätsindex

Zum gleichen Schluß führt die Betrachtung der Menge an n-Alkane, kleiner und gleich  $nC_{20}$ , die als mariner Anteil in einer n-Alkan-Verteilung angesehen werden kann (FLEKKEN 1978). Dieser sogenannte Marinitätsindex ( $\Sigma nC_{15-20}$ ) schwankt für die Trias-Lias-Proben, bleibt aber im Bereich des marinen OM. Dies zeigt sich deutlich im Vergleich mit den Referenzkurven der Abb. 15. Hier ist der Marinitätsindex verschiedener OM-Typen als Reifeparameter gegenüber dem Inkohlungsgrad dargestellt worden. Die Proben sind am besten vergleichbar mit denen des marinen Toarciums des Pariser Beckens.

Der Vergleich mit Referenzproben der Bohrungen Rébiert und Contern und der drei Proben aus Material terrigenen Ursprungs (Miozäne Weichbraunkohle des Flözes Morken, Xylit und terrestrisches OM aus der Kreide) (FLEKKEN 1978; Fig. 39) deutet ebenfalls auf die vollmarine Zugehörigkeit des löslichen OM.

### Die Bevorzugung geradzahligter n-Alkane

Die Bevorzugung ungeradzahligter n-Alkane im höhermolekularen Bereich einer n-Alkanverteilung in rezenten und fossilen Sedimenten ist eine häufig beobachtete Tatsache. Viel seltener liegt eine Bevorzugung geradzahligter n-Alkane vor.

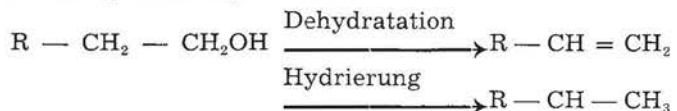
SIGL & WENZLOW (1976) berichteten über solche Verteilungen in Sapropelen aus dem Mittelmeer.

WELTE & WAPLES (1973), DEMBICKI et al. (1976) sowie auch KALBASSI (1979) führen dies auf chemische Reaktionen, die unter stark reduzierenden Bedingungen bei der Karbonatfällung oder evaporitischen Bildungen ablaufen, zurück. Das reduzierende Milieu kann dabei auch nur im Mikrobereich vorliegen.

Eine Reduktion von n-Lipiden und n-Wachsalkoholen entsprechender Kohlenstoffketten würde der wahrscheinlichste Mechanismus sein, der zu einem n-Alkanspektrum mit geradzahligter Bevorzugung führt.

Die Reaktion läuft nach folgendem Schema ab, wobei die Fettsäuren erst zu Alkoholen reduziert werden.

Über eine Dehydratation und eine anschließende Hydrierung bildet sich dann das geradzahlige n-Alkan.



Nach ROLFE & BRETT (1969, in WELTE u. WAPLES 1973) begünstigt eine Karbonat- bzw. evaporitische Fazies besonders solche

Reduktionsvorgänge, da dort extrem niedrige Eh- und sehr hohe pH-Werte auftreten.

Besonders deutlich tritt dieses Phänomen des Auftretens einer Bevorzugung einzelner geradzahligen n-Alkane in Salzen auf (KALBASSI, 1979).

Um diese mengenmäßige Bevorzugung der geradzahligen n-Alkane der niederen Homologen zu erfassen, wird der  $CPI_{18}$ -Index vorgeschlagen.

$$CPI_{18} = (nC_{17} + nC_{19}) / (2 \times nC_{18})$$

Hierbei sind bei Bevorzugung der geradzahligen n-Alkane die  $CPI_{18}$ -Indices kleiner als Eins.

In Abb. 16 sind die Minima, Maxima und Mittel der einzelnen stratigraphischen Einheiten der Bohrungen Mersch sowie Vergleichswerte aus den Bohrungen Rébierg und Contern sowie aus den Corbicularschichten (WELTE & WAPLES 1973) dargestellt.

Diese Proben besitzen ungefähr den gleichen Reifegrad. Deutlich zeigt sich die Annäherung an den  $CPI_{18}$  der Corbicularschichten, die unter stark reduzierenden Bedingungen in einem salinaren Milieu gebildet wurden.

Die Schichten des Lotharingium-IV (FLEKKEN 1978), die sich in einem oxydierenden Milieu abgelagerten, heben sich dagegen stark von dem Probenmaterial Mersch, speziell von den Proben des Räts und der Steinmergelgruppe ab.

Trotz dieser Bevorzugung der geradzahligen n-Alkane konnte die Bevorzugung der ungeradzahligen höheren Homologen, die durch die Menge an terrigenem OM hervorgehoben wird, nicht überdeckt werden (WELTE, mündl. Mittl. 1978).

#### 5.4.5.4. Isoprenoid-Kohlenwasserstoffe

Auch die Isoprenoid-Kohlenwasserstoffe, Hydrolyse-derivate des Phytols, eine Seitenkette des Chlorophylls (TISSOT & WELTE 1978), wurden untersucht.

In den Abb. 17 u. 18 sind die Verhältnisse von Pristan/Phytan und Pristan/n- $C_{17}$  in Relation zum Inkohlungsgrad in Abhängigkeit von der Art des OM dargestellt.

Aus der Abb. 18 ergibt sich eine eindeutige fazielle Zuordnung; das Verhältnis Pr/n $C_{17}$  zeigt deutlich den marinen Ursprung des organischen Materials.

Nach LIJMBACH (1975) weisen Pr/n $C_{17}$ -Werte in Ölen von rund 1.0 auf reduzierende Bedingungen hin, wie sie in fluviatilia-marinen



bzw. coastal-swamp environment gelten. Werte von über 1.5 (so bei der Probe 11.0415) sollen auf ein peat-swamp environment hinweisen.

Inwieweit diese Abgrenzungen auch für Sedimentextrakte realistisch sind, kann hier nicht entschieden werden. Wohl aber fand FLEKKEN (1978), daß reduzierende Bedingungen mit erhöhten  $Pr/nC_{17}$ -Werten konform gehen.

Das von WELTE & WAPLES (1973) festgestellte Überwiegen des Phytans über das Pristan in Sedimenten, die unter reduzierenden Bedingungen abgelagert werden, konnte hier nicht festgestellt werden, wohl aber das Fehlen bzw. das starke Zurücktreten des  $C_{18}$ -Isoprenoid Norpristan.

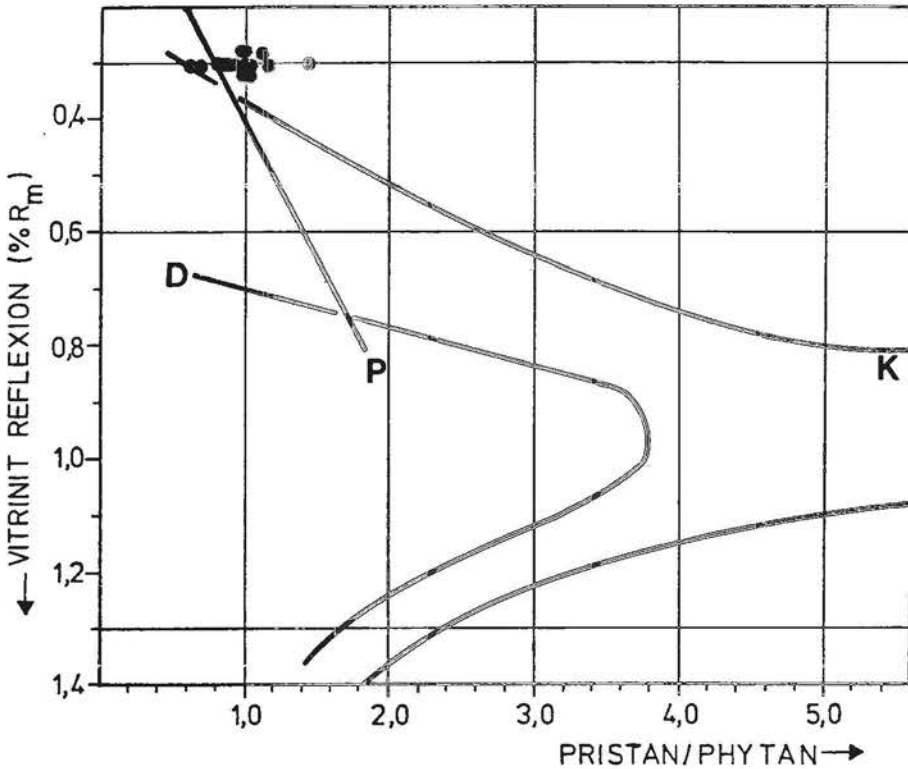


Abb. 17: Pristan/Phytan in Relation zum Inkohlungsgrad  
(nach LEYTHAEUSER 1975) Legende, vergleiche Abb. 11

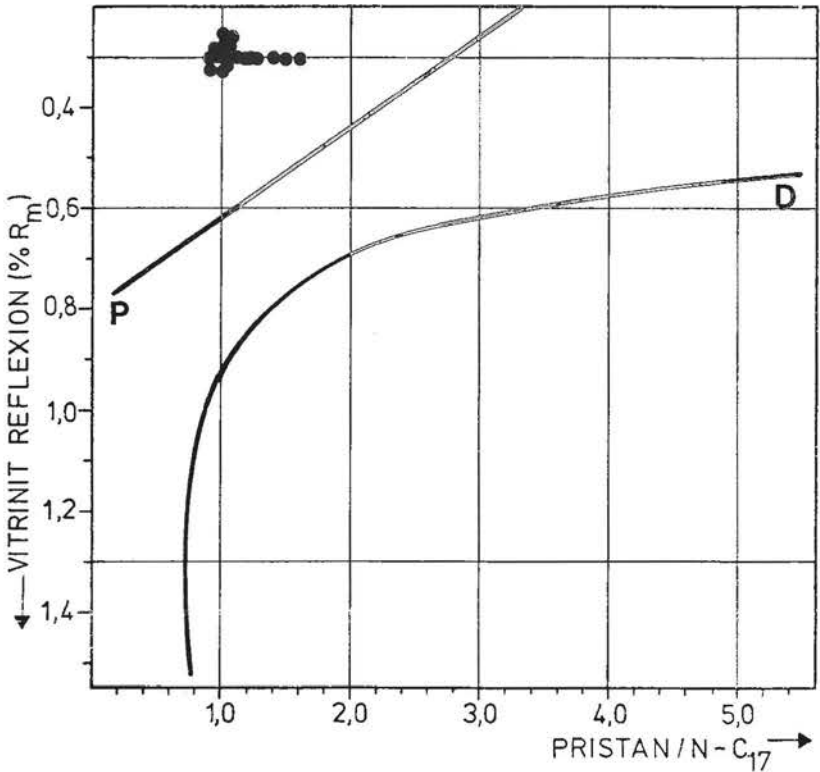


Abb. 18 : Pristan/nC<sub>17</sub> in Relation zum Inkohlungsgrad  
(nach LEYTHAEUSER 1975) Legende, vergleiche Abb. 11.

### 5.5. Erdölgeologische Aspekte

In Bezug auf die Pyrolysedaten, die meist sehr niedrige Wasserstoffindices und hohen Sauerstoffindices sowie geringe Tmax-Werte aufweisen, die niedrigen Corg-Gehalte (die meisten Proben lagen unterhalb der von TISSOT & WELTE, 1978, für klastische Gesteine: 0.5% und für Karbonate: 0.3% angegebenen unteren Grenzen für Muttergesteine), die niedrigen Mengen an löslichem organischen Material pro Kohlenstoffeinheit und die Mazeralanalyse, wird geschlossen, daß die meisten Proben nicht als potentielle Muttergesteine für Erdöl und Erdgas angesehen werden können.

Der niedrige Inkohlungsgrad von ca. 0.3% Huminitreflexion deutet an, daß auch für potentielle Muttergesteine die Reife noch nicht so weit fortgeschritten ist, daß es schon zu einer Kohlenwasserstoff-Neubildung gekommen ist.

Dies steht im Einklang mit früheren Untersuchungen von FLEKKEN (1978) im Mesozoikum Luxemburgs.

## LITERATURVERZEICHNIS

- ALBRECHT, P., M. VANDENBROUCKE & M. MANDENGUÉ, 1976, Geochemical studies on the organic matter from the Douala basin (Cameroun) — I.: Evolution of the extractable organic matter and the formation of petroleum: *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 40, 791-799, Oxford - New York - Paris - Frankfurt.
- ANTUN, P., 1953, Les associations des minéraux denses du Mésozoïque luxembourgeois: *Annales Soc. géologique de Belgique*, 76, 249-271, Liège.
- BITTERLI, P., 1963, Aspects of the genesis of bituminous rock sequences: *Geologie en Mijnbouw*, Jrg. 42, Nr. 6, 183-201, Den Haag.
- COUREL, L., 1976, Minéraux lourds du Rhétien de Bourgogne: Rapport de recherches inédit.
- DEMBICKI, H., W. WEINSCHEN & D. HATTIN, 1976, Possible ecological and environmental significance of the predominance of even-carbon number C 20 - C 30 n-alkanes: *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 40, 203-208, Oxford - New York - Paris - Frankfurt.
- ESPITALIÉ, J., J.L. LAPORTE, M. MADEC, F. MARQUIS, P. LEPLAT, J. PAULET & F. BOUTEFEU, 1977, Méthode rapide de caractérisation des roches de leur potentiel pétrolier et de leur degré d'évolution: *Rev. I.F.P.*, 32, 23-42, Paris.
- FLEKKEN, P., 1975, Organisch-geochemische und kohlenpetrographische Bearbeitung der oberantonen Hergenrather Schichten (Basiston) und der Verwitterungsrinde des paläozoischen Grundgebirges im belgisch-niederländischen Grenzgebiet: Unveröffentlichte Diplomarbeit R.W.T.H. Aachen, Aachen.
- FLEKKEN, P., 1976, Organisch-geochemisch en kolenpetrografisch onderzoek van het organisch materiaal (bitumen en kerogen) uit het Namurien en de basis van het Boven-Krijt (Santonien) in het Zuid-Limburgs-Belgisch grensgebied: *Grondboor en Hamer*, 6, 166-178, Oldenzaal.
- FLEKKEN, P., 1978, Anwendung organisch geochemischer, kohlenpetrologischer und isotopengeochemischer Untersuchungsmethoden in der Faziesanalyse und der Kohlenwasserstoffexploration am Beispiel des NE-Randes vom Pariser Becken (Trias-Lias Luxemburg); *Riss*. R.W. T.H. Aachen, 273 p., Aachen.
- FORSMAN, J.P. & J.M. HUNT, 1958, Insoluble organic matter (kerogen) in sedimentary rocks of marine origin. *A.A.P.G.*, *Habitat of oil*, 747-778, Tulsa/Oklahoma.
- HAGEMANN, H., 1975, Petrographische und palynologische Untersuchung der organischen Substanz (Kerogen) in den liassischen Sedimenten Luxemburgs: *Adv. Org. Geochem.*, 29-37, Paris.
- HENDRIKS, F., 1977, Sedimentologische Untersuchungen der Trias-Lias-Grenzschichten im Untersuchungsgebiet Fayl-Billot, Département Haute Marne, Frankreich: Unveröffentlichte Diplomarbeit R.W.T.H. Aachen. 176 p., Aachen.
- KALBASSI, H., 1979, Untersuchung organischer Substanzen in Evaporiten: *Diss. R.W.T.H. Aachen*, 124 p., Aachen.



- KEPPENS, E., 1972, Bijdrage tot de sediment petrographie van het Rhé-  
tien in de provincie Luxemburg: Diplomarbeit, Rijksuniversiteit Gent,  
76 p., Gent.
- VAN KREVELEN, D.W., 1961, Coal, Typology-Chemistry-Physics-Constitu-  
tion: Elsevier, Amsterdam.
- LEYTHAEUSER, D., 1968, Die Verteilung höherer n-Paraffine und ande-  
rer schwerflüchtiger Kohlenwasserstoffe in Kohlen und Gesteinen  
des saarländischen Karbons und Devons in Abhängigkeit von den  
geologischen Verhältnissen: Diss. Univ. Würzburg, Würzburg.
- LEYTHAEUSER, D., 1973, Effects of weathering on organic matter in  
shales: *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 37, 113-120, Oxford - New York -  
Paris - Frankfurt.
- LEYTHAEUSER, D., 1975, Erdölgenese in Abhängigkeit von der Art des  
organischen Materials im Muttergestein: Tagungskompodium DGMMK,  
41-51, Hamburg.
- LEYTHAEUSER, D., E. SCHIENER & P. FLEKKEN, 1979, Hydrocarbon  
generating potential of Grotaceous - Tertiary source lithologies, Hûgs-  
suag embayment, West Greenland, in Vorbereitung.
- LIJMBACH, G., 1975, On the origin of petroleum: Proc. 9th World Petrol.  
Congress, 1-12, Tokyo.
- MULLER, A., H. PARTING & J. THOREZ, 1973, Caractères sédimentolo-  
giques et minéralogiques des couches de passage du Trias au Lias sur  
la bordure nord-est du bassin de Paris: *Ann. Soc. Géol. de Belgique*,  
96, 671-707, Liège.
- LOUDIN, J., 1976, Étude géochimique du bassin de la Mer du Nord: *Bull.*  
*Centre Rech. Pau-SNPA-10*, 1, 339-358, Pau.
- PAPAIANOANNOU, J., 1977, Sedimentologische Untersuchungen an Bohr-  
kernen der Bohrung Villers-devant-Orval (Belgisch Luxemburg):  
Unveröffentlichte Diplomarbeit R.W.T.H. Aachen, 166 p., Aachen.
- PHILIPPI, G.T., 1965, On the depth, time and mechanism of petroleum  
generation: *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 29, 1021-1049, Oxford - New  
York - Paris - Frankfurt.
- RADKE, M., H. SITTARD & D. WELTE, 1978, Removal of soluble organic  
matter from rock samples with a flow-through extraction cell: *Analyti-  
cal Chemistry*, 50, Washington D.C.
- REDDING, C., 1978, D/H Isotopenverhältnisse an Lias Kerogenen aus  
Luxemburg, in: D/H Isotopenverhältnisse in organischen Substanzen,  
Erdölen und Erdgasen. Bericht II (ET 3003A), Hannover.
- SCHRAYER, G.J. & W.M. ZARRELLA, 1966, Organic Geochemistry of  
Shales. Vol. II: Distribution of extractable organic matter in the sili-  
ceous Mowry Shale of Wyoming: *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 30,  
415-434, Oxford - New York - Paris - Frankfurt.
- SCHRECK, H., 1976, Ein Schüttungsmodell des Luxemburger Sandsteins  
in der Mulde von Weilerbach (Luxemburg); Untersuchungen der  
Schwermineralführung, der Schrägschichtung, des Geröllspektrums  
und der durch die Faktorenanalyse aufgeschlüsselten Granulometrie  
des Sandsteins: Diss. R.W.T.H. Aachen, 168 p., Aachen.

- SCHRECK, H., F. PREUGSCHAT & D. NIEMITZ, 1975, Ein Fortran IV Programm zur Auswertung einer kombinierten Sieb- und Schlämmanalyse: Münster. Forsch. Geol. Paläontologie, 89-110, Münster.
- SEEMANN, W., 1977, Organisch-geochemische Studie an Gesteinsproben aus Erdölbohrungen im Britischen Anteil der nördlichen Nordsee: Unveröffentlichter KFA/EOG-Bericht, Nr. 500377, Jülich.
- SIGL, W. & B. WENZLOW, 1976, Organic geochemistry of mediterranean sapropels and paleoenvironmental implications: Congr. Ass. Pl. C.I.E. S.M., Split.
- TEICHMÜLLER, M., 1974, Entstehung und Veränderung bituminöser Substanzen in Kohlen in Beziehung zur Entstehung und Umwandlung des Erdöls: Fortschr. Geol. Rheinl. und Westf. 24, 65-112, Krefeld.
- TISSOT, B., Y. CALIFET-DEBYSER, G. DEROO & J.L. OUDIN, 1971, Origin and evolution of hydrocarbons in early Toarcien shales. Paris Basin, France: A.A.P.G.-Bull., 55, 2177-2193, Tulsa/Oklahoma.
- TISSOT, B., & D. WELTE, 1978, Petroleum formation and occurrence: Springer Verlag, New York - Heidelberg - Berlin.
- WEHRENS, K., 1978, Fazielle Aspekte zur Ausbildung des Räts im Gebiet Vrécourt (Lothringen): Unveröffentlichte Diplomarbeit. R.W.T.H Aachen, 137 p., Aachen.
- WELTE, D., 1975, Recent advances in organic geochemistry of humic substances and kerogen. A review: Adv. Org. Geoch., 3-13, Paris.
- WELTE, D. & D. WAPLES, Über die Bevorzugung geradzahlicher n-Alkane in Sedimentgesteinen: Naturwissenschaften, 60, 516-517, Springer Verlag, New York - Heidelberg - Berlin.
- WENZLOW, B., 1975, Kohlenwasserstoffe in Oberflächenwässern am Beispiel der fränkischen Saale und der Streu: Diss. R.W.T.H. Aachen, Aachen.
- WILLIAMSON, D., 1964, Oil Shales. Part III: The natures and origins of kerogens: Mineral Industries Bull. 7, 5, 1-15, Golden/Colorado.

