

Geol. Paläont. Westf.	25	151 S.	137 Abb. 19 Tab. 16 Taf.	Münster November 1993
--------------------------	-----------	--------	--------------------------------	--------------------------

Die Tonsteine der Keratophyrkomplexe 3 und 4 im Unterdevon (Ems) des Sauerlandes: Geochemische Milieuindikation, Fazies, Paläoökologie

Lothar Schöllmann*

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. STRAUCH für die Anregung zu dieser Arbeit und für die gewährten Freiheiten bei der Bearbeitung. Der DEUTSCHEN FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT wird für die Finanzierung des Projektes gedankt. Die Finanzierung der Grabung übernahm dankenswerterweise der LANDSCHAFTSVERBAND WESTFALEN-LIPPE; die Durchführung der Grabung unternahm FRAU DOHMEN-REICHEL.

Herrn Dr. LAHL (Institut für Pharmazeutische Chemie, Münster) danke ich für die Bereitstellung des Labors und Einweisung an der ICP-AES. Herrn Dipl. Geol. REICHEL ist für die Einweisung am Röntgen-Diffraktometer zu danken und Frau KNAPPE für ihre Hilfe an der FAAS.

Die Bestimmung der Vitrinitreflexion, des Gehaltes an organischem Kohlenstoff und die organo-geochemische Untersuchung einer Tonsteinprobe verdanke ich Herrn Dr. SCHÄFER (KFA Jülich). Herrn Prof. Dr. JESSEN (Köln) bin ich für die Überprüfung einiger Bestimmungen und für anregende Diskussionen dankbar.

Herr BARDENHEUER (Düren) stellte sehr gut erhaltenes Knochenmaterial zur Verfügung und gab wertvolle Informationen über neue Fundpunkte.

Herr Prof. Dr. PICHLER (Tübingen) untersuchte einen Aschentuff und Herr Prof. Dr. REMY (Münster) bestimmte einen Pflanzenrest und überprüfte eine Bestimmung.

Für die freundliche Aufnahme im Naturkundemuseum der Humboldt Universität Berlin danke ich Herrn Dr. HEINRICH. Frau REINICKE stellte die Abzüge für die Phototafeln her. Besonderer Dank gilt auch meiner Frau, die sich durch Zeichnen, Tippen und der Herstellung von Dünnschliffen an der Fertigstellung der vorliegenden Arbeit beteiligte.

Ferner bin ich allen Freunden, die durch Diskussionen viele Anregungen geliefert haben zu Dank verpflichtet; hier sind besonders Herr Dr. Norbert HAUSCHKE und Herr Dr. Arnold MÜLLER zu nennen.

Zusammenfassung

Im Unterdevon (Ems) des Sauerlandes (BL., 4713 Plettenberg und BL., 4811 Meinerzhagen) wurden die schwarzen Tonsteine der Keratophyre 3 und 4 einer geochemischen Milieuindikation unterzogen, wobei auch fazielle und paläoökologische Aspekte eine wichtige Rolle spielten.

*Anschrift des Verfassers: Dr. L. Schöllmann
Plöniesstraße 3
48153 Münster

Die vorliegende Arbeit ist die gekürzte Fassung der im Jahre 1989 eingereichten Dissertation. Eine Überarbeitung war dem Verfasser wegen der Teilnahme an einer DV-Weiterbildung nicht möglich.

Während der Arbeiten an dem Forschungsprojekt stellte sich heraus, daß einige Detailuntersuchungen – die phylogenetischen Aspekte und die ontogenetische Auswertung der histologischen Erkenntnisse – an dem zur Verfügung stehenden Material nicht durchführbar waren. Dafür wurde die Untersuchung auf den K₃-Komplex, der eine gleichartige Fauna führt und ein sehr ähnliches Milieu annehmen ließ, ausgedehnt. Ferner wurden die Pyroklastika in die Untersuchung mit einbezogen. Die Lithologie der fünf ausgewählten Aufschlüsse wird beschrieben, wobei der Interpretation des Ablagerungsmilieus der Sedimente und der Pyroklastika die entscheidende Bedeutung zukam. Bei den feinlaminierten Tonsteinen handelt es sich um Stillwasserablagerungen. Die Pyroklastika (Schmelztuffe und Aschentuffe mit akkretionären Lapilli) stellten sich als subaerisch abgelagert heraus. Das mit Hilfe der Röntgendiffraktometrie analysierte Mineralspektrum der Gesteine beschränkt sich auf Quarz, Illit und Chlorit. Überlegungen, die den ursprünglichen Mineralbestand betreffen, werden angestellt.

Die Tonsteine führen eine artenarme Fauna, in der *Tiaraspis subtilis* das dominierende Element stellt. Die Begleitfauna wird von *Gyracanthus convexus*, *Porolepiformes*, Eurypteriden und dem Isopoden *Strigoproavus gruenenschladensis* n.g. n.sp. gebildet. Die paläoökologische Auswertung setzte die Präparation, die Bestimmung und Vermessung der Knochenplatten an den zur Verfügung stehenden ca. 2000 Proben voraus. Hierbei stellte sich heraus, daß die Knochenplatten keineswegs undeformiert vorliegen, und sowohl bruchlose Deformationen wie auch Platten mit Brüchen vorliegen.

Für *T. subtilis* konnte ein Sexualdimorphismus nachgewiesen werden, der sich auch statistisch belegen läßt. Die statistische Auswertung erbrachte auch den Nachweis von Altersstadien bei *T. subtilis*.

Zur Verfügung gestelltes, gut erhaltenes Knochenmaterial erlaubte eine erstmalige histologische Untersuchung an *Tiaraspis subtilis*. Aufgrund der großen Zahl und der zahlreichen Knochenhaufwerke in den Tonsteinen und nach einem Vergleich mit allen Literaturdaten über *Tiaraspis subtilis* und der jeweiligen Begleitfauna wird der Arthrodire als lakustrisch lebendes Tier gedeutet. Die in dem Profil Grünenschlade episodisch auftretende Fauna läßt, da auch verschiedene Altersstadien vorliegen, katastrophale Ereignisse als Todesursachen vermuten.

Die Ursachenfindung erfolgte mit Hilfe der Geochemie. 82 Proben wurden mit dem HF-HNO₃-Verfahren aufgeschlossen und 23 chemische Elemente an der F-AAS und der ICP-AES gemessen. Die große Datenmenge erforderte die Auswertung mittels uni- und multivariater Statistik.

Die Faktorenanalyse der Datei Tonsteine lieferte vier auswertbare Faktoren, mit deren Hilfe der aquatisch erfolgte vulkanische Eintrag als Letalfaktor angesehen werden kann.

Die Absolutgehalte von V, Cr und Mo zeichnen die Sedimente als unter Gytjtbedingungen abgelagert aus. Damit ist belegt, daß die Fauna in der Wassersäule über dem Sediment existieren konnte.

Eine Synthese der Untersuchungen wird in Form eines neuen Sedimentationsmodells vorgestellt. Hierbei spielten besonders die palynologischen Erkenntnisse eine wichtige Rolle, da das Fehlen von Acritarchen die Sedimente als Süßwasserablagerungen auszeichnet.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	5
Zusammenfassung	5
1.0 Einleitung	10
1.1 Ziele der Untersuchung	10
1.2 Durchführung der Arbeiten	11
1.3 Lage der untersuchten Profile	12
1.4 Verbreitung der Tonsteine	12
2.0 Sedimentologische, petrograph. und mineralogische Befunde	13
2.1 Lokalität Grünenschlade, Vorth und Hasendenn	13
2.1.1 Die Pyroklastika	13

2.1.2 Deutung der Befunde	15
2.2 Lokalität Berken	16
2.3 Lokalität Siesel	16
2.3.1 Die Pyroklastika	16
2.3.2 Auswertung der Befunde	16
2.4 Bemerkungen zu den Tonmineralen	17
3.0 Paläontologische Befunde	18
3.1 Die Ichthyofauna	18
3.1.1 Allgemeines	18
3.2 Systematische Ichthyologie	18
3.2.1 Klasse Placodermata	18
3.2.1.1 Ordnung Arthrodira	18
3.2.1.2 Arthrodira incerti ordinis	24
3.2.2 Beitrag zur Histologie von <i>Tiaraspis subtilis</i>	27
3.2.3 Unterklasse Acanthodii	27
3.2.3.1 Dermaldentikel incertae sedis	28
3.2.4 Unterklasse Crossopterygii	29
3.3 Arthropoda	29
3.3.1 Ordnung Isopoda	29
3.3.2 Eurypterida	31
3.4 Die Flora	32
3.4.1 Die Makroflora	32
3.4.2 Die Mikroflora	32
3.5 Auswertung der paläontologischen Befunde	32
3.5.1 Ein Sexualdimorphismus bei <i>Tiaraspis subtilis</i>	32
3.5.1.1 Auswertung mit Hilfe der Statistik	33
3.5.2 Altersstadien bei <i>Tiaraspis subtilis</i>	34
3.6 Bemerkungen zur Ökologie der Fauna	36
4.0 Geochemie	38
4.1 Probenaufbereitung und Aufschlußverfahren	38
4.2 Analytik	40
4.3 Statistische Auswertung	41
4.3.1 Deskriptive Statistik	41
4.3.1.1 Die „sem and leaf plots“	41
4.3.1.2 Überlegungen zur Herkunft der Spurenelemente	41
4.3.1.3 Die Entwicklung der Elemente in den Profilen	43
4.3.2 Analytische Statistik	44
4.3.2.1 Korrelationsanalyse	44
4.3.2.1.1 Auswertung der Korrelationsanalyse	47
4.3.2.2 Die kanonische Diskriminanzanalyse	47
4.3.2.2.1 Auswertung der kanonischen Diskriminanzanalyse	47
4.3.2.3 Die Faktorenanalyse	50
4.3.2.3.1 Auswertung der Faktorenanalyse	51
4.3.2.4 Die Clusteranalyse	53
4.3.2.4.1 Auswertung der Clusteranalyse	54
4.4 Bemerkungen zur geochemischen Faziesdiagnose	55
5.0 Die Einflüsse der Faktoren auf die Fauna	56
6.0 Modell des Sedimentationsraumes	57
7.0 Literaturverzeichnis	58
Verzeichnis der Abbildungen	
Abb.1 Lage der untersuchten Aufschlüsse	11
Abb.2 Profilsäulen der Aufschlüsse	14

Abb.3	Mineralidentifizierung (Diffraktogramm)	17
Abb.4	Rekonstruktion von <i>Tiaraspis subtilis</i>	19
Abb.4a	Gegenüberstellung der MD-Typen	20
Abb.5	Gegenüberstellung der Schädeldächer	24
Abb.6	Abdomen des Paratyps 1	31
Abb.7	„Stem and leaf plots“ (Beispiel MD)	33
Abb.8	Diffraktogramme Grünenschlade I (Anhang)	99
Abb.9	Diffraktogramme Grünenschlade II (Anhang)	100
Abb.10	Diffraktogramme Vorth (Anhang)	101
Abb.11	Diffraktogramme Berken (Anhang)	102
Abb.12	Diffraktogramme Siesel (Anhang)	103
Abb.13	Statistische Parameter (Länge PDL re) (Anhang)	104
Abb.14	Statistische Parameter (BL-Index PDL re) (Anhang)	104
Abb.15	Statistische Parameter (Länge PDL li) (Anhang)	104
Abb.16	Statistische Parameter (BL-Index PDL li) (Anhang)	104
Abb.17	Statistische Parameter (Länge ADL re) (Anhang)	105
Abb.18	Statistische Parameter (BL-Index ADL re) (Anhang)	105
Abb.19	Statistische Parameter (Länge ADL li) (Anhang)	105
Abb.20	Statistische Parameter (BL-Index ADL li) (Anhang)	105
Abb.21	Statistische Parameter (Länge AL re) (Anhang)	106
Abb.22	Statistische Parameter (BL-Index AL re) (Anhang)	106
Abb.23	Statistische Parameter (Länge AL li) (Anhang)	106
Abb.24	Statistische Parameter (BL-Index AL li) (Anhang)	106
Abb.25	Statistische Parameter (Länge PL re) (Anhang)	107
Abb.26	Statistische Parameter (BL-Index PL re) (Anhang)	107
Abb.27	Statistische Parameter (Länge PL li) (Anhang)	107
Abb.28	Statistische Parameter (BL-Index PL li) (Anhang)	107
Abb.29	Statistische Parameter (Länge PVL re) (Anhang)	108
Abb.30	Statistische Parameter (BL-Index PVL re) (Anhang)	108
Abb.31	Statistische Parameter (Länge PVL li) (Anhang)	108
Abb.32	Statistische Parameter (BL-Index PVL li) (Anhang)	108
Abb.33	Statistische Parameter (Länge AVL re) (Anhang)	109
Abb.34	Statistische Parameter (BL-Index AVL re) (Anhang)	109
Abb.35	Statistische Parameter (Länge AVL li) (Anhang)	109
Abb.36	Statistische Parameter (BL-Index AVL li) (Anhang)	109
Abb.37	Statistische Parameter (Länge AMV) (Anhang)	110
Abb.38	Statistische Parameter (BL-Index AMV) (Anhang)	110
Abb.39	Statistische Parameter (Länge PMV) (Anhang)	110
Abb.40	Statistische Parameter (BL-Index PMV) (Anhang)	110
Abb.41	Statistische Parameter (Länge Ce re) (Anhang)	111
Abb.42	Statistische Parameter (BL-Index Ce re) (Anhang)	111
Abb.43	Statistische Parameter (Länge Ce li) (Anhang)	111
Abb.44	Statistische Parameter (BL-Index Ce li) (Anhang)	111
Abb.45	Statistische Parameter (Länge Nu) (Anhang)	111
Abb.46	Statistische Parameter (BL-Index Nu) (Anhang)	111
Abb.47	Statistische Parameter (Länge PNu re) (Anhang)	112
Abb.48	Statistische Parameter (BL-Index PNu re) (Anhang)	112
Abb.49	Statistische Parameter (Länge PNu li) (Anhang)	112
Abb.50	Statistische Parameter (BL-Index PNu li) (Anhang)	112
Abb.51	Statistische Parameter (Länge MD, M.) (Anhang)	112
Abb.52	Statistische Parameter (BL-Index MD, M.) (Anhang)	113
Abb.53	Statistische Parameter (Länge MD, W.) (Anhang)	113
Abb.54	Statistische Parameter (BL-Index MD, W.) (Anhang)	113
Abb.55	Statistische Parameter (Länge PDI re, M.) (Anhang)	114
Abb.56	Statistische Parameter (BL-Index PDL re, M.) (Anhang)	114
Abb.57	Statistische Parameter (Länge PDL re, W.) (Anhang)	114
Abb.58	Statistische Parameter (BL-Index PDL re, W.) (Anhang)	114
Abb.59	Verteilung der Knochenplatten Profil 1 (Anhang)	115
Abb.60	Verteilung der Knochenplatten Profil 2 (Anhang)	116
Abb.61	Verteilung der Knochenplatten Profil 3 (Anhang)	117
Abb.62	Verteilung der Knochenplatten Profil 3 (Anhang)	118

Abb.63 Verteilung der Knochenplatten Profil 3 (Anhang)	119
Abb.64 Verteilung der Knochenplatten (Sonstige) (Anhang)	120
Abb.65 Verteilung der Platten (Gesamtdarstellung) (Anhang)	121
Abb.66 Verteilung der Platten (Gesamtdarstellung) (Anhang)	122
Abb.67 Verteilung der Platten (Gesamtdarstellung) (Anhang)	123
Abb.68 Verteilung der Platten (Gesamtdarstellung) (Anhang)	124
Abb.69 Vitritreflexion der Tonsteine	39
Abb.70 Statistische Parameter Si, Tonsteine (Anhang)	125
Abb.71 Statistische Parameter Al, Tonsteine (Anhang)	125
Abb.72 Statistische Parameter Fe, Tonsteine (Anhang)	125
Abb.73 Statistische Parameter K, Tonsteine (Anhang)	125
Abb.74 Statistische Parameter Mg, Tonsteine (Anhang)	126
Abb.75 Statistische Parameter Na, Tonsteine (Anhang)	126
Abb.76 Statistische Parameter Ti, Tonsteine (Anhang)	126
Abb.77 Statistische Parameter Ca, Tonsteine (Anhang)	126
Abb.78 Statistische Parameter P, Tonsteine (Anhang)	127
Abb.79 Statistische Parameter Mn, Tonsteine (Anhang)	127
Abb.80 Statistische Parameter Ba, Tonsteine (Anhang)	127
Abb.81 Statistische Parameter Zn, Tonsteine (Anhang)	127
Abb.82 Statistische Parameter Co, Tonsteine (Anhang)	127
Abb.83 Statistische Parameter Ni, Tonsteine (Anhang)	128
Abb.84 Statistische Parameter Cr, Tonsteine (Anhang)	128
Abb.85 Statistische Parameter V, Tonsteine (Anhang)	128
Abb.86 Statistische Parameter Cu, Tonsteine (Anhang)	128
Abb.87 Statistische Parameter Th, Tonsteine (Anhang)	129
Abb.88 Statistische Parameter Zr, Tonsteine (Anhang)	129
Abb.89 Statistische Parameter Sr, Tonsteine (Anhang)	129
Abb.90 Statistische Parameter Rb, Tonsteine (Anhang)	129
Abb.91 Statistische Parameter Si, Sedimentgesteine (Anhang)	130
Abb.92 Statistische Parameter Al, Sedimentgesteine (Anhang)	130
Abb.93 Statistische Parameter Fe, Sedimentgesteine (Anhang)	130
Abb.94 Statistische Parameter K, Sedimentgesteine (Anhang)	130
Abb.95 Statistische Parameter Mg, Sedimentgesteine (Anhang)	131
Abb.96 Statistische Parameter Na, Sedimentgesteine (Anhang)	131
Abb.97 Statistische Parameter Ti, Sedimentgesteine (Anhang)	131
Abb.98 Statistische Parameter Ca, Sedimentgesteine (Anhang)	131
Abb.99 Statistische Parameter P, Sedimentgesteine (Anhang)	132
Abb.100 Statistische Parameter Mn, Sedimentgesteine (Anhang)	132
Abb.101 Statistische Parameter Ba, Sedimentgesteine (Anhang)	132
Abb.102 Statistische Parameter Zn, Sedimentgesteine (Anhang)	132
Abb.103 Statistische Parameter Co, Sedimentgesteine (Anhang)	133
Abb.104 Statistische Parameter Ni, Sedimentgesteine (Anhang)	133
Abb.105 Statistische Parameter Cr, Sedimentgesteine (Anhang)	133
Abb.106 Statistische Parameter V, Sedimentgesteine (Anhang)	133
Abb.107 Statistische Parameter Cu, Sedimentgesteine (Anhang)	134
Abb.108 Statistische Parameter Th, Sedimentgesteine (Anhang)	134
Abb.109 Statistische Parameter Zr, Sedimentgesteine (Anhang)	134
Abb.110 Statistische Parameter Sr, Sedimentgesteine (Anhang)	135
Abb.111 Statistische Parameter Rb, Sedimentgesteine (Anhang)	135
Abb.112 Geochemische Profile, Lokalität Grünenschlade	45
Abb.113 Geochemische Profile, Lokalität Siesel	46
Abb.114 Kanonische Diskriminanzanalyse, Sedimentgest.	48
Abb.115 Kan. Diskriminanzanalyse (Grünenschlade, Vorth)	48
Abb.116 Kan. Diskriminanzanalyse (Siesel)	49
Abb.117 Kan. Diskriminanzanalyse (Faktor 1 u. 3)	49
Abb.118 Faktorenräume, Faktor 1, 2, Tonsteine (Anhang)	136
Abb.119 Faktorenräume, Faktor 1, 3, Tonsteine (Anhang)	136
Abb.120 Faktorenräume, Faktor 1, 4, Tonsteine (Anhang)	137
Abb.121 Faktorenräume, Faktor 2, 3, Tonsteine (Anhang)	137
Abb.122 Faktorenräume, Faktor 2, 4, Tonsteine (Anhang)	138
Abb.123 Faktorenräume, Faktor 3, 4, Tonsteine (Anhang)	138

Abb.124 Faktorenräume, Faktor 1, 2, Sedimentgest. (Anhang)	139
Abb.125 Faktorenräume, Faktor 1, 3, Sedimentgest. (Anhang)	139
Abb.126 Faktorenräume, Faktor 1, 4, Sedimentgest. (Anhang)	140
Abb.127 Faktorenräume, Faktor 1, 5, Sedimentgest. (Anhang)	140
Abb.128 Faktorenräume, Faktor 2, 3, Sedimentgest. (Anhang)	141
Abb.129 Faktorenräume, Faktor 2, 4, Sedimentgest.(Anhang)	141
Abb.130 Faktorenräume, Faktor 2, 5, Sedimentgest.(Anhang)	142
Abb.131 Faktorenräume, Faktor 3, 4, Sedimentgest.(Anhang)	142
Abb.132 Faktorenräume, Faktor 3, 5, Sedimentgest.(Anhang)	143
Abb.133 Faktorenräume, Faktor 4, 5, Sedimentgest.(Anhang)	143
Abb.134 Clusteranalyse der Datei Tonsteine	53
Abb.135 Clusteranalyse der Datei Sedimentgesteine	54
Abb.136 Faktorenwertprofile (Grünenschlade)	144
Abb.137 Faktorenwertprofile (Siesel)	145

Verzeichnis der Tabellen

Tab. 1 Stratigraphische Übersicht	12
Tab. 2 Anzahl der Männchen und Weibchen	34
Tab. 3 Länge der größten und kleinsten Knochenplatten	35
Tab. 4 Länge der größten und kleinsten Platten (Berlin)	35
Tab. 5 Wellenlängen zur Analyse	40
Tab. 5a Geräteparameter	41
Tab. 6 Verzeichnis der Geochemischen Proben (Anhang)	146
Tab. 7 Geochemischer Datensatz, Hauptelemente (Anhang)	147
Tab. 8 Geochemischer Datensatz, Spurenelemente I (Anhang)	148
Tab. 9 Geochemischer Datensatz, Hauptelemente II (Anhang)	149
Tab. 10 Durchschnittselementgehalte	42
Tab. 11 Durchschnittselementgehalte (Grünenschlade)	42
Tab. 12 Durchschnittselementgehalte (Siesel)	43
Tab. 13 Rangfolge der Elemente (Grünenschlade)	43
Tab. 14 Rangfolge der Elemente (Siesel)	43
Tab. 15 Korrelationsmatrix der Tonsteine (Anhang)	150
Tab. 16 Korrelationsmatrix der Sedimentgesteine(Anhang)	151
Tab. 17 Faktoren der Datei Tonsteine	51
Tab. 18 Faktoren der Datei Sedimentgesteine	52
Tab. 19 Elementgehalte in Sapropel und Gytjtja	55

1.0 Einleitung

1.1 Ziele der Untersuchung

In den schwarzen Tonsteinen der unteren Wiebelsaatschichten (Unterdevon, Ems)(FUCHS 1923: 14–16) finden sich auf Blatt 4811 Meinerzhagen sehr zahlreich Arthrodiren, die eine aus Isopoden und Acanthodiern bestehende Begleitfauna besitzen. Die Bergung des Fossilmaterials in Grünenschlade wurde durch den Landschaftsverband Westfalen-Lippe finanziert. Im Rahmen eines DFG-Forschungsprojektes war eine Bestandsaufnahme der Fauna und eine Untersuchung der Sedimente und, soweit nötig, auch der Pyroklastika durchzuführen, um den Lebens- und Sedimentationsraum zu rekonstruieren und Aussagen über das Ablagerungsmilieu treffen zu können. Dabei waren auch ökologische Aspekte zu berücksichtigen.

Die Rekonstruktion des Sedimentationsraumes schließt auch die räumliche und zeitliche Verbreitung der schwarzen Tonsteine mit ein, die offensichtlich eine genetische Bindung an den Keratophyrvulkanismus zeigen, worauf entsprechende Vorkommen im K₃ und K₄-Komplex hinweisen. Deshalb wurde aus dem K₃-Komplex das Straßenprofil am Sieseler Bahntunnel, von dem bereits SCHMIDT & ZIEGLER (1965) und ZIEGLER (1970) berichteten, in die Untersuchung einbezogen. Der Tonstein führt auch hier eine artenarme Fauna.

1.2 Durchführung der Arbeiten

Die Bearbeitung der Fauna setzte die Freilegung der Reste (ca. 2000 Proben) voraus, um die Stücke bestimmen und vermessen zu können. Bei der sehr großen Individuenzahl bot sich eine statistische Auswertung an. Die Sedimente und Pyroklastika wurden zur Sichtung des Mineralbestandes und zur Ansprache der Gesteine in 112 Dünnschliffen und 21 Anschliffen untersucht. Die dabei nicht erfaßbaren Tonminerale wurden mit Hilfe von Pulvertabletten durch die Röntgendiffraktometrie ermittelt. Die Milieuindikation erfolgte auf geochemischen Wege, wobei 82 Proben verschiedener Lokalitäten und Gesteinstypen aufgeschlossen wurden, an denen jeweils insgesamt 23 Elemente gemessen wurden. Das hierbei entstehende umfangreiche Datenmaterial erforderte eine Auswertung mit uni- und multivariaten statistischen Methoden.

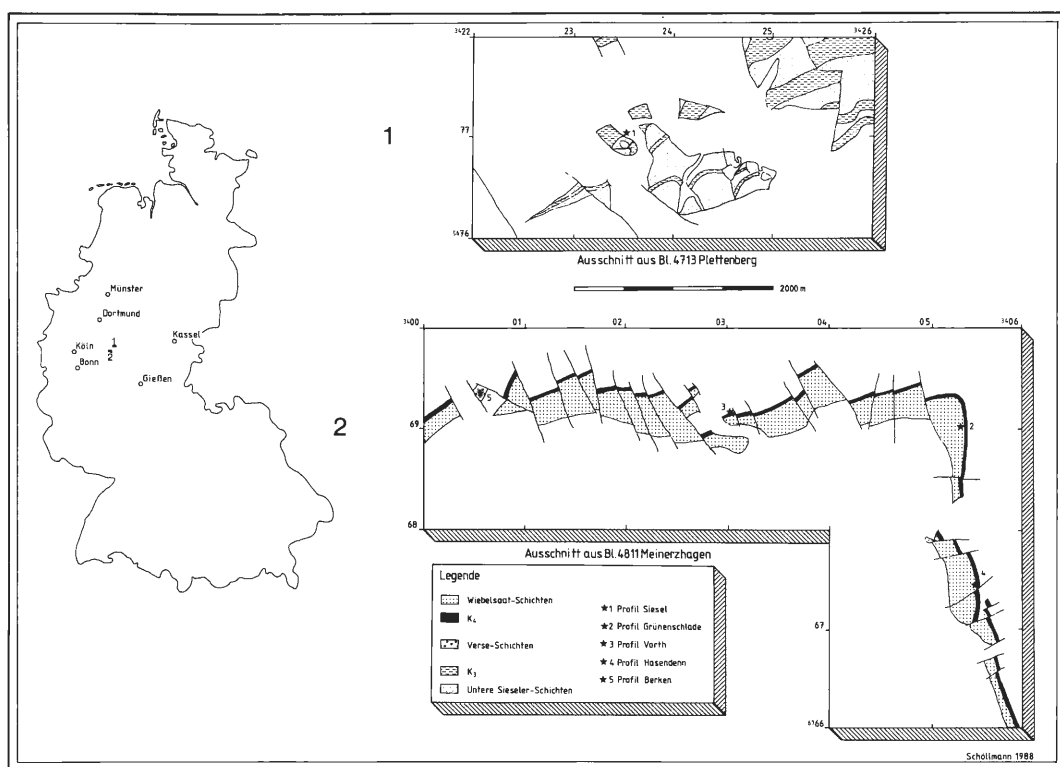


Abb. 1: Übersicht über die Lage der untersuchten Aufschlüsse. Der Ausstrich der Schichten wurde für Bl. 4713 Plettenberg der geologischen Karte von ZIEGLER (1970) und für Bl. 4811 Meinerzhagen der Karte von FUCHS (1923) entnommen. Die Sieseler Schichten im Sinne von ZIEGLER (1970) gehören zur Rimmert Gruppe BÖGERS (1983) (vgl. Tab.I).

Blatt 4811 Meinerzhagen

- 1) Aufschluß in einem Waldstück bei Grünenschlade Wiebelsaatschichten (Ems), schwarze Tonsteine und stark siltige Tonsteine über Aschentuffen (K₄-Komplex)
- 2) Aufschluß bei Vorth Wiebelsaatschichten (Oberems), Lithologie wie unter 1.
- 3) Aufschluß bei Hasendenn Wiebelsaatschichten (Oberems), Lithologie wie unter 1. und 2., jedoch im Liegenden der Aschentuffe mit Schmelztuff
- 4) Aufschluß bei Berken
Varste Schichten (oberes Siegen ?), braune Silt- und Sandsteine mit schwarzen, durchwurzelt, sandigen Tonsteinen

Blatt 4713 Plettenberg

- 1) Straßenprofil am Sieseler Bahntunnel, Rimmert-Gruppe (unterstes Oberems ?), Schmelztuffe, Aschentuffe, schwarze Tonsteine, Silt- und Sandsteine, Konglomerate.

1.3 Lage der untersuchten Profile

Die ausgewählten und bearbeiteten Profile befinden sich auf den Meßtischblättern 4811 Meinerzhagen und 4713 Plettenberg, eine Übersicht gibt Abb. 1. Einen Überblick über das Alter der Schichten gibt Tab. 1. Auf Blatt Meinerzhagen wurden vier Profile ausgewählt, wobei der Verwitterungsgrad der Aufschlüsse insbesondere aus Rücksicht auf die geochemischen Untersuchungen eine entscheidende, limitierende Rolle spielte.

STUFE	MTB WINGESHAUSEN	KIRCHHUNDEM LENNESTADT	OLPE	MTB VULKANITE GRUPPEN der ATTENDORN-ESPER MULDE	MTB PLETTENBERG	ATTENDORN	HERSCHEID	MEINERZHAGEN WIPPERFÜRTH	MTB VULKANITE GRUPPEN EBBE-SATTEL
?				STEMMEL-VULKANIT					STEMMEL-VULKANIT
OBER- EMSIUM	SOHL-FORMATION WINGESHAUSEN-FORM.	UNGEGLIEDERT		HUNDEM-GRUPPE	SPITZBERG-FORMATION	SPITZBERG-FORMATION	ROMBERG-FORMATION		HUNDEM-GRUPPE
	UNGEGLIEDERT	FLAPE-FORM. OBERE REMSCHEID-GR. VEISCHIDE-VULKANIT UNTERE REMSCHEID-GR.		REMSCHEID-GRUPPE	UNGEGLIEDERT	UNGEGLIEDERT	UNGEGLIEDERT		BILSTEIN-VULKANIT
				HAUPT-VULKANIT		WIEBELSAAT-FORMATION			REMSCHEID-GRUPPE
?	UNGEGLIEDERT	AABACH-FORMATION HEINBERG-FORMATION	UNGEGLIEDERT	RIMMERT-GRUPPE		SIESEL-FORMATION REHBERG-FORMATION			HAUPT-VULKANIT
?				FAHLENSCHIED-VULK.					FAHLENSCHIED-V.
SIEGENIUM	BIRKELBACH-FORM.	SILBERBACH-FORM. BREITENBRUCH-F.	UNGEGLIEDERT	VARSTE-GRUPPE	NORDHELLE-FORMATION PASEL-FORMATION	HAMERLOTT-FORM.	MARKESHAGEN-FORM.		BUNTE EBBE-GRUPPE
?	nicht erschlossen	?	?	?	EBBE-FORMATION		?		BREDENECK-GRUPPE
GEDINNIUM					FÜRWIGGE-FORMATION				
?					HARDT-FORMATION HIMMELMERT-FORM. IMMECKE-FORM.		nicht erschlossen		HÜNGHAUSEN-GRUPPE
SILURIUM									HÜNGHAUSEN-SCHICHT
ORDOVIZIUM									LÜCKE
									"HERSCHEID-SCHICHTEN"

Tab. 1: Stratigraphische Übersicht der lithologischen Einheiten im Sauerland und Bergischen Land (nach BÖGER 1983: Tab. 1).

1.4 Verbreitung der Tonsteine

Die Rimmert-Gruppe, zu der auch der FahleNScheid-Vulkanit (= K₃ ?) und die bearbeiteten Tonsteine gehören, werden von BÖGER (1983: 308-314) in die Rehberg- und Siesel-Formation unterteilt. Nach BÖGER ist der FahleNScheid Vulkanit nicht mit dem K₃ identisch. Da diese Arbeit die Ermittlung des Ablagerungsmilieus zum Ziel hat, besitzt dieses stratigraphische Problem in diesem Zusammenhang keine Bedeutung. Der Vulkanitkomplex wird deshalb hier als K₃ (?) bezeichnet. Die Gesteine der beiden Formationen sind durch überwiegend grobklastische Sedimente gekennzeichnet (nähere Hinweise liefert BÖGER 1983). Die Fazies dieser Schichten wechselt rasch, und starke Mächtigkeitsschwankungen treten auf. Innerhalb dieser Gesteinsserien nehmen die schwarzen Tonsteine des K₃ (?) eine Sonderstellung ein.

Über die Verbreitung der Tonsteine liegen, bedingt durch die schlechte Aufschlußsituation, keine Angaben vor. Einen ungefähren Überblick liefert die insgesamt geringe Verbreitung des K₃ (?), der eine streichende Erstreckung von sieben Kilometern besitzt (Ziegler 1970: 107). Der Tonstein kann also maximal die Ausdehnung dieses Keratophyrs besitzen.

Die Rimmert-Schichten enden an der Basis des Hauptkeratophyrs. Diesem lagern die Schichten der Remscheid-Gruppe und die Wiebelsaatschichten als Sonderfazies auf Blatt Meinerzhagen und Nachbarblättern auf (vgl. Tab. 1). Diese Schichten zeichnen sich durch blaugraue bis

gelblichgraue, meist sandige Schiefer, mit zwischengelagerten arkoseartig-konglomeratischen Sandsteinen und vereinzelt roten Tonsteinen, aus (vgl. FUCHS 1923: 15-16). Auch innerhalb dieser Schichten stellen die schwarzen, feinlaminierten Tonsteine eine Besonderheit dar.

Die Verbreitung der schwarzen Tonsteine der Wiebelsaat-Schichten ist auf Bl. Meinerzhagen beschränkt, wobei die größte Mächtigkeit (3,5 m) zwischen Vorth und Wiebelsaat erreicht wird. Dieser kurze Überblick verdeutlicht die auffallende regionale Begrenzung der Tonsteinvorkommen, die auf beiden Meßtischblättern an den Keratophyrvulkanismus gebunden sind.

2.0 Sedimentologische, petrographische und mineralogische Befunde

2.1 Lokalitäten Grünenschlade, Vorth und Hasendenn

In den Aufschlüssen Grünenschlade, Vorth und Hasendenn stehen über Aschentuffen des K₄ schwarze, schwach siltige Tonsteine der Wiebelsaatschichten an. Diese wiederum werden von stark siltigen Tonsteinen überlagert denen Sandsteine folgen, womit eine typische coarsening upward-Sequenz vorliegt.

Die dunklen, schwach siltigen Tonsteine mit einer Mächtigkeit von 3,5 m weisen eine feine Lamination auf, die durch den Wechsel von dunkelgrauen und schwarzen Lagen (Taf. 1, Fig 1) hervorgerufen wird. Dieser bisher als Schwarzschiefer bezeichnete Tonstein (z.B. DOHMEN 1983 und AVLAR 1985) besitzt einen Gehalt an organischem Kohlenstoff von 1,3 Gew. % (Analyse der KFA Jülich). Nach CURTIS (1980: 189) muß ein Schwarzschiefer u.a. (vgl. auch Kap. 4.6) mindestens 5 Gew. % organischen Kohlenstoff enthalten. Eine geochemische Analyse zweier solcher Lagen (siehe Tab. 11) zeigt einen leicht erhöhten Eisengehalt der schwarzen Schicht, woraus sich in Verbindung mit den Elementverteilungsbildern der Taf. 1, Fig 3 und 4 Pyrit für die Färbung verantwortlich zeigt. Mit rasterelektronenmikroskopischen (REM) Untersuchungen, die an Tonsteinbruchflächen durchgeführt wurden, konnten Framboide (Taf. 1, Fig. 5) nachgewiesen werden. Die Profilabschnitte, in denen Faunenelemente auftreten, führen Konkretionen, die sich um die Fossilien gebildet haben und die eine braune Verwitterungsfarbe besitzen. In unregelmäßiger Folge, in einigen Bereichen sehr dicht (wenige mm), schalten sich in die Lamination sehr dünne Lagen (0,5 mm) ein, die aus eckigen Feldspäten und untergeordnet gerundeten Quarzen bestehen. Diese Lagen, nach denen sich das Gestein spalten läßt, sind nicht durchlaufend vorhanden. Sie keilen, wie in Dünnschliffen zu erkennen ist, rasch aus. Auf der Schichtfläche liegen die Feldspäte fleckenartig verteilt vor. Im leicht angewitterten Zustand sind Anreicherungen der Feldspäte von gelben Säumen umgeben, die unregelmäßig in das Gestein ziehen. Die Gelbfärbung dieser Lagen ist verwitterungsbedingt.

In den oberen, gelblich verwitterten Partien des Aufschlusses konnten kleine rundliche Gebilde (Taf. 1, Fig. 2) auf den Schichtflächen aufgefunden werden.

Die Tonsteine werden im Hangenden von stark siltigen Tonsteinen abgelöst, die eine Mächtigkeit von 1 m, aber keinerlei Schichtung oder Sedimentstrukturen aufweisen. Die Grenzfläche der beiden Schichteinheiten ist glatt, ohne jeden Hinweis auf Erosion. Die basalen Bereiche dieses Profilabschnitts führen nur schwach kantengerundete Aufarbeitungsprodukte des unterlagernden Tonsteins, die zum Teil noch eine Lamination zeigen. Die über dem stark siltigen Tonstein folgenden braunen und schichtungslosen Sandsteine lassen sich nur als Lesesteine nachweisen.

Die Ausbildung und Abfolge der Sedimente von Vorth und Hasendenn entspricht der von Grünenschlade.

2.1.1 Die Pyroklastika

Mit der Behandlung der Pyroklastika wird nicht das Ziel verfolgt, möglichst viele petrographische Parameter zu bestimmen; es geht vielmehr darum, die Art der Ablagerung der Vulkanite näher zu erläutern. Aus diesem Grunde entfallen hier umfangreiche und detaillierte Schlibfbeschreibungen.

Die in Grünenschlade mit einer Mächtigkeit von 2,4 m anstehenden Aschentuffe, deren Basis nicht aufgeschlossen ist, führen zwei Schichten (vgl. Profilsäule, Abb. 2) mit akkretionären Lapilli

(Taf. 2, Fig. 1), die schon von NELKE & PÄTZOLD (1981) erwähnt werden. Die akkretionären Lapilli besitzen einen Kern aus ungeordneten Ascheteilchen, die von konzentrisch angelagerten feinen Aschen umgeben sind. Die serizitisierten Scherben der Tuffe sind nicht miteinander verschmolzen. Die Tuffe führen neben runden Quarzen und dunklen ausgewalzten Pyroklasten Partikel, die noch Blasen Hohlräume erkennen lassen (Taf. 2, Fig. 2, 3).

Die oberen 0,4 m dieser Aschen führen atypische akkretionäre Lapilli (Taf. 4, Fig. 1) (Bestimmung von Prof. PICHLER, Tübingen), denen die konzentrisch angelagerten Aschen fehlen.

In Vorth zeigt sich ein sehr ähnliches Bild, wobei die Mächtigkeit der akkretionäre Lapilli führenden Aschentuffe 2 m beträgt. Die Lage der atypischen akkretionären Lapilli ist hier 0.2 m mächtig.

In Hasendenn zeigen die Pyroklastika ein völlig anderes Bild als in den beiden erstgenannten Aufschlüssen. Die hier mit einer Mächtigkeit von ca. 7m anstehenden roten und hellgrauen Felsokeratophyre, deren Basis nicht aufgeschlossen ist, werden von einer 15 cm mächtigen Aschentufflage überlagert. Die Schicht enthält atypische akkretionäre Lapilli.

Die harten und splittrig brechenden Felsokeratophyre besitzen im basalen Bereich eine sphärolithische Ausbildung, welche sich auch makroskopisch erkennen läßt (Taf. 3, Fig. 1). Im Dünnschliff zeigt sich, daß die Grundmasse aus miteinander verschweißten und in Serizit umgewandelten Glasfragmenten besteht (Taf. 3, Fig. 2, 3). Die Sphärolithe deuten nach SCHERP & GRABERT (1983: 51), die diese Bildungen aus dem K₄ des Bergischen Landes beschreiben, auf ein gleichzeitiges Wachstum kleiner Kristallkeime hin, die von einem Zentrum nach allen Richtungen sprossen. Die Autoren geben einen Hitzestau in punktförmigen Bereichen als Erklärung an.

Im Hangenden des sphärolithischen Abschnitts im Profil ist eine Abnahme des Verschmelzungsgrades der ehemaligen Scherben erkennbar.

2.1.2 Deutung der Befunde

Die akkretionären Lapilli entstehen nach MOORE & PECK (1962: 189-190) bei phreatischen Eruptionen in Aschewolken mit hoher Feuchtigkeit. Durch den Aufstieg der Wolke in größere Höhen wird eine Abkühlung und eine Kondensation des Wassers erzielt, wodurch sich ein Aschekern mit ungeordneten Teilchen bildet. Um diese Kerne lagert sich beim Durchfallen durch die Wolke eine Schale an. Die Korngrößenabnahme der akkretionären Lapilli von innen nach außen erklärt sich durch einen Temperaturanstieg und damit durch eine Abnahme der relativen Luftfeuchtigkeit. Daraus wiederum resultieren feinere Ascheteilchen. Eine mögliche Erklärung für die atypischen akkretionären Lapilli wäre eine Verringerung des Wassergehaltes gegen Ende der Eruption, so daß keine Aschen mehr angelagert werden konnten.

Aus dem Vorkommen von akkretionären Lapilli wird mit NELKE & PÄTZOLD (1981: 702) eine Ablagerung auf dem Land angenommen, da diese Lapilli unter aquatischen Bedingungen sofort zerfallen. Einen weiteren Hinweis auf die subaerische Ablagerung der Aschen liefern die ehemals blasigen Pyroklasten mit den Blasen Hohlräumen. Nach FISHER & SCHMINCKE (1984: 275) entstehen diese Pyroklasten durch Abkühlen in der Luft.

NELKE & PÄTZOLD (1981: 702) postulierten aufgrund der raschen Mächtigkeitsabnahme der akkretionäre Lapilli führenden Lagen (vgl. Angaben im Text, Kap. 2.1.1. und Abb.2), und einer Größenabnahme der Lapilli ein Förderzentrum bei Vorth. Gestützt wird diese Annahme durch rezente Beobachtungen, nach denen akkretionäre Lapilli nur innerhalb weniger Kilometer vom Schlot entfernt vorkommen.

Die Felsokeratophyre des Aufschlusses Hasendenn werden von SCHERP & GRABERT (1983), die ähnliche Strukturen bearbeiteten, als Ignimbrite gedeutet. Neben den Sphärolithen und den miteinander verschweißten ehemaligen Glasscherben weist auch die Verringerung des Verschmelzungsgrades zum Hangenden auf einen Schmelztuff hin. Ausführlich über dieses Problem berichtet z. B. SMITH (1960). Nach SCHERP & GRABERT (1983: 56) werden derartige Schmelztuffe subaerisch abgelagert. MUTTI (1965) konnte Ignimbrite jedoch auch im marinen Bereich nachweisen. Da die Sedimente im Liegenden des K₄ nach BÖGER (1983: 295) als Deltasedimente anzusehen sind und auch die Begleittuffe mit akkretionären Lapilli auf eine subaerische Ablagerung hinweisen, kann die Ansicht von SCHERP & GRABERT für den K₄ auch hier als

gesichert gelten. Die schwarzen Tonsteine, die durch ihre feine Lamination einen Stillwasserbereich anzeigen, werden nach BÖGER (1983: 317) und AVLAR (1985: 55) als Bildung einer „transgressiven Phase“ im Sinne von KREBS (1969: 62-63) und damit als marin angesehen. Diese Annahme, die von den genannten Autoren nicht weiter begründet worden ist, wird in der vorliegenden Arbeit zu überprüfen sein.

Die fleckenartig auf den Schichtflächen verteilten Feldspäte werden als vulkanische Produkte interpretiert. Einen Hinweis für diese Interpretation lieferten ZIMMERLE & GAIDA (1980: 254), nach denen vulkanische Ablagerungen kaum gerundete Partikel enthalten. Weitere Hinweise, wie Glasfragmente, die unter Wasserbedeckung leicht aufgelöst werden können, fehlen. Da diese Lagen zum Teil sehr dicht und in großer Zahl aufeinanderfolgen, erscheint eine Zurückführung auf einen jeweiligen Aschenfall ziemlich unwahrscheinlich. Ferner müßte man durch die sehr geringe Mächtigkeit der Lagen weit entfernte Schloten postulieren, denn es lägen nur die distalen Bereiche der Tuffhorizonte vor. Als wahrscheinlicher anzusehen ist eine aquatische Anlieferung von Erosionsprodukten oder die Einwehung von bereits anstehenden Tuffen.

Größere Sedimente mit Anzeichen von Aufbereitung, kündigen das Ende der Stillwasserperiode an. Eine Interpretation dieser Sedimente, die nach BÖGER (1983) und AVLAR (1985) als marin angesehen werden (s.o.), erfolgt nach Präsentation der eigenen Daten.

2.2 Lokalität Berken

Die Gesteine dieses Aufschlusses dienen lediglich als geochemische Referenzproben für ein terrestrisch abgelagertes Sediment. Eine Beschreibung der braunen Silt- und Sandsteine, denen schwarz gefärbte, stark siltige, durchwuzelte Tonsteine (Taf. 4, Fig. 4) zwischengeschaltet sind, unterblieb aus diesem Grunde.

2.3 Lokalität Siesel

Dieses bereits von ZIEGLER (1970) bearbeitete Profil, das der Rimmert-Gruppe zuzurechnen ist (BÖGER 1983), beginnt mit schräggeschichteten Sandsteinen, die von schwarzen Tonsteinen abgelöst werden (vgl. Profilsäule der Abb.111). Über den Tonsteinen folgen in zweimaligem Wechsel Pyroklastika und dunkle Tonsteine.

Die dunklen Tonsteine besitzen eine feine Lamination, die durch den Wechsel von schwarzen und dunkelgrauen Lagen erzeugt wird. Selten schalten sich feine, bis 0,5 cm mächtige Siltlagen mit gut gerundeten Quarzkörnern ein. Feldspatanreicherungen, wie sie in Grünenschlade vorkommen, fehlen hier völlig.

Im Hangenden der Pyroklastika folgen in beiden Fällen Aufarbeitungshorizonte, bei denen es sich um Arkosen und Konglomerate handelt, die Keratophyrmaterial enthalten (Taf. 4, Fig. 4).

2.3.1 Die Pyroklastika

Die erste vulkanische Einschaltung beginnt mit einem sehr stark verschweißten Schmelztuff (Taf. 4, Fig. 2), der in Fließrichtung ausgewalzte Pyroklasten enthält. Die Gesteinsausbildung ähnelt in diesem Abschnitt stark dem bei FISHER & SCHMINCKE (1984: 212, Abb. 8.32) abgebildeten „strongly welded pantelleritic ignimbrite“. Zum Hangenden nimmt der Verschmelzungsgrad ab.

Die obere Pyroklastika-Lage besteht aus unverschweißten Aschen.

2.3.2 Auswertung der Befunde

Die Gesteine der Rimmert-Gruppe sind nach BÖGER (1983: 295) ebenfalls als Ablagerungen eines Deltasystems anzusehen. Die schwarzen Tonsteine wurden nach ZIEGLER (1970: 44), der dieses Profil bearbeitet hat, in Zeiten vulkanischer Ruhe gebildet.

Die Schmelztuffe bezeichnete ZIEGLER (1970: 43) als auffallend Ignimbrit-ähnlich. Die Verschmelzung der Scherben dürfte jedoch nach ZIEGLER (1970) durch diagenetische Veränderungen vorgetauscht sein. Da über den Tonsteinen eine Wasserbedeckung angenommen werden

muß (Trockenrisse fehlen), können echte Ignimbrite nicht vorliegen. ZIEGLER (1970: 44) vermutete eine Ablagerung der Pyroklastika im Flachwasser oder unter subaerischen Bedingungen. Gegen die vorgetäuschte Verschmelzung der Scherben spricht jedoch die Abfolge innerhalb des Ignimbrits von sehr stark verschweißten bis zu unverschweißten Lagen. Die Diskrepanz zwischen den eigenen Ergebnissen und der Vermutung ZIEGLERs läßt sich mit den Resultaten von MUTTI (1965) und FERNANDEZ (1969) aufklären, die Ignimbritdecken auch im marinen Bereich nachweisen konnten. Eine subaquatische Platznahme unter geringer Wasserbedeckung erscheint vor diesem Hintergrund durchaus möglich und vorstellbar.

Die zweite und dritte Schicht setzt sich aus unverschweißten Aschentuffen zusammen. Über jeder Pyroklastika-Lage befindet sich ein Aufarbeitungshorizont, bestehend aus Arkosen und Konglomeraten mit reichlich Keratophyrbruchstücken, die nach ZIEGLER (1970: 44) als Abtragprodukte eines durch den Vulkanismus geschaffenen Reliefs anzusehen sind.

2.4 Bemerkungen zu den Tonmineralen

Die 82 Proben, die geochemisch untersucht werden sollten, wurden ebenfalls einer röntgendiffraktometrischen Analyse zur Bestimmung des Mineralgehaltes unterzogen. Von besonderem Interesse war dabei das Tonmineralspektrum. Von der Bestimmung der Tonminerale an Texturpräparaten der Fraktion < 2µ mußte Abstand genommen werden, da sich die Tonfraktion weder mit H₂O₂ noch mit Ultraschallbehandlung gewinnen ließ. Selbst das von MATTHIAT (1962) beschriebene Verfahren zur Aufbereitung von verfestigten Tonsteinen, das sich des Tetradiphosphat-10-hydrat als Auflockerungsmittel bedient, versagte. Die Gesteinstrümmer werden bei diesem Verfahren 24 Stunden „eingeweicht“, bevor eine Ultraschallbehandlung durchgeführt wird. Daraufhin wurden die Gesteinstrümmer jeder Probe in einer Pulverisette behandelt und zu Pulvertabletten gepreßt.

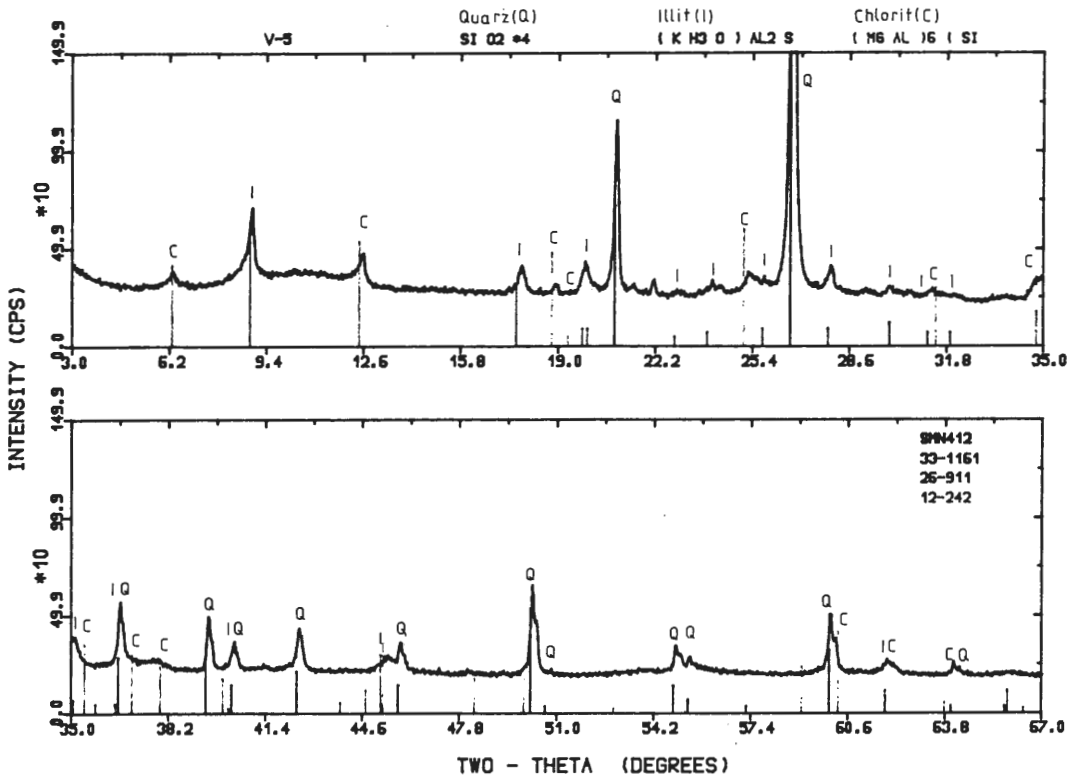


Abb. 3 : Wie aus den Diffraktogrammen (Anhang Abb.8-12) zu ersehen ist, liegt bei den gemessenen Proben ein gleicher Mineralbestand vor, so daß ein Diffraktogramm hier zur Identifizierung ausreicht.

Die Röntgendiffraktogramme aller Proben, welche im Anhang Abb. 8-12 aufgeführt sind, gleichen einander völlig. Sowohl in den Sedimenten, als auch in den Pyroklastika konnten röntgenographisch nur die Minerale Illit, Chlorit und Quarz nachgewiesen werden. Die Feldspäte, die in einigen Tuffen, Silt- und Sandsteinen auftreten, konnten mit Hilfe der Röntgendiffraktometrie nicht sicher als Albite identifiziert werden, da keine völlige Übereinstimmung der Peaks vorlag.

Dieses für viele altpaläozoische Gesteine zutreffende Ergebnis erklärt sich durch die ehemalige Versenkungstiefe der analysierten Gesteine. Untersuchungen an Material aus rezenten Seen in Vulkangebieten in ähnlichen Klimaten, wie sie im Unterdevon im Sauerland vorherrschten, zeigen eine Dominanz des Tonminerals Smektit. Das Mineral entsteht durch Entglasungsvorgänge in dem vulkanischen Material (LERMAN 1978: 208, 209). Nach TUCKER (1985: 92) wird Smektit diagenetisch in Illit umgewandelt und Kaolinit wird durch Chlorit und Illit ersetzt. Der vorliegende Tonmineralbestand könnte demnach aus diesen beiden Mineralien gebildet worden sein. Hierbei ist jedoch auch der große Stabilitätsbereich des Illits anzuführen (SASS et al 1987), der auch ein ursprüngliches Vorhandensein von Illit wahrscheinlich werden läßt. Als weiterer Hinweis für diese Annahme können die Analysen von WEAVER (1967) angeführt werden. WEAVER konnte an diagenetisch wenig veränderten altpaläozoischen Gesteinen ein Vorherrschen des Illits nachweisen. Als Ursache wird das Fehlen einer Vegetationsdecke angegeben, so daß den Verwitterungsprodukten kein Kalium entzogen und damit die Illitbildung gefördert wurde. Weitere Überlegungen, die auf dem ursprünglichen Tonmineralbestand beruhen und Aussagen über das Relief ermöglichen sollen (vergl. WUNDERLICH (1968: 47), erscheinen hier wenig sinnvoll, da sie nicht weiter belegt werden können.

3.0 Paläontologische Befunde

3.1 Die Ichthyofauna

3.1.1 Allgemeines

In dem schwarzen Tonsteinpaket bei Grünenschlade wurden – finanziert durch den Landschaftsverband Westfalen-Lippe – drei Profile systematisch auf Fischreste hin untersucht. Die drei Profile, in dem hier anstehenden, 3,5 m mächtigen Tonstein berücksichtigen 0,3 m (Profile 1 und 2) und 2,4 m (Profil 3) des anstehenden Tonsteins. Bei den entnommenen Gesteinen wurde die Lage in cm über dem Keratophyr angegeben. Ein Fundstück besitzt deshalb z. B. folgende Nr.: II 100 a/3. Die römische Ziffer gibt die Profilvernummer und die zweite Zahl die cm über dem Keratophyr an. Der Buchstabe, der die Schublade bezeichnet und die letzte Zahl, die die Nummer des Stückes innerhalb dieser Schublade wiedergibt, sind vom Verfasser hinzugefügt worden. Diese Bezeichnungen sollen ein rasches Wiederauffinden der einzelnen Proben, das bei der großen Probenzahl (2000 Stücke) auch erforderlich ist, gewährleisten. Das Material ist im Westfälischen Museum für Naturkunde in Münster hinterlegt.

Es bleibt hier zu erwähnen, daß sämtliche bestimmbareren Knochen – auch die, die sich nicht vermessen ließen (unvollständige Erhaltung) aufgelistet wurden.

3.2 Systematische Ichthyologie

3.2.1 Klasse: **Placodermata**

3.2.1.1 Ordnung: **Arthrodira**

Unterordnung: **Phlyctaenina**

Familie: **Groenlandaspidae** OBRUCHEV, 1964

Genus: **Tiaraspis** GROSS 1933a

Tiaraspis subtilis GROSS 1933a

Abb. 4

- v*1933a *Acanthaspis subtilis* GROSS, S. 61-62, Abb. 9, Fig. 2-13, Taf. 4 Fig. 3, 4, 8
- v 1933a incertae sedis (stachelartige Platte) -GROSS, S. 69, Fig. 14, Taf. 5, Fig 8.
- v 1933b *Acanthaspis subtilis* GROSS, – GROSS, S. 24
- v 1933 *Acanthaspis subtilis* GROSS, – SCHRIEL, S. 1

- v 1937 *Prosphythaspis* n. gen. *subtilis* (GROSS) -GROSS, S. 24, Fig. 12 D-F.
- v 1937 incertae sedis -GROSS, S. 43, Abb. 14 A-C, Taf. 3, Fig. 1.
- v 1962 *Tiaraspis* n. gen. *subblis* (GROSS 1933) -GROSS, 5. 46-56, Abb. 1-7.
- 1965 *Tiaraspis subtilis* (GROSS) – GROSS, S. 15, 16.
- 1965 *Tiaraspis subtilis* (GROSS) – SCHMIDT & ZIEGLER, S. 266, Abb. 1.
- 1969 *Tiaraspis subtilis* (GROSS) – MILES, S. 147.
- 1975 *Tiaraspis subtilis* (GROSS) -RITCHIE, S. 570, Fig. 1.
- 1978 *Tiaraspis subtilis* (GROSS) -DENISON, S. 65, Fig. 44 D.
- v 1984 *Tiaraspis subtilis* (GROSS) -SCHULTZE, S. 355-364, Fig. 1-5.

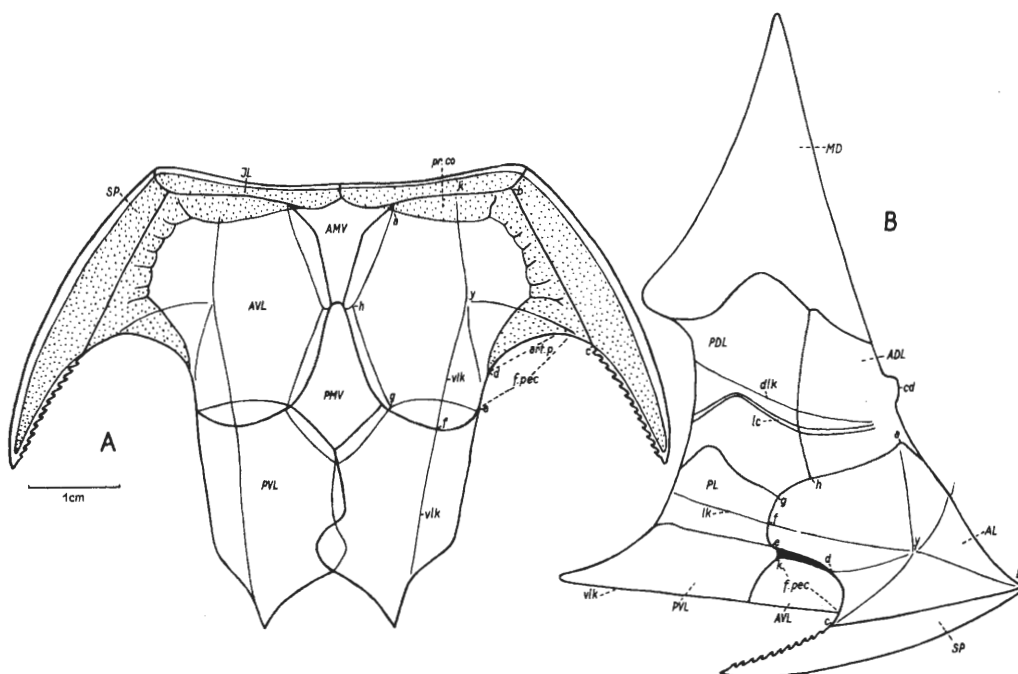


Abb. 4 : Rekonstruktion des Exoskeletts von *Tiaraspis subtilis* (nach GROSS 1962: Abb. 6). A) Ventralpanzer B) Lateralpanzer

Mediodorsale (MD)

Taf. 5 Fig. 1, 2, 3

Material : Profil I: 34, Profil II: 35, Profil III: 71, Sonstige: 28, Dipl. Arb. DOHMEN: 28, Gesamtzahl: 196.

Beschreibung : Das hohe, keilförmige – für die Dolichothoraci völlig ungewöhnliche – MD besitzt eine Skulptur, die aus kleinen Tuberkeln besteht. Lateral stehen diese, in Reihen angeordneten, Tuberkel dichter als medial. Randlich sind sie zu kleinen Leisten verschmolzen. Der caudalen lateralen Kante, die leicht konkav verläuft, sitzen kleine, dornartige Knoten auf. Die Spitze kann ebenfalls diese Dörnchen tragen. Das proximale Ende zeigt eine mehr oder weniger starke Einschnürung, die, den inneren Hohlraum mitgerechnet, bis 3/4, meist aber nur 1/3 der Höhe erreichen kann. Dieser Hohlraum ist bei Abdrücken und bei guter Erhaltung des Knochen-

materials erkennbar, da dieser Raum durch Sedimentaflast zusammengedrückt wurde. Die MDs zeigen z. T. an ihrem proximalen Rand cephal eine stärkere Verlängerung als caudal. Die Überlappungsflächen zum PDL lassen sich in der Regel sehr gut erkennen, da diese Bereiche extrem dünn sind.

Bemerkungen: Bei der Bearbeitung des Materials fiel auf, daß zwei MD-Typen existieren; ein schlanker, hoher und ein breiter, kurzer Typ (s. Abb. 4, Taf. 5, Fig. 1, 2, 3). Beide Typen konnten an zwei Fundstellen auf Bl. Meinerzhagen (Grünenschlade und Vorth) und an dem GROSSchen Originalmaterial in Berlin nachgewiesen werden. Das deutet auf einen Sexualdimorphismus hin. Nähere Angaben dazu liefert Kap. 3.5.1.

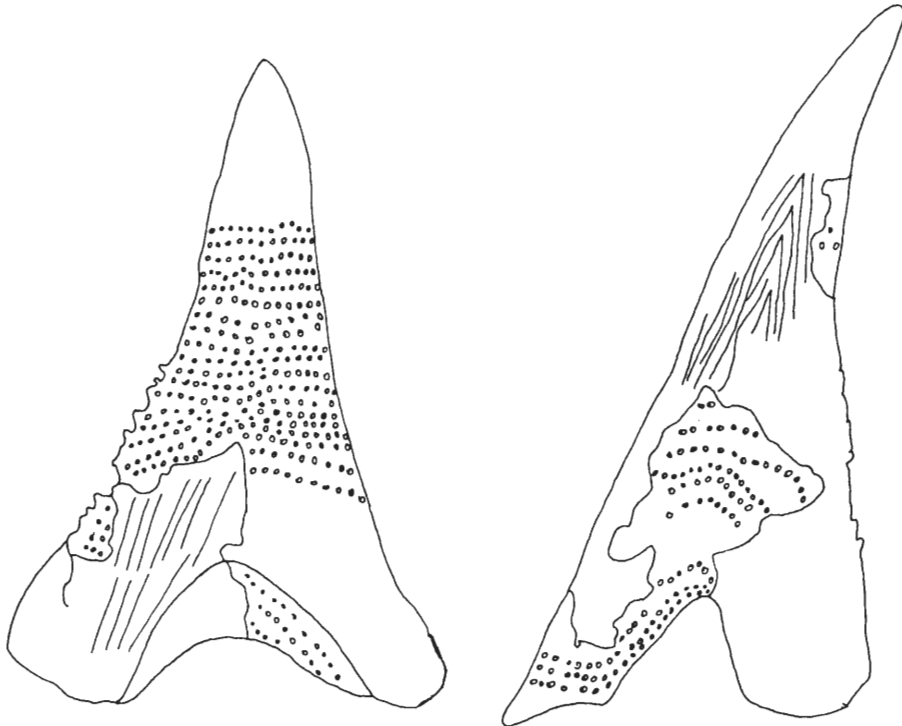


Abb. 4a : Gegenüberstellung der beiden MD-Typen.

Posteriordorsolaterale (PDL)

Taf. 5 Fig. 4, 6

Material: PDL li: Profil I: 17, Profil II: 30, Profil III: 55, Sonstige: 27, Dipl. Arb. DOHMEN: 16, Gesamtzahl: 145.

PDL re: Profil I: 26, Profil II: 35; Profil III: 54, Sonstige: 28, Dipl. Arb. DOHMEN: 10, Gesamtzahl: 153.

Beschreibung: Die PDL-Platte ist auffallend hoch und schmal, ihr Querschnitt fast S-förmig. Der caudale obere Bereich bildet einen deutlichen Fortsatz. Die Oberfläche der Platte ist mit feinen Tuberkeln versehen, die in Reihen parallel zum Umriß verlaufen. Das PDL besitzt einen Seitenlinienkanal, der schräg auf die Dorsolateralkante (die Umbiegungslinie einer Platte) zuläuft und dort bogenförmig abknickt. Am Wendepunkt ist die Seitenlinie auffallend schmal, sie verbreitert sich nach beiden Seiten.

Die Überlappungsbereiche zum MD, AL und PL lassen sich an vielen Platten gut erkennen.

Bemerkungen: Es existieren zwei Typen, ein hoher schmaler und ein hoher breiter Typ.

Anteriordorsolaterale (ADL)

Taf. 5, Fig. 5, 7, 8

Material: ADL li: Profil I: 15, Profil II: 14, Profil III: 31, Sonstige: 21, Dipl. Arb. DOHMEN: 13, Gesamtzahl: 94.

ADL re: Profil I: 13, Profil II: 16, Profil III: 53, Sonstige: 12, Dipl. Arb. DOHMEN: 15, Gesamtzahl: 109.

Beschreibung: Die ADL-Platte ist wie die PDL-Platte auffallend hoch und schmal. Oberhalb der Dorsolateralkante ist die Platte leicht eingemuldet. Die Dorsolateralkante und die Seitenlinie teilen die Platte bei ca. 1/3 der Höhe. Die Kante der Cephaloseite, die +/- deutlich von dem skulptierten Bereich abgesetzt ist, trägt den nur schwach gewölbten Gelenkkondylus.

Der Hinterrand der Platte liegt dem PDL auf. Die Überlappungsfläche zum AL ist breit und besitzt einen verlängerten vorderen Sporn. Der Oberrand des ADL besitzt einen schmalen Überlappungsbereich an dem die vordere Hälfte des MDs anliegt.

Posteriorlaterale (PL)

Taf. 6, Fig. 1

Material: PL li: Profil I: 3, Profil II: 12, Profil III: 22, Sonstige: 18, Dipl. Arb. DOHMEN: 7, Gesamtanzahl: 62.

PL re: Profil I: 2, Profil II: 18, Profil III: 23, Sonstige: 10, Dipl. Arb. DOHMEN: 4, Gesamtanzahl: 57.

Beschreibung: Die PL-Platte, bei der Länge und Höhe +/- gleich sind, besitzt einen asymmetrischen etwa glockenförmigen Umriß. Im caudalen Bereich besitzt das PL eine leichte Einsenkung, die parallel zur Höhe verläuft. Der Querschnitt der Platte ist bogenförmig, an dem Wendepunkt verläuft die Lateralkante. Der dorsale Abschnitt überlagert das ADL, wobei der Hinterrand – infolge der Glockenform – stärker überlappt wird. Die Skulptur besteht aus feinen, in Reihen parallel zu den Rändern verlaufenden Tuberkeln.

Anteriorlaterale (AL)

Taf. 6, Fig. 2, 3

Material: AL li: Profil I: 28, Profil II: 23, Profil III: 54, Sonstige: 13, Dipl. Arb. DOHMEN: 13, Gesamtanzahl: 131.

AL re: Profil I: 22, Profil II: 27, Profil III: 43, Sonstige: 17, Dipl. Arb. DOHMEN: 10, Gesamtanzahl: 119.

Beschreibung: Die im Umriß etwa quadratische Platte wird durch zwei diagonal verlaufende Linien – die sich im Ossifikationszentrum schneiden – in vier Flächen geteilt. Ein Scapulo-coracoid läßt sich nicht erkennen. Die Skulptur ist im äußeren caudalen Bereich feiner als auf der restlichen Platte. Der Überlappungsbereich zum ADL, PDL und PL ist sehr breit gestaltet. Die Ansatzfläche für das Spinale bleibt schmal und glatt (keine Naht).

Anteriorventrolaterale (AVL)

Taf. 6 Fig. 4, 5, 6

Material: AVL li: Profil I: 34, Profil II: 36, Profil III: 48, Sonstige: 33, Dipl. Arb. DOHMEN: 13, Gesamtanzahl: 164.

AVL re: Profil I: 29, Profil II: 29, Profil III: 71, Sonstige: 31, Dipl. Arb. DOHMEN: 19, Gesamtanzahl: 179.

Beschreibung: Die eigentliche Ventralfläche liegt medial der Ventrolateralkante. Lateral dieser Kante ist das AVL tief eingesenkt. An einem kleinen Abschnitt der medialen Seite dieser Einsenkung besitzt die Platte keine Naht. Nach GROSS (1962: 51) soll an dieser Stelle ein schmaler Spalt zwischen dem AL und dem AVL bestanden haben. Erst die Ansatzfläche zum Spinale bildet mit der eigentlichen Ventralfläche wieder etwa eine Ebene. Die Skulptur besteht auch bei den Knochenplatten der Ventralseite aus feinen, in Reihen angeordneten Tuberkeln. Die Nahtflächen zu den Nachbarplatten (AMV, PMV) liegen an der medianen Seite, die Fläche zum PVL am caudalen Rand. Der Ansatz des IL und des Spinale erfolgte ohne Naht.

Posteriorventrolaterale (PVL)

Taf. 7, Fig. 6

Material: PVL li: Profil I: 14, Profil II: 31, Profil III: 18, Sonstige: 25, Dipl. Arb. DOHMEN: 16, Gesamtanzahl: 104.

PVL re: Profil I: 8, Profil II: 27, Profil III: 16, Sonstige: 26, Dipl. Arb. DOHMEN: 8, Gesamtanzahl: 85.

Beschreibung: Die schmale Lateralwand und die breitere Ventralwand bilden einen Winkel von mehr als 90°. Die Lateralwand wird auf etwa der halben Länge nach caudal rasch sehr schmal. Die hintere Kante endet relativ spitz. An der medialen Kante überlagert vorn die rechte Platte die linke, hinten jedoch ist die Überlagerung umgekehrt. Der Überlappungsbereich zum AVL ist relativ tief eingeschnitten. Die Lateralseite kann eine Furche besitzen, an der sich nach GROSS (1962: 52) Brustflossenhaut angelagert haben könnte.

Spinale (SP)

Taf. 11, Fig. 3

Material: Profil I: 27, Profil II: 52, Profil III: 84, Sonstige: 23, Dipl. Arb. DOHMEN: 20, Gesamtanzahl: 206.

Beschreibung: Das Spinale, bei dem es sich um eine stachelartige, bogenförmige Platte handelt, ist immer länger als die Ansatzfläche des AVL. Die Platte ist allseitig – bis auf die Medialwand – mit kleinen Tuberkeln besetzt. An der Innenkante sitzen kleine Stacheln, die zum Proximalende gerichtet sind.

Interiorlaterale (IL)

Taf. 11, Fig. 1

Material: Profil I: 5, Profil II: 2, Profil III: 12, Sonstige: 1, Dipl. Arb. DOHMEN: 9, Gesamtanzahl: 29.

Beschreibung: Das IL besitzt – von der Ventralseite aus gesehen etwa die Form eines Spazierstockes. Lateral grenzt das IL an das Spinale. Das Medialende ist länger als die Kante des AVL und berührt deshalb das IL der jeweils anderen Seite.

Anteriomedioventrale (AMV)

Taf. 7, Fig. 1, 2, 3

Material: Profil I: 4, Profil II: 3, Profil III: 6, Sonstige: 8, Dipl. Arb. Dohmen: 3, Gesamtanzahl: 24.

Beschreibung: Die in ihrem Umriß etwa trapezförmige Platte besitzt allseitig Nähte. Die beiden langen Lateralkanten liegen unter den medialen Kanten der beiden AVL-Platten. Die cephal und die caudale Kante sind sehr schmal und werden vom PMV bzw. von den IL's überlagert. Die Skulptur besteht aus kleinen in Reihen angeordneten Tuberkeln. Die Platten zeigen medial, aber zum cephalen Rand versetzt, eine Aufwölbung, die eine parallel zur Längsachse der gesamten Platte verlaufende Grube aufweist.

Posteriormedioventrale (PMV)

Taf. 7, Fig. 4, 5

Material: Profil I: 10, Profil II: 18, Profil III: 28, Sonstige: 18, Dipl. Arb. DOHMEN: 14, Gesamtanzahl: 88.

Beschreibung: Die für *Tiaraspis subtilis* typische Skulptur ist auch dieser Platte eigen. Die Platte verbreitert sich von cephal nach caudal stetig. Bei etwa 3/4 der Länge, wo sie ihre größte Breite besitzt, verschmälert sie sich wieder bogenförmig oder auch mit spitz zulaufenden Kanten. Bis auf einen schmalen cephalen Bereich besitzt die Platte allseitig Nähte, die vorn von den AVL- und hinten von den PVL-Platten überlagert werden. Cephal überlappt das AMV einen sehr schmalen Bereich.

Elemente des Schädeldaches

Paranuchale (PNu)

Taf. 7, Fig. 7

Material: PNu li: Profil I: 1, Profil II: 7, Profil III: 4, Sonstige: 2, Dipl. Arb. DOHMEN: 2, Gesamtanzahl: 16.

PNu re: Profil I: 1, Profil II: 5, Profil III: 13, Sonstige: 1, Dipl. Arb. DOHMEN: 4, Gesamtanzahl: 24.

Beschreibung: Die Platte besitzt einen etwa trapezförmigen Umriß. Die mediale Ecke der cephalen Platte springt leicht vor, die laterale Ecke ist eingeschnitten. Die Seitenlinie verläuft etwa diagonal von der caudalen lateralen Ecke zur cephalen medialen Ecke. Bei ca. 1/3 der Länge der Diagonale gabelt sich die Seitenlinie, wobei der eine Ast umbiegt und zur caudalen medialen Ecke läuft und der andere zur Mitte der medialen Kante.

Nuchale (Nu)

Taf. 8, Fig. 1

Material: Profil I: 2, Profil II: 6, Profil III: 10, Sonstige: 2, Dipl. Arb. DOHMEN: 1, Gesamtanzahl: 21.

Beschreibung: Der cephale Bereich ist mützenförmig gestaltet. Nach caudal wird die Platte immer schmaler, bis sie sich bei ca. 4/5 der Länge wieder verbreitert. Ab ca. 3/5 der Länge wölbt sich die Platte parallel zur Längsachse auf. Dieser „Kamm“ stößt caudal an das MD.

Centrale (Ce)

Taf. 7, Fig. 8

Material: Ce li: Profil I: 3, Profil II: 4, Profil III: 6, Dipl. Arb. DOHMEN: 1, Gesamtanzahl: 14.
Ce re: Profil I: 3, Profil II: 9, Profil III: 11, Sonstige: 1, Dipl. Arb. DOHMEN: 3, Gesamtanzahl: 27.

Beschreibung: Der Umriß der Platte verläuft recht unregelmäßig in mehreren Bögen. Lediglich die mediale Kontaktfläche zum anderen Ce ist relativ gerade.

Marginale (Mg)

Taf. 8, Fig. 2

Material: Profil III: 5, Sonstige: 2, Gesamtanzahl: 7.

Beschreibung: Die Platte mit ihrem unregelmäßig fünfeckigen Umriß besitzt eine gabelförmige Seitenlinie. Die Teilung in zwei Äste, die nach caudal divergieren, erfolgt im Mittelpunkt der Platte.

Postorbitale (PtO)

Taf. 8, Fig. 3

Material: 1 Exemplar

Beschreibung: Die Platte besitzt einen etwa unregelmäßig fünfeckigen Umriß. Der vordere Rand zeigt eine deutliche Einbuchtung, in die sich ein Element des Sklerotikalringes anlegte. Auf der Platte verläuft ein sich gabelnder Seitenlinienkanal.

***Tiaraspis* sp.**

Taf. 8, Fig. 4

Material: 1 Exemplar

Beschreibung: Das Schädeldach, dem die Sklerotikalringe und das rechte Paranuchale fehlen (letzteres ist beim Spalten zerbrochen), ist schmal und langgestreckt und läßt leider die Plattengrenzen nicht erkennen. Die über die Präorbitalia verlaufenden Seitenlinienkanäle liegen in gut ausgeprägten Rinnen, bevor sie auf den Centrales auslaufen. Dabei erreichen sie fast das Nuchale. Ansonsten scheint der Verlauf des Seitenlinienkanalsystems – soweit an dem schlecht erhaltenen Exemplar erkennbar – mit dem von *Tiaraspis subtilis* (vgl. Abb. 5) identisch zu sein. Die Postmarginalia, die in Abb. 5 deutlich auffallen, scheinen an dem Schädeldach nicht so

kräftig vorzustehen, wie bei *Tiaraspis subtilis*. Der vordere Rand des Rostrale verläuft gerade. Die Skulptur der Knochenplatten des Schädeldaches besteht, wie auch bei *Tiaraspis subtilis*, aus feinen Tuberkeln, die jedoch nicht streng in Reihen angeordnet sind.

Bemerkungen: Das beschriebene Schädeldach weist schon in seinem etwa rechteckigen Umriß einen deutlichen Unterschied zu dem fast quadratischen von *T. subtilis* auf (vergl. Abb. 5). Die supraorbitalen Seitenlinienkanäle befinden sich bei *T. sp.* im Gegensatz zu *T. subtilis* eingesenkt in Rinnen. Auch reichen die Kanäle auf den Centrales viel weiter nach caudal als bei *T. subtilis*. Der vordere Rand des Rostrale verläuft bei *T. subtilis* bogenförmig, während bei *T. sp.* ein gerader Verlauf zu verzeichnen ist.

Inwieweit diese Unterschiede, die das neugefundene Schädeldach gegenüber der von SCHULTZE (1984: 357) vorgestellten Artdiagnose aufweist, die Aufstellung einer neuen Art rechtfertigen, sollte von Bearbeitern mit besser erhaltenem Material untersucht werden.

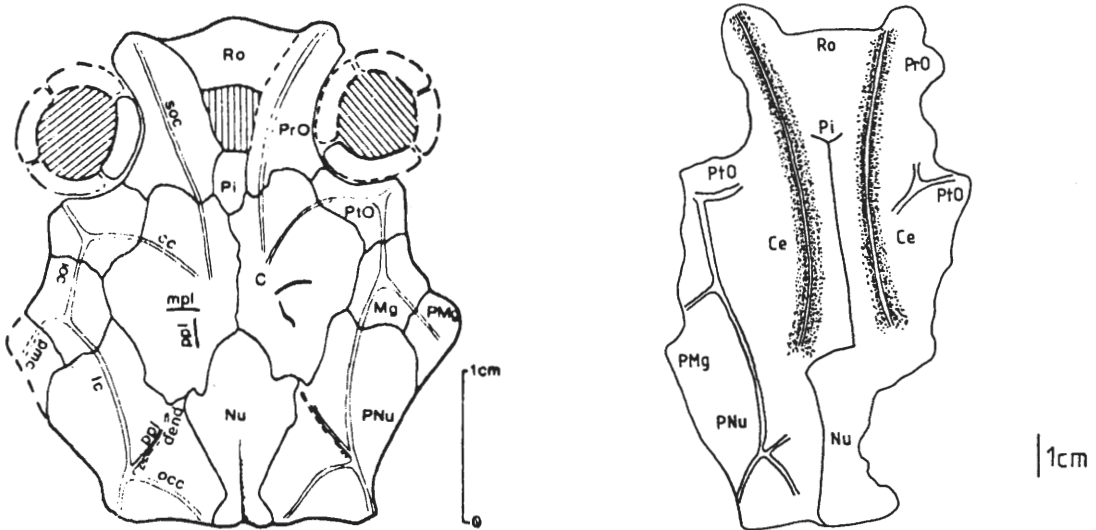


Abb. 5. Vergleich der Schädeldächer von *Tiaraspis subtilis* (links) (Rekonstruktion nach SCHULTZE 1984: 359) und *Tiaraspis sp.* (rechts). Die Abb. verdeutlicht den unterschiedlichen Umriß der beiden Schädeldächer.

3.2.1.2 *Arthrodira incerti ordinis*

Die im folgenden beschriebenen Platten werden aufgrund ihrer Morphologie zu den Arthrodiren gestellt.

Platte Typ A Taf. 8, Fig. 5

Material: 1 Exemplar

Beschreibung: Der Umriß dieser Platte ist etwa gerundet dreieckig, zwei Lateralkanten besitzen je eine Einschnürung. Die Platte liegt mit ihrer Ventralseite oben. Da die Basislamellenschicht z. T. zerstört ist, sind die drei Knochenschichten zu erkennen. Die Oberfläche scheint mit Tuberkeln besetzt zu sein.

Platte Typ B: Taf. 8, Fig. 6

Material: 6 Exemplare

Beschreibung: Der Plattenumriß ist gerundet dreieckig, eine Seite ist leicht konkav. Von einer Ecke geht eine Einsenkung (Seitenlinie?) aus, die bis etwa zur Plattenmitte verläuft. Die Skulptur besteht aus kleinen, in Reihen angeordneten Tuberkeln. Die Abdrücke der Ventralseiten zeigen häufig durchgedrückte Streifen der Spongiosa. Die Nähte zeigen, daß die paarig vorkommende Platte von keiner Nachbarplatte überlagert wird.

Bemerkungen: Die Größe und der gesamte Habitus lassen eine Zuordnung zu *Tiaraspis subtilis* vermuten.

Platte Typ C:

Taf. 9, Fig. 1

Material: 1 Exemplar

Beschreibung: Die Platte, die von der Ventralseite (Innenseite) vorliegt, zeigt einen etwa herzförmigen Umriß. Im Bereich der beiden Lappen sind die lateralen Kanten nach außen leicht umgebogen; das Zentrum der Platte bildet eine große flache Einsenkung. Zwischen den beiden Lappen befindet sich auf der Dorsalseite (Außenseite) eine dünne Schicht, die den Zwischenraum z. T. überbrückt. Von der Ventralseite zeigt sich dieser Bereich als eine tiefe Grube. Die Oberfläche besteht aus kleinen, in Reihen verlaufenden Tuberkeln. Wie die Nähte zeigen, wird die Platte von keinem Nachbarknochen überlagert.

Bemerkungen: Die Art der Tuberkulierung und die Form lassen eine Zugehörigkeit zu *Tiaraspis subtilis* vermuten. Die Platte könnte direkt caudal des MDs gesessen haben, wofür ihr Einschnitt spricht.

Platte Typ D:

Taf. 9, Fig. 2, 3

Material: Profil I: 4, Profil II: 5, Profil III: 2, Gesamtanzahl: 11

Beschreibung: Die paarig auftretende Platte endet an ihrer schmalen Seite rund. Von dort ausgehend verjüngt sie sich, die engste Stelle ist bei ca. 1/3 der Länge erreicht und verbreitert sich bis zum anderen Ende. Median wird der Knochen von einer Rinne (vermutlich die Seitenlinie) durchzogen. Eine Hälfte des breiteren Randes ist länger als die andere. Die kleinere Hälfte besitzt an der engsten Stelle (s.o.) eine etwa dreieckige Einsenkung. Auf der gegenüberliegenden Seite befindet sich ein kleiner Sporn. Die Oberfläche ist mit Tuberkeln besetzt, die in Reihen angeordnet sind.

Bemerkung: Die Größe und die Skulptur sprechen für eine Zugehörigkeit zu *Tiaraspis subtilis*.

Platte Typ E:

Taf. 9, Fig. 4

Material: 1 Exemplar

Beschreibung: Die annähernd ovale Platte besitzt an einer Seite eine Einschnürung, die sich als Einsenkung in die Platte hinein fortsetzt. Die lateralen Kanten sind umgebogen. Eine Skulptur ist nicht erkennbar (erhaltungsbedingt).

Platte Typ F:

Taf. 9, Fig. 5

Material: Profil III: 5, Gesamtanzahl: 5

Beschreibung: Die etwa trapezförmige Platte besitzt an ihrer schmalen Seite eine kleine Einkerbung, von der eine Einsenkung in die Platte läuft. Eine linienhafte Aufwölbung befindet sich an der nächsten Ecke der Platte. Beide Linien (Seitenlinien) laufen in der Platte aus. Die Nähte der paarig vorhandenen Platte zeigen, daß die Nachbarknochen lateral überlagert werden. Eine Skulptur ist nicht erkennbar (erhaltungsbedingt).

Platte Typ G:

Taf. 9 Fig. 6, 7

Material: Profil I: 1, Profil III: 1 Gesamtanzahl: 2

Beschreibung: Die ungefähr runden Platten besitzen zentral einen kleinen Buckel, an den sich eine bohnenförmige Erhebung anschließt. Um diese Struktur lagern sich kreisförmig angeordnete Tuberkeln an.

Bemerkung: Die Art der Skulptur erinnert an *Tiaraspis subtilis*.

Stachel Typ H:
Taf. 9, Fig. 8

Material: 1 Exemplar (Profil III)

Beschreibung: Von einer breiten Basis ausgehend, erhebt sich ein hakenförmig gebogener Stachel. Das Stück mit der reliktsichen Knochensubstanz läßt den Verlauf einer Höhle (Pulpahöhle), die fast bis in die Spitze reicht, erkennen. An der caudalen unteren Kante läßt sich eine Einschnürung erkennen. Der Abdruck zeigt eine Tuberkulierung der Spitze, wobei der vordere Rand größere Tuberkel aufweist als der restliche Stachel.

Bemerkung: Auch hier könnten die Tuberkeln auf *Tiaraspis subtilis* hinweisen.

Platte Typ I:
Taf. 10, Fig. 1

Material: Profil II: 1, Sonstige: 3, Gesamtanzahl: 4

Beschreibung: Die zungenförmige, kleine Platte besitzt in ihrem Zentrum eine buckelförmige Erhebung. Die, innerhalb einer geringen Variationsbreite, unterschiedlichen Tuberkel sind reihenförmig, parallel zum Rand, angeordnet. Bei einem gut erhaltenen Exemplar läßt sich an dem breiten Ende ein Überlappungsbereich erkennen.

Bemerkung: Anordnung und Größe der Tuberkel zeigen Ähnlichkeit mit denen von *Tiaraspis subtilis*.

Platte Typ J
Taf. 10, Fig. 2

Material: Sonstige: 2

Beschreibung: Es handelt sich um recht große, schief ovale Platten von denen die äußere Fläche nicht erhalten ist. Erkennbar ist nur die glatte Innenseite mit einer rund verlaufenden Naht und die Spongiosa.

Platte Typ K
Taf. 10, Fig. 3

Material: Profil I: 2 Profil III: 1 Gesamtanzahl: 3

Beschreibung: Die Platte zeigt in Ihrem Umriß eine starke Ähnlichkeit mit einer Brachiopodenklappe. Die reliktsich erhaltene Knochensubstanz weist die Platte aber eindeutig als Fischrest aus. Die Innenseiten der Platten sind bis auf unregelmäßige Vertiefungen glatt.

Schuppen
Taf. 10, Fig. 4-7

Material: ca. 200 Exemplare

Beschreibung: Das gesamte Schuppenmaterial läßt sich in zwei Gruppen unterteilen: ovale (Taf. 10, Fig. 5, 6) und etwa bohnenförmige Schuppen (Taf. 10, Fig. 4, 7). Sofern die Außenflächen erhalten sind, sei es als Abdruck oder als Knochen, lassen sich feine Tuberkel erkennen. Die Innenseiten sind glatt. Lediglich eine Schuppe (Taf. 10, Fig. 6) zeigt ein interessantes Kanalsystem, das parallel zur Längsachse der ovalen Schuppe verläuft. Von einem Hauptast gehen in +/- gleichen Abständen Seitenkanäle ab.

3.2.2 Beitrag zur Histologie von *Tiaraspis subtilis*

Da histologische Untersuchungen an *Tiaraspis subtilis* bislang nicht vorliegen, wurde eine Beschreibung vorgenommen. Gestützt auf diese Ergebnisse und auf die Auswertung von Längsanschliffen sollten die verschiedenen Altersstadien des Tieres auch histologisch erfaßt werden. Diesem Vorhaben kam zugute, daß Herr BARDENHEUER (Düren) dem Verfasser drei MDs zur Verfügung stellte, die aufgrund ihrer Erhaltung für Schliffe geeignet waren.

Die folgende Beschreibung der Histologie beruht auf 20 Dünnschliffen, von denen der überwiegende Teil keine Knochenzellen mehr erkennen läßt.

Wie die Knochenplatten aller devonischen Fische, so besteht auch das Dermal skelett von *Tiaraspis subtilis* aus Basalschicht, Spongiosa und Tuberkelschicht.

Die Basalschicht

Die Basalschicht setzt sich scharf gegen die Spongiosa (Taf. 12, Fig. 2) ab, so daß eine klare Grenze zwischen beiden Schichten gezogen werden kann. Die im Vergleich mit der Spongiosa und der Tuberkelschicht recht dicke Basalschicht zeigt einen lagigen Aufbau (Taf. 12, Fig. 3). Dieser wird durch den Wechsel von hellen und dunklen Lagen erzeugt, der jedoch eine Sekundärerscheinung (Fe-Hydroxyd-Einlagerungen) ist, da die dunklen Schichten z. T. unregelmäßig verlaufen und die helleren Lagen schneiden. Die Basalschicht ist durch eine feine Lamination gekennzeichnet, die nach GROSS (1930: 137 u. Taf. 5, Fig. 13E) durch die langen Ausläufer von Knochenzellen hervorgerufen wird. Diese Knochenzellen sind an dem zur Verfügung stehendem Material nur schemenhaft zu erkennen (Taf. 12, Fig. 3).

Die Spongiosa

Die Spongiosa läßt sich gegen die Tuberkelschicht nicht so klar abgrenzen, wie die Basalschicht (Taf. 12, Fig. 1). Der Übergang geschieht ganz allmählich. In der Übergangszone verlaufen kleinere Kanäle. Diese Kanäle der Spongiosa sind im medianen Bereich der Schicht am größten; der Kanaldurchmesser nimmt nach oben und unten ab. Die Knochen substanz umgibt die Kanäle konzentrisch, wobei die Berührungsflächen als helle Streifen (Taf. 12, Fig. 1) deutlich abgrenzbar sind. Dies ist besonders gut bei MD-Querschnitten an den lateralen Kanten zu sehen. Der konzentrische Aufbau wird durch Lamellen hervorgerufen, die durch die langen Ausläufer der Knochenzellen erzeugt werden. Diese Zellen geben sich nur an den Schliffen eines MDs gut zu erkennen. Die Knochenzellen besitzen einen asymmetrisch-elliptischen Körper, dessen flachere Seite jeweils dem Kanal zugewandt ist. Von den langen Ausläufern gehen senkrecht zu letzteren stehende Fortsätze aus, so daß ein netzartiges Muster entsteht (vgl. Taf. 13, Fig. 1, 2). Die Knochenzellen der Spongiosa sind wesentlich größer als die der Basalschicht.

Die Tuberkelschicht ist durch Einlagerungen von Fe-Hydroxyden opak geworden. Die Hydroxyde ließen sich auch mit Xylol nicht völlig entfernen, so daß sie nicht näher beschrieben werden konnten.

Das Wachstum der Knochenplatten erfolgte durch Aposition, d.h. durch Bildung immer neuer Lamellen, sowohl an der Innen- wie an der Außenseite der Knochenplatte. Die Spongiosa vergrößert sich durch Resorption von Basal- und Tuberkelschicht. Diese Resorption läßt sich jedoch nicht wahrnehmen; sie muß deshalb sehr gleichmäßig vonstatten gegangen sein, ohne daß Relikte, wie etwa bei *Asterolepis* (GROSS 1930: 136), erhalten blieben. Das Resorptionsverhalten der Spongiosa bei *Tiaraspis subtilis* deckt sich mit dem von *Cocosteus* (GROSS 1930: 137).

Aufgrund der Erhaltungsqualität der Knochenplatten konnte ein eingangs bereits erwähntes Ziel, die quantitative Erfassung von Lebensaltern bei *Tiaraspis subtilis*, nicht erreicht werden. Die These, daß die Anzahl der Knochenzellenschichten des Knochengewebes der Spongiosa (Taf. 13, Fig. 2) ein Alter des jeweiligen Tieres wiedergibt und damit unterschiedlich große Knochenplatten des gleichen Typs bestimmten Altersstadien zugewiesen werden können, muß deshalb weiterhin Vermutung bleiben. Dieser interessante Aspekt, mit dem sich die Varianz der Art klären ließe, muß zukünftigen Bearbeitern mit besser erhaltenem Material vorbehalten bleiben.

3.2.3 Unterklasse: **Acanthodii**

Ordnung: **Climatiida**

Familie: **Gyracanthidae** WOODWARD 1906 D

Gyracanthus AGASSIZ 1837 (1843 B)

***Gyracanthus (?) convexus* GROSS 1933**

- v*1933 *Gyracanthus (?) convexus* GROSS, S. 66, Taf. 5, Fig. 10.
1979 *Gyracanthus (?) convexus* GROSS, -DENISON, S. 34.
1984 *Gyracanthus (?) convexus* GROSS, -SCHULTZE, Fig. 5B.

Taf. 14, Fig. 1

Material: Profil I: 9, Profil II: 5, Profil III: 7, Gesamtanzahl: 21.

Beschreibung: Die schmalen und gekrümmten Stacheln verfügen über einen großen Hohlraum und relativ dünne Wände. Ein Schaft konnte an keinem Exemplar festgestellt werden, das Hinterende ist demnach offen. Die Stacheln besitzen eine grobe Skulptur aus Querrippen, die von unten proximal nach oben distal verlaufen. Die konvexe Vorderseite trug eine dornenartige Skulptur, die nicht bei allen Exemplaren beobachtbar ist.

Bemerkungen: Schon GROSS (1933: 66) wies auf die Problematik der Gattungszugehörigkeit hin, da aus dem Unterdevon Kanadas nur eine *Gyracanthus*-Art bekannt ist. Alle anderen besitzen oberdevonisches oder karbonisches Alter.

3.2.3.1 Dermaldentikel incertae sedis

Das zu untersuchende Material beinhaltet eine ganze Anzahl fraglicher Acanthodier- oder Elasmobranchierreste. Da der Erhaltungszustand eine histologische Untersuchung nicht ermöglichte, konnte eine Zuordnung zu den Acanthodii oder den Elasmobranchiern, allein aufgrund der Morphologie, nicht erfolgen.

Artikulierte Dermaldentikel

Taf. 14, Fig. 4, 5

Material: 1 Hautrest

Beschreibung: Der 41 mm lange und 21 mm breite Hautrest zeigt, als eine Folge der Spaltung des Handstücks, auf unterschiedlicher Höhe angeschnittene Dermaldentikel. Damit ist eine Rekonstruktion der Morphologie der Dentikel möglich. Die Schmelzkrone besitzt einen gerundet quadratischen Umriß. Von dem anterioren Bereich ziehen drei dünne Schmelzleisten nach hinten, die jedoch vor Erreichen des Hinterrandes auslaufen. Der Hals der Elemente ist im Umriß oval und die Oberfläche glatt. Die quadratische Basis ist kleiner als die Krone.

Dermaldentikel Typ 1

Taf. 14, Fig. 7

Material: 3 Exemplare

Beschreibung: Das 2 mm lange Element besitzt eine etwa lanzettförmige Krone, die caudal spitz endet. Die Krone zeigt vier Kiele, wovon die beiden mittleren länger als die lateralen sind. Der Zahn, der durch Sedimentauflast so deformiert ist, daß die Basis neben der Krone liegt, zeigt einen deutlichen Hals. Die beiden medianen Kiele laufen bis an den Hals heran. Zum Umriß der Basis, die wie der Hals völlig glatt ist, kann keine Aussage gemacht werden.

Dermaldentikel Typ 2

Taf. 14, Fig. 6

Material: 1 Exemplar

Beschreibung: Von diesem 2mm langen Dermaldentikel kann nur die Ventralseite beschrieben werden, da die Dorsalseite intensiv mit dem Gestein zusammenhängt und eine Freipräparation wegen des schlechten Erhaltungszustandes nicht möglich ist. Die völlig glatte Ventralseite zeigt an ihrem caudalen Rand sieben fingerförmige Fortsätze von unterschiedlicher Länge. Die Basis, von ovalem Querschnitt, ist am Hals abgebrochen.

3.2.4 Unterklasse **Crossopterygii**

Unterordnung **Rhipidista**

Familia incertae

Porolepiformes indet.

Taf. 14, Fig. 2, 3, 8

Material: 1 kompletter Zahn, 1 Zahnspitze, 2 Abdrücke, 2 Fragmente

Beschreibung: Es liegt hier ein leicht gebogener, 8mm langer Zahn vor. Die Oberfläche ist in Falten (9 pro Seite) gelegt. Die Falten zeigen im proximalen Bereich jeweils median eine kleine, parallel zur Längsachse verlaufende, linienartige Einsenkung.

Bemerkungen: Die sichere Diagnose und eine detaillierte Beschreibung kann nur nach einer histologischen Untersuchung vorgenommen werden. Da aber nur ein gut erhaltenes Exemplar vorliegt, wurde von einem Schliff Abstand genommen.

Zahn incertae sedis

Taf. 14, Fig. 9

Material: 1 Exemplar

Beschreibung: Ein 1 mm langes Zahnfragment, bei dem nur der proximale Bereich erhalten ist. Die distal auslaufende Pulpahöhle ist gut zu erkennen. Der Zement des Zahnes ist dick, die Oberfläche völlig glatt.

3.3 **Arthropoda**

3.3.1 Ordo **Isopoda**

incerti subordinis

Strigoproavus n.g.

Taf. 15, Fig. 1-10

Derivatio nominis: von lat. strix, die Ohreule, da der Kopf an den einer Eule erinnert und von lat. proavus, der Vorfahre, weil es sich um einen sehr frühen Isopoden handelt.

Typusart: *Strigoproavus gruenenschladensis* n.sp.

Diagnose: Isopode mit eulenkopffartigem Caput und großen Augen, sechs Thoracalsegmenten, die eine deutliche Querfurche besitzen, und einem Abdomen mit sechs Segmenten und einem kleinen Telson. Die Thoraxelemente sind gegeneinander beweglich gewesen. Die Oberfläche des Exoskeletts kann glatt oder mit flachen Pusteln besetzt sein.

Strigoproavus gruenenschladensis n. sp.

Taf. 15, Fig. 1

Holotypus: Nr. 31/ 32b/ 3a

Locus typicus: kl. Stbr. ca. 250m NW des Gehöfts Grünenschlade (Bl. Meinerzhagen)

Stratum typicum: schwarzer Tonstein der 'Unteren Wiebelsaat Schichten' (oberes Ems)

Paratypoide: 1 Abdomen (Taf. 15, Fig. 9), 4 Individuen (Taf. 15, Fig. 2, 3, 4, 5), 3 Prosomata (vergl. Taf. 15, Fig. 6, 7, 8)

Diagnose: da bisher monotypisch, entspricht die Diagnose der Gattung

Beschreibung des Holotyps: Das 30 mm lange und 13 mm breite Tier liegt als Körperfossil und als Abdruck vor. Dem Körperfossil fehlt die linke Seite des Kopfes; ferner sind die Tergite beschädigt. Die Form des Caput erinnert an einen Eulenkopf. Die Breite des Kopfes ist

13 mm wesentlich größer als die Länge (8 mm). An der oberen Kante des Kopfes befindet sich median eine Einsenkung. Die den ganzen Caput umlaufende wallartige Aufwölbung zieht an der Einwölbung nach caudal und bildet eine fast dreieckige glatte Fläche. Die caudale Spitze geht in eine wulstartige Aufwölbung über, die sich bis zum geraden caudalen Rand des Kopfes zieht. Seitlich der Einsenkung befindet sich je eine grubenförmige Vertiefung, in deren Mitte sich ein Auge (?) erhebt. Die für Facettenaugen typischen Kristallkegel oder deren Eindrücke in das Integument sind nicht erkennbar.

Der 15 mm lange Thorax besteht aus sechs Segmenten, die sich jedoch infolge gegenseitiger Überlagerung nur schwer zählen lassen. Die Segmente sind nicht miteinander verwachsen. Die zur Querachse parallel verlaufenden Kanten sind leicht nach außen gewölbt. Die lateralen Kanten sind fast gerade, wobei der caudale Abschnitt eine größere Breite als der cephal besitzt. An der cephalen Kante befindet sich eine zur Querachse parallel verlaufende Einsenkung, in die sich das jeweils vorgelagerte Segment oder das Prosoma einlagerte. Die Tergite besitzen eine mediane, in Richtung der Körperlängsachse verlaufende Naht.

Das Abdomen mit einer Länge von 6 mm weist eine fast dreieckige Form auf. Neben dem Telson lassen sich drei Segmente gut und eines nur undeutlich erkennen (vgl. Paratypus 1). Die Elemente sind wesentlich schmaler als die Tergite des Thorax und ihre Breite nimmt in caudaler Richtung stetig ab. Die Segmente des Abdomen zeigen ebenfalls die oben erwähnte mediane Naht. Lediglich das kleine dreieckige und recht stumpf endende Telson verfügt anstelle der Naht über einen Kiel. Das Tier zeigt keine Oberflächenskulpturen. Körperanhänge sind ebenfalls nicht erhalten.

Bemerkungen: Die Kutikula dieses Exemplares zeigt, wie der überwiegende Teil des Isopodenmaterials, eine völlig glatte Oberfläche. Lediglich einige wenige Reste besitzen eine aus flachen und breiten Pusteln bestehende Oberfläche (Taf. 15, Fig. 10).

Paratypus 1 Taf. 15, Fig. 9

Probennr. 29, 30ab/10

Material: 1 Abdomen mit VI. Thoraxtergit.

Beschreibung: Das Stück (Abb. 6) besitzt die Form eines Kreissegments und ist 6 mm lang und 9 mm breit. Das Abdomen befindet sich noch in Artikulation mit dem letzten Thoraxtergiten. Da das Exoskelett dieses Tergits größtenteils fehlt, ist der Einblick zu den sonst nicht erkennbaren Segmenten gewährt (vgl. Taf. 15, Fig. 9; Abb. 6). Die ersten drei Segmente des Abdomen besitzen eine geringere Breite als das vierte. In caudale Richtung nimmt die Breite der folgenden Elemente kontinuierlich ab. Die einzelnen Segmente sind leicht bogenförmig und im Verhältnis zu ihrer jeweiligen Breite recht schmal. Ihre lateralen Kanten verlaufen leicht schräg, wobei die caudale Kante etwas breiter als die cephal ist (wie die Thoraxtergite). Die Segmente zeigen, abgesehen vom Telson, eine mediane, parallel zur Längsachse verlaufende Einsenkung (vgl. Beispiel Holotypus). Eine parallel zu den Kanten verlaufende Einsenkung, wie sie die Tergite des Thorax aufweisen, läßt sich nicht nachweisen. Das Telson endet ziemlich stumpf und zeigt einen parallel zur Längsachse verlaufenden Kiel. Die Oberfläche der Kutikula ist glatt und ohne jede Skulptur.

Bemerkungen: Die Rekonstruktion des Isopoden ist in einem Punkt, dem Übergang Thorax – Abdomen, nicht hinreichend abgesichert. Die Frage, inwieweit die ersten drei Segmente des Abdomen von dem letzten Thoraxsegment überlagert werden, kann an dem vorhandenen Material nicht mit letzter Sicherheit beantwortet werden. Die beiden vollständigen Exemplare (der Holotypus und Taf. 15, Fig. 5) und auch der Paratypus 1 lassen neben dem Telson nur drei Elemente erkennen. Auch der Paratypus zeigt nur infolge der Zerstörung der Kutikula des VI. Segments alle Segmente. Daraus könnte geschlossen werden, daß diese drei ersten Elemente beim lebenden Tier unter dem letzten Thoracalsegment verborgen lagen. Die andere, etwas unwahrscheinlichere Möglichkeit wäre eine postmortale, schwache Disartikulation des Abdomen, jeweils unter den Thorax. Hierfür könnte die schwache Disartikulation der ersten drei Segmente sprechen. Das lebende Tier hätte dann, wie dieses bei einigen Oniscoidea der Fall ist, die medianen Abschnitte der ersten drei Segmente gezeigt, während die lateralen Bereiche durch das Thoraxtergiten verdeckt sind. Mit den wenigen Exemplaren, die noch ein Abdomen besitzen, erscheinen beide Möglichkeiten als wahrscheinlich.

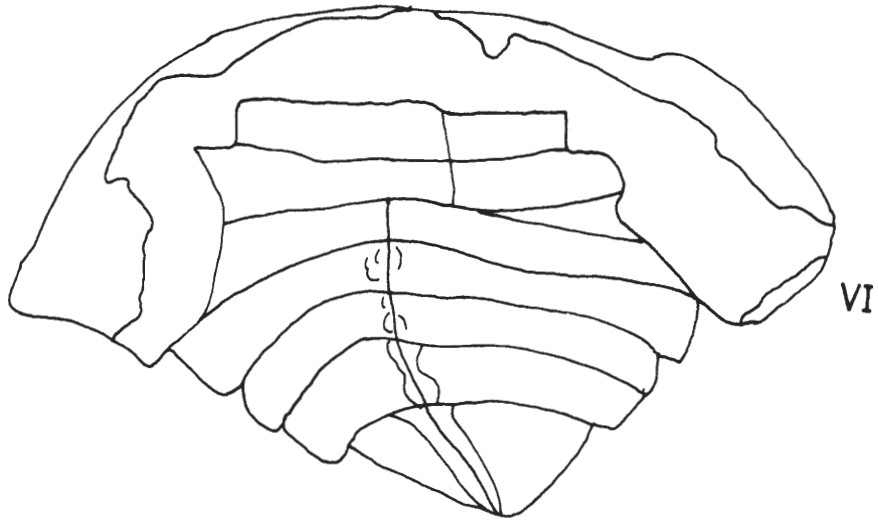


Abb. 6 : Das Abdomen des Tieres befindet sich noch in Verbindung mit dem VI. Thoraxsegment. Durch die teilweise Zerstörung dieses Segments sind die Elemente des Abdomen gut zu erkennen.

Die systematische Zugehörigkeit von *Strigoproavus gruenenschladensis* zu einer Unterordnung der Isopoda gestaltet sich aus diesem Grunde etwas problematisch, weil den geborgenen Fossilien die taxonomisch wichtigen Körperanhänge fehlen. Der dorso-ventral abgeflachte Körper, die freien Tergite und der Habitus des Körpers sprechen für eine Zugehörigkeit zu den Oniscoidea, wobei erwähnt werden muß, daß der erste Tergit das Cephalon nicht lateral umrahmt und die Zahl der Segmente um eines geringer ist als bei den Oniscoidea. Ferner besitzen die Oniscoidea einen wesentlich schmaleren Kopf.

Die Zugehörigkeit zu den Oniscoidea würde zwei interessante Aspekte anschnitten: 1. bei den Oniscoidea handelt es sich um Landisopoden und 2. die ältesten sicher nachgewiesenen Isopoden gehören der Unterordnung Phreatoicoidea (Karbon der USA, SCHRAM 1970, 1974) an. Der erste Aspekt, inwieweit es sich um einen Landisopoden handelt, kann mit dem vorhandenen Material nicht hinterfragt werden. Denn Körperanhänge, die die „Lungen“ beherbergen können, fehlen völlig. Außerdem müssen die Vertreter dieser Unterordnung nicht während ihrer gesamten Phylogenese auf ein Biotop beschränkt gewesen sein. Der zweite Gesichtspunkt zeigt, daß eine weitere Unterordnung bis ins Devon zurückreicht, wobei eine gewaltige Überlieferungslücke vom Ems bis ins Eozän bestünde.

3.3.2 Eurypterida

Chelicerenrest

Taf.16, Fig. 1, 2

Material: 1 vollständiges Exemplar und ein Bruchstück.

Beschreibung: Der langgestreckte schmale Rest verbreitert sich zum proximalen Ende langsam. Der proximale Teil trägt eine Gelenkpfanne. Der innere Zahnrand, an dem alle Zähne ausgebrochen sind, ist nur sehr undeutlich konkav gebogen. An dem Zahnrand lassen sich acht alveolenartige Vertiefungen erkennen, die von kleinen Knoten gebildet werden. Der bewegliche Finger der Chelicere fehlt.

Bemerkungen: Der Chelicerenrest konnte keiner Eurypteridengattung zugeordnet werden. Der Scherenast unterscheidet sich aber in der Form sehr stark von der Gattung *Pterygotus*, die GROSS (1933a, vgl. STÖRMER 1934, 1936, 1969) zusammen mit den Vertebraten aus Overath beschrieb.

3.4 Die Flora

3.4.1 Die Makroflora

Die Makroflora spielt in dieser Arbeit eine nur untergeordnete Rolle, so daß die aufgefundenen Pflanzenreste nur aus Gründen der Vollständigkeit aufgeführt werden. Der Aufschluß bei Berken wurde von REMY et al. (1986) auf seine Pflanzenführung hin untersucht. Von besonderer Bedeutung sind für die im Rahmen der vorliegenden Arbeit durchgeführten Untersuchungen lediglich die Wurzelböden, die einen eindeutigen Hinweis auf terrestrische Bedingungen zulassen. Die Proben aus diesem Profil können somit bei der Auswertung des geochemischen Probenmaterials als Referenzproben dienen (vgl. Kap. 4.5.1.2).

Der Tonsteinhorizont bei Grünenschlade führt ca. 10 cm über den Keratophyraschentuffen eine Lage mit eingeregeltten Pflanzenachsen (s. Taf. 16, Fig. 4). Diese nicht näher bestimmten Pflanzenreste sind recht hoch organisiert und für den K₄ – Komplex typisch (nach mündlicher Mitteilung von Herrn Prof. REMY). In dem Profil lassen sich ansonsten nur vereinzelt Pflanzen – wie z. B. *Protolpidodendrales* (Taf. 16, Fig. 3) bergen. Bei all diesen Funden handelt es sich um eingeschwemmtes Material, wie die Lage der Reste parallel zur Schichtung zeigt. Hinweise auf eine Einbettung in situ fehlen.

3.4.2 Mikroflora

Die stratigraphische Reichweite von *Tiaraspis subtilis* erstreckt sich vom Siegen bis zum frühen Ems (SCHULZE 1984: 357). Aufgrund von *Tiaraspis subtilis*-Funden nahmen SCHMIDT & ZIEGLER (1965) eine stratigraphische Einstufung des Schwarzschiefers bei Siesel (Bl. Plettenberg, s. o.) vor. Die dort auftretenden Keratophyre wurden aufgrund dieser Fossilfunde als K₃ eingestuft. Die bearbeiteten Tonschieferhorizonte auf Bl. Meinerzhagen lagern jedoch dem K₄ auf (nach der amtlichen geologischen Karte von FUCHS (1923)). Die stratigraphische Reichweite von *Tiaraspis subtilis* wäre demnach größer als bisher angenommen, wie bereits DOHMEN (1983: 1) feststellte. Dieser Befund sollte mit Hilfe der Palynologie überprüft werden. Hierzu fanden insgesamt 14 Proben aus dem Tonsteinhorizont von Grünenschlade Verwendung. Neun Proben wurden nach dem bei SCHÖLLMANN (1987: 9-10) ausführlich beschriebenen Verfahren aufbereitet. Das dabei isolierte reichhaltige Material liegt, infolge des hohen Inkohlungsgrades und durch Pyriteinlagen in schlechtem Erhaltungszustand vor. Typische Leitformen, mit deren Hilfe sich eine stratigraphische Einstufung ins Ober- oder Unterems durchführen ließe, konnten nicht nachgewiesen werden. Da dieser Frage aber eine entscheidende Bedeutung zukommt, wurden Herrn Dipl. Geol. HARTKOPF (GLA-Krefeld) fünf weitere Proben zur Altersdatierung übergeben; eine Datierung ist bisher leider nicht erfolgt. Obwohl das eigentliche Anliegen nicht erfüllt werden konnte, brachte die Durchsicht der 14 Proben dennoch ein interessantes Ergebnis. Die Präparate enthalten keine Acritarchen. Da nach MÜLLER (1980: 118) Acritarchen im Süßwasser erst seit dem Holozän auftauchen und der bearbeitete Tonstein diese Gruppe nicht enthält, ist mit großer Sicherheit anzunehmen, daß es sich hierbei um Süßwassersedimente handelt. Sollte es eine marine Beeinflussung gegeben haben und sei es nur eine schwache „Ingression“, die nur zur Überschichtung geführt hätte, müßten Acritarchen zu finden sein. Ein weiteres wichtiges Ergebnis lieferte die Aufbereitung einer Aschentuffprobe, die sehr viel Sporenmaterial enthielt. Bemerkenswerterweise haben hier die Sporen die Entglasungsvorgänge überstanden. Der Erhaltungszustand dieses Materials ist zwar schlecht, aber doch finden sich bei geeignet hoher Einwaage (ca. 100 g) genügend gut erhaltene Sporen, mit deren Hilfe dann endlich ein Werkzeug zur Datierung und Parallelisierung der Tuffe im rheinischen Devon möglich wird. Diesen erfolgversprechenden Ansatz weiterzuführen, würde jedoch den Rahmen der Arbeit sprengen.

3.5 Auswertung der paläontologischen Untersuchungen

3.5.1 Ein Sexualdimorphismus bei *Tiaraspis subtilis*

Der Arthrodire *Tiaraspis subtilis* stellt mit einem Anteil von über 95% das dominierende Element der Fischfauna in dem Tonsteinpaket von Grünenschlade. Obwohl der cephalen Körperabschnitt dieses Tieres gut bekannt ist, hält es noch einige biologische Daten bereit, die sich infolge der Materialfülle auch statistisch belegen lassen. Die außerordentlich große Anzahl von Proben mit Fischresten (ca. 2000) enthält Platten, die aufgrund ihrer Größe und Skulptur in den Mediocau-

dalbereich von *Tiaraspis subtilis* gehören könnten. Außerdem war erstmals auch eine statistische Untersuchung von Knochenplatten eines devonischen Arthrodiren möglich. Wie bei den Beschreibungen der verschiedenen Knochenplatten (vgl. Kap. 3.2.1) von *Tiaraspis subtilis* bereits aufgeführt, läßt sich jede Plattenform in zwei Typen differenzieren, einen schmalen hohen und einen breiten kurzen Typ (Abb. 4; Taf. 5, Fig. 1, 2, 3). Die Existenz dieser beiden Variationstypen wird, analog zu der rezenten Panzerwelsgattung *Corydoras*, als Sexualdimorphismus gedeutet. Der im Norden von Südamerika lebende Süßwasserfisch (NIYSSEN & ISBRÜCKER 1983, 1986) bildet als einer der wenigen Teleostier ein Exoskelett aus. Die Panzerwelse zeigen einen ausgeprägten Sexualdimorphismus, der sich in unterschiedlichen Körperproportionen äußert. Die Weibchen haben einen kräftigeren Körperbau als die schlankeren Männchen mit ihren zudem spitzeren Dorsalflossen. Da bei *Tiaraspis subtilis* und *Corydoras* die cephalen Hälfte bzw. der ganze Körper mit Knochenplatten bedeckt ist, müßte sich der Sexualdimorphismus an den Platten nachweisen lassen. Dieser Feststellung kommt eine besondere Bedeutung zu, da ein Großteil der Knochenplatten disartikuliert vorliegt. Neben dem im folgenden geführten Nachweis bezeugt auch das Auftreten der beiden Plattentypen an allen in der Literatur beschriebenen *Tiaraspis*-Fundorten – auf die später noch einmal einzugehen ist (vgl. Kap. 3.6) – den Sexualdimorphismus (d.h. an allen Fundstellen treten Männchen und Weibchen auf).

3.5.1.1 Auswertung mit Hilfe der Statistik

Ein Sexualdimorphismus, der sich in unterschiedlichen Körper- bzw. Knochenplattenproportionen äußert, muß sich mit Hilfe des Breiten/Längenindex erfassen lassen. Dies ist in der Fischzucht und der Fischerei eine gängige Methode (vgl. z.B. LAZARUS & REDDY 1986, DE SILVA 1986, GARCIA 1987), die jedoch in unserem Fall nicht so unproblematisch zu handhaben ist wie bei rezemtem Material. Denn das Gewicht der Tiere als zusätzliche Meßgröße kann nicht ermittelt werden und durch die natürliche Variationsbreite kann eine bimodale Verteilung verdeckt sein. In einem solchen Fall wäre eine Unterscheidung der Geschlechter nicht sicher möglich. Das Lebensalter der devonischen Fische und deren Größenvariation bezogen auf Art und Geschlecht (vgl. Kap. 3.2.2) sind unbekannt. Die Folge ist eine Überlagerung dieser Parameter, die es zu entschlüsseln gilt, wobei die Altersstadien nicht als Störfaktor auftreten, da auch die kleinen Platten schon den Sexualdimorphismus aufweisen.

Die statistische Auswertung der Daten (die Länge und der B/L-Index) wurde mit SAS (Statistical Analysis System) durchgeführt, das am Rechenzentrum der Universität Münster installiert ist. Aus dem Programmpaket fand zur Lösung dieser Problemstellung das Programm „Univariate“ Ver-

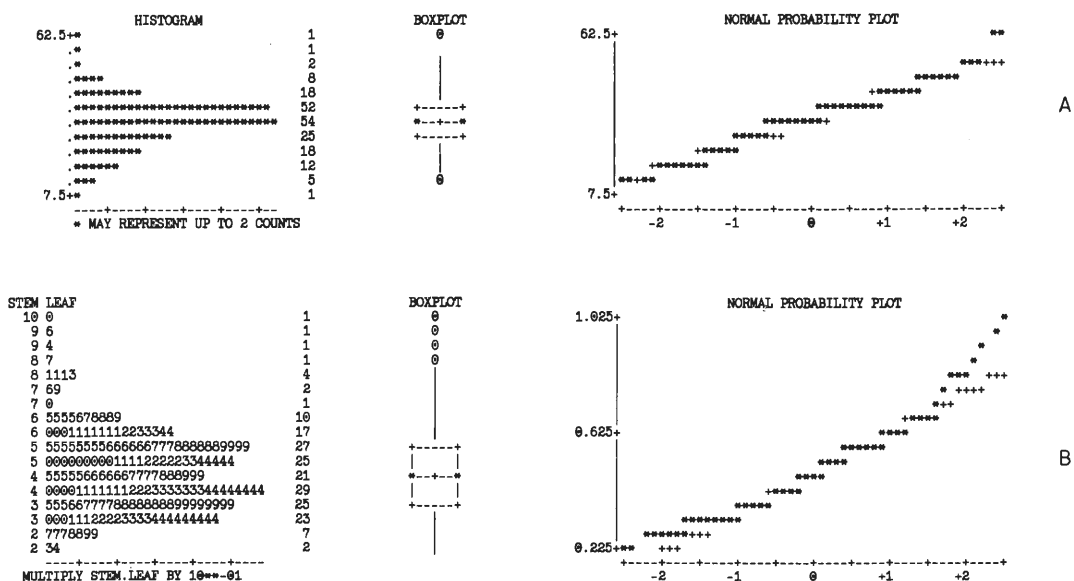


Abb. 7 : Beispiel für stem and leaf plots. A) Die Länge des MD liegt in einer Log-Normalverteilung vor. B) Der B/L-Index zeigt eine angedeutete bimodale Verteilung, die den Sexualdimorphismus wiedergibt. Die Plots für die Knochenplatten befinden sich im Anhang (Abb. 13-50).

wendung. Mit Hilfe dieses Programms wurden die Datensätze (die Größen der Knochenplatten und ihr B/L-Index) in Verteilungskurven, hier als „stem and leaf“-Plots dargestellt. Diese Plots bieten gegenüber herkömmlichen Histogrammen den Vorteil, daß die einzelnen Werte direkt ablesbar bleiben und die Anzahl der Beobachtungen pro Klasse aufgelistet ist (s. Abb. 7). Das mittlere Diagramm (box plot) zeigt einen Kasten mit drei horizontalen Linien, die die Lage des 1. (oben), des 2.(mitte) und des 3.(unten) Quartils markieren. Das Kreuz lokalisiert den Mittelwert. Die drei Linien können bei einer großen Spannweite der Daten, die eine Entzerrung der Skala nicht ermöglicht, zusammenfallen. Die vertikale Linie kennzeichnet den 1,5fachen Interquartilabstand (Q3-Q1) vom Mittelwert. Die Werte bis zum 3-fachen Interquartilabstand sind durch eine Null (0) wiedergegeben. Die Ausreißer geben sich durch Sterne (*) zu erkennen.

In der dritten Graphik, dem Normalwahrscheinlichkeitsplot, sind (nach SAS 1982: 580/81) die Datenwerte auf der Ordinate aufgetragen und die Ergebnisse der Formel

$$\phi^{-1} (r_i - 3/8) / n(n+1/4)$$

ϕ^{-1} = inverse Standardwahrscheinlichkeitsfunktion

r_i = Klasse

n = Anzahl der Werte

auf der Abszisse. Die Pluszeichen markieren eine Referenzgerade, die aus dem Probenmittelwert und der Standardabweichung errechnet wurde. Die Probenwerte sind durch Sterne gekennzeichnet. Liegt nun eine Normalverteilung vor, so liegen die Probenwerte auf der Referenzgeraden.

Diese Abbildung zeigt, daß alle untersuchten Knochenplatten, die Spinalia wurden nicht berücksichtigt, da in den meisten Fällen die rechte und linke Platte nicht unterschieden werden konnten, in einer Normalverteilung vorliegen. Von den 20 ausgewerteten unterschiedlichen Knochenplatten weisen jedoch MD, ADL re, PVL re, AVL li, Ce li, Ce re und das PNu re eine angedeutete bimodale Verteilung auf (vgl. Abb. 13-50 im Anhang), die durch den Sexualdimorphismus bedingt sein muß. In den anderen Fällen verdecken die oben genannten Parameter die angedeutete bimodale Verteilung. Hierfür spricht auch, daß bei den paarigen Platten (PDL und ADL) jeweils nur ein Element die geforderte Verteilung zeigt. Außerdem muß sich der Sexualdimorphismus nicht in allen Platten äußern. Die Tab. 2, in der die Zahlen der Männchen und Weibchen aufgelistet sind, läßt eine Dominanz der Männchen erkennen (Ausnahmen AVL li, PVL re).

Knochenplatte	Weibchen	Männchen
MD	107	90
ADL re	66	43
AVL li	80	84
PVL re	39	45
Ce re	17	10
Celi	9	5
PNu re	13	11

Tab. 2 : Anzahl der Männchen und Weibchen der Knochenplatten, die eine bimodale Verteilung zeigen.

Um die Anzahl zu erhalten, wurde an dem Wendepunkt der bimodalen Verteilung (stem and leaf plots) angesetzt und die Platten mit dem größeren B/L-Index den Weibchen und der kleinere Index den Männchen zugeordnet. Da das Verhältnis der Geschlechter bei rezenten Fischen stark an unterschiedlichste ökologische Faktoren gebunden ist, die auch auf die vorliegende Fauna aus dem Ems gewirkt haben dürften, unterbleibt hier eine weitere Interpretation, die spekulativ bleiben müßte. Die Steuerungsmechanismen sind nicht einmal bei rezenten Fischen sicher geklärt.

3.5.2 Altersstadien bei *Tiaraspis subtilis*

Da der direkte quantitative Nachweis von verschiedenen Altersstadien mit Hilfe der Histologie (vgl. Kap. 3.2.2) wegen der schlechten Erhaltung mißlang, müssen die Ergebnisse der Statistik zur Lösung herangezogen werden. Hierzu sind die Längen der kleinsten und der größten Knochenplatte sowie der Mittelwert und die Gesamtzahl der Werte, auf die später noch einzugehen ist, zusammengestellt (Tab. 3). Dazu sollen ferner die „stem and leaf“-Plots der Längen der einzelnen Knochen betrachtet werden. Obwohl auch in diesen Plots eine Überlagerung der bereits erwähnten Parameter – Variationsbreite, Sexualdimorphismus, Altersstadien – vorhanden ist,

lassen sich dennoch angedeutete, mehrgipfelige Kurven erkennen. Diese werden hier als Nachweis für das Vorhandensein unterschiedlicher Lebensalter angesehen. Gestützt wird diese Interpretation durch die zusammengestellten kleinsten und größten Knochenplatten, die eine recht große Variationsbreite zeigen (Tab. 3).

Knochenplatte	Kleinste Platte	Größte Platte	Mittelwert	Gesamtzahl
MD	7.5	67.5	33.2	197
PDL re	10	38	22.8	154
PDL li	13	38	23.5	152
ADL re	9	35	20.6	109
ADL li	11	32	21.1	93
PI re	8	23	13.3	57
PL li	5	23	15.6	63
Al re	10	32	20.8	121
AL li	10	34	21.5	131
AVL re	8	36	22.3	179
AVL li	11	37	22.7	164
PVL re	14	30	22.1	85
PVL li	12	30	21.8	104
AMV	5	14	9.4	24
PMV	4	27	13.4	88
Ce re	6	18	14.9	27
Ce li	10	24	15.7	14
PNu re	10	18	14.4	24
PNu li	10	24	16.0	16
Nu	8	16	13.7	20

Tab. 3 : Die Länge der jeweils kleinsten und größten Knochenplatte (Lokalität Grünenschlade).

Zur besseren Auflösung soll der nachgewiesene Sexualdimorphismus als noch störendes Element herausgenommen werden. Dazu werden exemplarisch das MD, das eine Log-Normalverteilung zeigt und das PDL re ausgewählt. Die Log-Normalverteilung kommt durch das Fehlen von Extremwerten zustande. Für weibliche und männliche Tiere wurde jeweils getrennt ein „stem and leaf“-Diagramm erstellt und es zeigten sich – jetzt ohne den „Störfaktor“ Sexualdimorphismus – die angedeutet mehrgipfeligen Kurven (vgl. Abb. 51-58 im Anhang). Weiterführende Aussagen, die sich aus einem Vergleich mit dem GROSSsches Material aus Overath (Naturkundemuseum in Berlin) (Tab. 4) stützen, erscheinen aufgrund der geringen Anzahl dieser einzelnen Knochenplatten wenig sinnvoll.

Knochenplatte	Kleinste Platte	Größte Platte	Mittelwert	Gesamtzahl
MD	13	66	33.4	14
PDL re	18	28	24.8	4
PDL li	19	27	23.0	2
ADL	16	35	25.3	8
PI	–	–	27.0	
Al re	12	49	24.9	10
AL li	–	–	33.0	
AVL re	16	35	33.0	12
AVL li	18	32	25.6	18
PVL re	14	37	22.3	6
PVL li	13	27	20.8	4
PMV	15	38	23.8	6

Tab. 4 : Die Länge der jeweils kleinsten und größten Knochenplatte (Lokalität Overath, Material des Naturkundemuseums in Berlin).

Erwähnenswert ist lediglich, daß die Größen – mit zwei Ausnahmen (Al 49 mm, PMV 38 mm) – innerhalb der Variationsbreite des Materials aus Grünenschlade liegen. Die gesamte Variationsbreite von *Tiaraspis subtilis* scheint, obwohl hier zwei verschiedene Lokalitäten, die unterschiedliche Environments repräsentieren ähnliche Ergebnisse erbrachten, noch nicht vollständig erfaßt

zu sein. Denn BARDENHEUER stellte ein MD (Taf. 5, Fig. 2) mit einer rekonstruierten Länge von 80 mm zur Verfügung.

3.6 Bemerkungen zur Ökologie der Fauna

Nachdem bereits ausgeführt wurde, daß *Tiaraspis subtilis* in dem Tonsteinhorizont bei Grünenschlade und Vorth das dominierende Element einer artenarmen Fauna darstellt, lag ein Vergleich mit anderen Fundpunkten nahe. Nach eigenen Kenntnissen, aus der Literatur und nach Angaben von Herrn BARDENHEUER (Düren) konnten verschiedene Aufschlüsse mit *Tiaraspis*-Resten zusammengestellt werden. Die fragwürdigen *Tiaraspis*-Funde aus Belgien und Spitzbergen, die GROSS (1965) beschreibt, wurden hier nicht berücksichtigt. Es handelt sich um folgende Lokalitäten:

- Steinbruch Heider bei Overath (GROSS 1933, 1933a, 1937, 1962) gelb-braune Sandsteine mit vielen Pflanzenresten (Unteres Ems, CARLS et al. 1982: Tab. I; GROSS & UFFENRODE 1982: Abb. 2; SCHWEITZER 1982: Tab. 1). *Tiaraspis subtilis* tritt hier als untergeordnetes Faunenelement mit Agnathen und Eurypteriden auf. Vereinzelt lassen sich einklappig erhaltene Brachiopoden (*Rensselaeria crassicosata* GROSS 1933a, Taf. 7, Fig. 3, 4, 5 u. GROSS 1937) nachweisen, was DENISON (1956: 427) dazu veranlaßte, *Tiaraspis subtilis* als marinen Arthrodiren anzusehen.
- Straßenprofil bei Siesel (vgl. Kap. 2.3) schwarze, feinflaminierte Tonsteine (K₃ – Komplex, Unteres Ems, nach SCHMIDT & ZIEGLER 1965). *Tiaraspis subtilis* ist hier das Hauptfaunenelement neben *Gyracanthus convexus*. Nach BÖGER (1983: 295) handelt es sich um deltaische Ablagerungen.
- Steinbruch Waxweiler bei Prüm (mündliche Mitteilung BARDENHEUER) Siltsteine und quarzitisches Sandsteine (Siegen/Ems, LIPPERT 1939) *Tiaraspis subtilis* tritt hier mit zahlreichen Agnathen auf. Nach FUCHS (1982: 251) handelt es sich bei den Klerfer Schichten um deltaische und estuarine Ablagerungen, die von ASSELBERGHS (1946: 245) und RICHTER (1952: 344) früher als brackisch-marin angesehen wurden.
- Steinbruch Jäger in Odenspiel (dunkelgraue Silt- und Sandsteine mit zahlreichen Pflanzenresten (Oberes Siegen, CARLS 1982: Abb. 2, SCHWEITZER 1982: Tab. 1). Hier existiert ein Massenvorkommen von *Rhinopteraspis*-Resten (FRIMAN 1986: 5) unter denen sehr selten (bekannt ist nur ein MD-Fund, mündl. Mitt. BARDENHEUER) Knochenplatten von *T. subtilis* zu finden sind. Die Odenspieler Schichten (Stbr. Jäger) können wohl, aufgrund der Pflanzenfunde in situ (*Sciadophyton*) und der starken Mächtigkeitsschwankungen der Schichten, die oft auskeilen, als deltaisch (i.w.S.) angesehen werden.

Da *Tiaraspis* an drei Fundorten (Grünenschlade, Vorth und Siesel), bei völligem Fehlen von Agnathen-Resten, das dominierende Faunenelement darstellt, scheinen die Gemeinsamkeiten der drei Aufschlüsse für die Agnathen limitierende Faktoren zu stellen. Offensichtlich konnten die Agnathen den Stillwasserbereich – wie er durch die feinflaminierten Tonsteine belegt ist, nicht besiedeln. Die Ursachen hierfür, die vom Sauerstoffgehalt über Empfindlichkeiten gegenüber bestimmten Schwermetallen, vom Nahrungsangebot bis zur Salinität reichen können, gestalten sich recht vielfältig.

Vor dem Hintergrund neuer Untersuchungen von BOUCOT & JANIS (1983), die die Entwicklung der prädevonischen Wirbeltiere im marinen Milieu nachwiesen, und den mit Hilfe der Palynologie nachgewiesenen Süßwasserablagerungen (Kap. 3.4.2) des bearbeiteten Tonsteins, könnte der Salinität ein entscheidender Einfluß zukommen. Um hier zum Ziel zu kommen, muß die Begleitfauna mit Hilfe von Literaturdaten (DENISON 1956) einer Betrachtung unterzogen werden.

Die Euarthrodiren sind im Siegen und Ems nach DENISON (1956: 427) nicht mehr auf das Süßwasser beschränkt; Formen wie *Tiaraspis* sollen auch im randlich-marinen Bereich existieren. Von den hier auftretenden Heterostraci ist *Rhinopteraspis* eine Form des Süß- und des Meerwassers (DENISON 1956: 418, 419). *Drepanaspis* ist eine typische marine Form (DENISON 1956: 418), während die unterdevonischen Crossopterygier in randlich-marinen und fluviatilen Ablagerungsräumen existieren konnten (DENISON 1956: 428). *Cephalaspis* (Osteostraci) dagegen lebte in Flüssen und anderen Süßwasserumgebungen (DENISON 1956: 417). Die Acanthodier lebten nach

DENISON (1956: 425) im Unterdevon vorwiegend im Süßwasser, wenngleich sie untergeordnet auch im marinen Bereich zu finden sind. Die Eurypteriden, die im Süß-, Brack- und Meerwasser lebten, können aufgrund ihrer euryhalinen Lebensweise unberücksichtigt bleiben.

Die Zusammenstellung zeigt, daß der Salinität scheinbar keine Bedeutung für die *Tiaraspis*-Vorkommen zukommt. Hierzu ist jedoch anzumerken, daß an einigen Fundorten (z. B. Overath) marine Invertebraten und Vertebraten sowie nichtmarine Vertebraten in derselben Fundschicht gemeinsam auftreten. Da im Unterdevon, wie noch zu erörtern ist, ein flaches (paralisches) Festland angenommen werden muß (vgl. Kap. 6) könnten Sturmfluten oder Springtiden die Faunenmischung herbeigeführt haben. Hierfür sprechen Untersuchungen an dem Material des Naturkundemuseums Berlin, das nur einklappig erhaltene Brachiopoden (*Rensselaeria crassico-stata*) führt. Daraus könnte geschlossen werden, daß die euryhaline Lebensweise einiger unterdevonischer Vertebraten nicht existiert. Die Verdriftung von Fischleichen darf ebenfalls nicht unterschätzt werden – schließlich basierte die inzwischen widerlegte Theorie der Entwicklung der Vertebraten im Süßwasser von ROMER & GROVE (1936) u.a. hierauf. So tritt doch *Tiaraspis subtilis* nur in den Tonsteinen in gut artikulierten Exemplaren auf, die zum Teil noch Schuppen besitzen, während sich in den Sandsteinen (Overath, Odenspiel) nur einzelne Platten und allen- falls einmal zwei oder drei Platten in Artikulation finden, was ein Argument für eine Verdriftung wäre. *Tiaraspis subtilis* wäre demnach ein lakustrisch lebendes Tier, dessen Leichen gelegentlich durch Flüsse ins Meer gespült würden. Für eine lakustrische Lebensweise spricht auch die auf Deutschland beschränkte Verbreitung der Art, während die zweite Gattung der Groenlandaspidae, *Groenlandaspis*, von MILES (1975: 569) auf vier Kontinenten nachgewiesen werden konnte. Das mögliche Gegenargument der stärkeren Strömungsenergie während der Sedimentation der größeren Sedimente als Ursache der starken Disartikulation der Skelettelemente von *Tiaraspis subtilis* können Funde von vollständig erhaltenen *Rhinopteraspis*-Exemplaren (FRIMAN & BAR-DENHEUER 1984) und entsprechenden Acanthodier-Funden (MILES 1973) in den Sandsteinen entgegengehalten werden.

Die diskutierten Möglichkeiten weisen deutlich darauf hin, daß die ansonsten sehr gute Zusammenstellung von DENISON (1956) auf Literaturdaten beruht, die nur die jeweilige Fauna beschreiben, ohne auf die viel wichtigere Milieufolge mit sedimentologischen, biostratonomischen und vielleicht auch geochemischen Methoden einzugehen. Wie schon eingangs erwähnt, treten die Exemplare von *Tiaraspis subtilis* in Stillwasserbereichen, wie sie durch die Feinlamination dokumentiert sind, in großer Zahl auf. Da überwiegend in diesem Milieu die artikulierten Knochenplatten und Knochenhaufwerke (Taf. 11, Fig. 1-3) auftreten, wird eine auf funktionsmorphologischen Gesichtspunkten beruhende Erklärungsmöglichkeit für Faziesabhängigkeit vorgeschlagen. Der dorsoventral abgeflachte Körper und das turmförmige MD bieten einem strömenden Wasser zuviel Angriffsfläche, so daß das Tier eine Anpassungsform an Stillwasserbereiche darstellt. Auch hier kann das Genus *Corydoras*, das ebenfalls in Seen und träge fließenden Flüssen lebt, als Vergleichsobjekt herangezogen werden. Daß eine Faziesabhängigkeit bei unterdevonischen Vertebraten besteht, bemerkte bereits DENISON (1956: 397) an *Cephalaspis*. Diese Tiere sind sehr häufig in Sandsteinen aufgefunden worden, woraus eine Anpassung an schnell fließende Gewässer abgeleitet wurde. Während AVLAR & DOHMEN (1985: 16) aufgrund der postulierten sapropelischen Fazies von eingeschwemmten Fischleichen ausgingen, konnte mit den geochemischen Untersuchungen gezeigt werden, daß die Tiere auf dem Sediment leben konnten. Die Annahme von AVLAR & DOHMEN erklärt zudem auch das völlige Fehlen der Agnathen nicht, denn auch diese hätten mit eingeschwemmt werden müssen. Ein wichtiges Argument gegen die Verdriftung der Fauna liefern auch die postmortal schnell zerfallenden Isopoden, von denen eine Anzahl in artikulierter Form aufgefunden wurde.

Tiaraspis subtilis zeigt durch seinen dorsoventral abgeflachten Körper eine Lebensweise am Boden an. Über den Nahrungserwerb der Tiere können, da die Bezahnung nicht überliefert ist, nur Vermutungen geäußert werden. Aufgrund des kräftigen Panzers und des hohen MD war *T. subtilis*, wie die Vertreter des Genus *Corydoras*, kein guter Schwimmer. Eine räuberische Lebensweise, die auf eine schnelle Beute abzielte, ist daher nicht vorstellbar. Aufgrund der Begleitfauna und -flora kommen folgende Möglichkeiten des Nahrungserwerbs in Frage: die Isopoden und der Detritus. Die Isopoden können jedoch nicht die ausschließliche Nahrung gewesen sein, denn sie sind auf die Tonsteinhorizonte des Blattes Meinerzhagen beschränkt. Als wahrscheinlicher ist der Detritus als Nahrungsquelle anzusehen. Auch *Corydoras* ernährte sich auf diese Weise.

Die rezenten Isopoden sind eine außerordentlich erfolgreiche Ordnung. Sie haben nahezu alle Biotope besiedelt, in denen tierisches Leben möglich ist (SCHMALFUSS 1983: 1). Dementspre-

chend vielseitig gestaltet sich auch ihre Ernährung. Die Möglichkeiten, die sich *Strigoproavus* boten, reichen vom Detritus bis zum Aas (Fische).

Nachdem die Lebensweise der Fauna diskutiert wurde, soll nun deren Verbreitung im Profil von Grünenschlade betrachtet werden. Hierzu wurde die Anzahl der Knochenplatten gegen die Profilmeter aufgetragen (vgl. Abb. 59-68 im Anhang). Die Darstellungen zeigen ein dreimaliges Auftreten der Knochenplatten von *T. subtilis*, während in den Profilabschnitten dazwischen keine Elemente des Exoskeletts nachgewiesen werden konnten. In Verbindung mit der bereits erwähnten relativ großen Anzahl, in Artikulation bzw. als schwach disartikuliert vorliegende Knochenhaufwerke und das Vorhandensein verschiedener Altersstadien, (Taf. 5, Fig. 1) scheinen hier Katastrophen die Todesursache gewesen zu sein. Ein weiteres Argument für diese Vermutung liefert Tab. 3, in der die jeweils größten und kleinsten Knochenplatten aufgelistet sind. In der Tabelle fällt deutlich auf, daß die paarigen Knochenplatten in annähernd gleicher Zahl, bei fast gleichen Mittelwerten, vorhanden sind. Die Variationsbreite reicht als Argument jedoch nicht aus, da mit den sehr ähnlichen Werten lediglich gezeigt ist, daß die gesamte Variationsbreite am Einbettungsort erfaßt wurde. Aus der fast gleichen Anzahl kann geschlossen werden, daß eine bestimmte Anzahl Tiere zu Tode kam und diese als +/- artikulierte Reste oder disartikuliert auf einem jeweils eng begrenzten Raum (die abgegrabenen Profilsäulen sind eng begrenzt) eingesedimentiert wurden. D.h. eine Zerstreung der Platten über eine größere Fläche, wie sie durch stärkere Strömungen oder ein längeres Treiben der Fischleichen im Wasser ermöglicht wird, fand nicht statt. Hierzu steht die zahlenmäßige Unterrepräsentation der Schädelelemente nicht im Widerspruch, denn DOHMEN (1983: 38) stellt mit ihrer biostratinomischen Untersuchung ein frühes postmortales Ablösen des Schädeldaches von der Leiche fest.

Die Isopoden konnten hier nicht berücksichtigt werden, da sie im Fundgut besonders in den gelblich verwitterten Partien auftreten, in denen ihre schwarz gefärbten Exoskelette besonders gut auffallen. In den schwarzen unverwitterten Bereichen sind die Isopoden völlig unterrepräsentiert. Das heißt jedoch nicht, daß sie dort in geringerer Anzahl auftreten. Aus diesem Grund unterblieb eine Darstellung der Verbreitung der Isopoden im Profil.

Aufgrund welcher Vorgänge die Fauna den Tod fand, kann mit paläontologischen Mitteln nach dem derzeitigen Kenntnisstand nicht ergründet werden. Es bleibt hier nur festzustellen, daß die verschiedenen Altersstadien und die jeweils große Anzahl pro Vorkommen im Profil auf katastrophenartige Ereignisse, die auf die Fauna letal wirkten, hindeuten. Die Ursachenfindung soll hier mit Hilfe der Geochemie erfolgen.

4.0 Geochemie

Neben den Möglichkeiten der anorganischen Chemie sollten auch die Analyse der Kohlenwasserstoffe, die sehr wichtige Milieuindikatoren stellen, in die Untersuchung einbezogen werden. Voruntersuchungen von Testproben im Chemischen Institut der KFA Jülich und im geochemischen Institut Hamburg lieferten jedoch, als eine Folge des hohen Inkohlungsgrades (eine Vitrinitreflexion von 2,6%, Abb. 69) keine auswertbaren Kohlenwasserstoffvorkommen mehr. Die Indikation der Milieubedingungen mußte deshalb auf die Möglichkeiten der anorganischen Chemie beschränkt bleiben.

4.1 Probenaufbereitung und Aufschlußverfahren

Die möglichst homogenen und unverwitterten Proben wurden von Eisen und Mangankrusten, die sich auf den Klüften gebildet haben, befreit und mit destilliertem Wasser gewaschen. Die so vorbereiteten Proben wurden auf darin eventuell enthaltene Tuffite mit Konkretionen (vgl. Kap. 2.1.1) und Knochenplatten, die zu entfernen waren, überprüft.

Die Zerkleinerung der Proben auf Millimetergröße erfolgte in einem Backenbrecher. Diese Gesteinssplitter wurden nochmals auf Knochenreste untersucht. Eine repräsentative Teilmenge des so gewonnenen Materials konnte in einer Scheibenschwingmühle analysenfein gemahlen werden.

Die Trocknung der analysenfeinen Gesteinspulver (Je Probe ca. 3 g) erfolgte in Bechergläsern bei 105°C im Trockenschrank. Der Glühverlust wurde mit einer Temperatur von 1050°C bis zur Gewichtskonstanz bestimmt. Die Gehalte an organischem Kohlenstoff erforderten eine vorherige

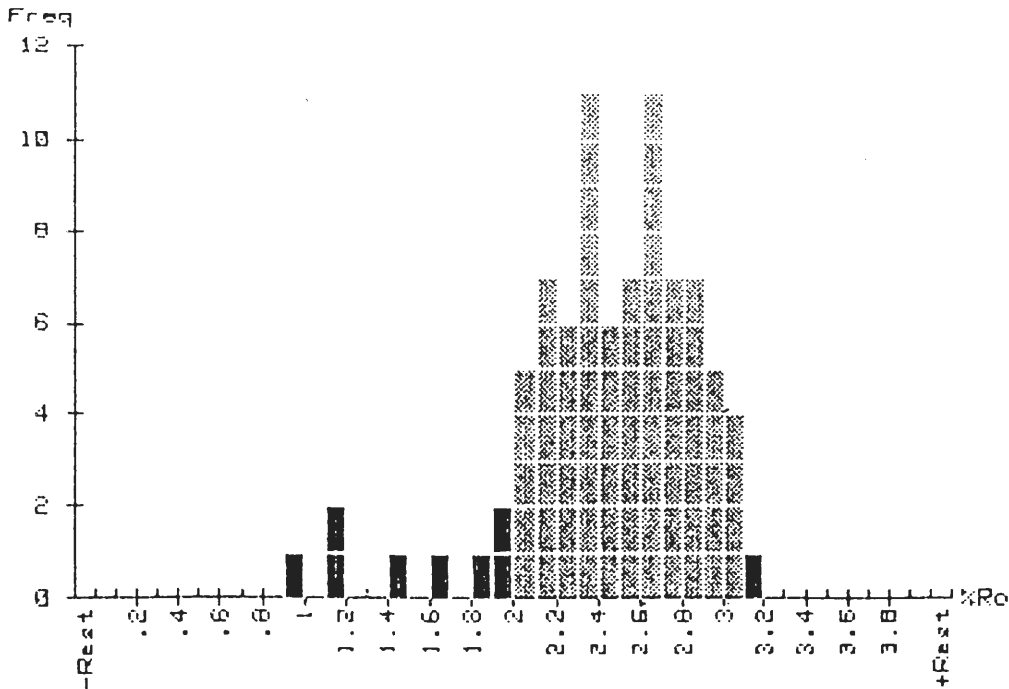


Abb. 69: Bestimmung der Vitritreflexion.

Temperaturbehandlung, die bei 600°C drei Stunden lang im Muffelofen durchgeführt wurde. Versuche mit einer Temperatur von 400°C und einer Glühdauer von sechs Stunden führten zu unbefriedigenden Ergebnissen. Für Gesteinspulver stehen generell folgende Aufschlußverfahren zur Verfügung:

- Säureaufschlüsse mit Hilfe von Säuregemischen (z.B. HF-HNO₃, HF-HClO₄, HClO₃) im Autoklaven
- Säureaufschlüsse mit Hilfe von Säuregemischen (HCl-HNO₃)(Königwasseraufschluß)
- Schmelzaufschlüsse mit sauren oder alkalischen Verbindungen (Na₂CO₃ -K₂CO₃, Soda-Pottasche)

Von diesen Verfahren erwies sich, bedingt durch die Fragestellung und vor allem die Um- und Neubildung von Mineralien (vgl. Kap. 2) der HF-HNO₃-Aufschluß im Autoklaven als am geeignetsten.

Ein Aufschluß der Fraktion < 2µ erwies sich als unmöglich, da alle Aufbereitungsmethoden (H₂O₂, Ultraschall) versagten (vgl. Kap. 2.4). Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen von Probenbruchflächen offenbarten die Ursache. Es zeigte sich, daß die „Tonminerale“ die Größe von 4µ besitzen (Taf. 1, Fig. 6). Die in das Kristallgitter eingebauten Elemente (z. B. Chrom ersetzt Aluminium in 6 er-Koordination) werden bei Königwasseraufschlüssen nicht erfaßt, da das silikatische Gerüst bestehen bleibt. Ein Schmelzaufschluß mit Soda-Pottasche, der die Nachteile des gewählten HF-HNO₃-Verfahrens, das Abrauchen von Elementen wie Blei, Arsen und Bor, ausgleicht, kam wegen des Verstopfens von Zuleitungen und Zerstäubern an Flammen-AAS und ICP (Inducted Coupled Plasma) nicht in Frage, da die Geräte nur für wenige Tage zur Verfügung standen. Auf die Messung der genannten Elemente mußte deshalb verzichtet werden.

Durchführung des HF-HNO₃-Aufschlusses

– ca. 1,5 g der bei 105°C getrockneten Probe werden bei 600°C für drei Stunden im Muffelofen geglüht

– 0,3 g Einwaage der geglühten Probe mit 10 ml HF und 3 ml HNO₃ im Teflonzylinder, eine Stunde bei 125°C und sechs Stunden bei 180°C im Autoklaven

- Säure abrauchen (bei 125°C)
- 1 x 5 ml HF nachfüllen und bei 125°C abrauchen
- 2 x 3 ml HNO₃ nachfüllen und bei 125°C abrauchen
- 3 ml HNO₃ einfüllen und in 100 ml Meßkolben überführen
- auf 100 ml bei 20°C auffüllen und in eine Polyethylenflasche füllen.

Um die Reproduzierbarkeit der Aufschlüsse zu überprüfen, wurde jede fünfte Probe doppelt und die internationalen Gesteinsstandards TS, Be-N, Gs-N mit aufgeschlossen. Eine Einwaage von 0,5 g Probenmenge (SCHROLL 1975) führte bei der ersten Probenserie (43 Proben, einschließlich Doppelaufschlüsse, Gesteinsstandards und Blindproben) zur Bildung von unlöslichen Rückständen (wahrscheinlich SiO₂-Kolloide und Hydroxide). Diese Rückstände, an die sich Ionen anlagern, konnten durch die Verringerung der Einwaage auf 0,3 g vermieden werden.

4.2 Analytik

Die Messung der Hauptelemente (Aluminium, Eisen, Kalium, Natrium, Kalzium, Magnesium, Mangan, Titan) und Rubidium aus den wässrigen Aufschlüssen erfolgte mit Hilfe der Flammen-AAS. Das Element Phosphor wurde photometrisch bestimmt, die Siliziumgehalte durch Addition ermittelt. Die Analyse der Spurenelemente (mit Ausnahme von Rubidium) und zusätzlich des Hauptelements Titan erfolgte mit der ICP (Inducted Coupled Plasma) 5500 von Perkin Elmer in sequentieller Messung gegen einen Multielementstandard, dessen Eichung mit Einzelstandards jedes der zu messenden Elemente erfolgte. Die Geräteparameter können der Tabelle 5a entnommen werden. Die benutzten Wellenlängen (s. Tab. 5) wurden dem Linienkatalog von BOUMANS (1980) entnommen. Eine Orientierung bei der Auswahl lieferte ferner DOMINIK (1985: 100).

Element	ICP-AES (nm)	AAS (nm)
Al		309.3
Ba	455.5	
Be	313.04	
Ca		422.7
Co	228.62	
Cr	267.72	
Cu	324.75	
Fe		248.4
Ga	294.36	
K		766.5
Mg		285.2
Mn		279.5
Mo	202.03	
Na		589.0
Ni	231.64	
Rb		780.0
Sr	407.78	
Th	401.91	
Ti	334.94	363.5
U	385.90	
V	290.88	
Zn	213.86	
Zr	343.82	

Tab. 5 : Die verwendeten Wellenlängen zur Analyse.

Die Proben besitzen zwar alle Uran und Gallium in Konzentrationen über der Nachweisgrenze, aber eine Auswertung der Analysen konnte wegen zu hoher Standardabweichungen nicht erfolgen. Auch mehrere Messungen einer Probe erbrachten keine Verbesserung des Ergebnisses. Die Ursache hierfür konnte nicht ermittelt werden; mögliche Interferenzen, die bei der Eichung überprüft wurden, können jedoch ausgeschlossen werden.

Spektrometer
sequentielle Messung
IC-Plasma
HF-Leistung 1,2 kw
1,0 kw bei Gallium
0,8 kw bei Uran
Plasmagas Argon 12 l/min
Zerstäubergas 0,6 l/min
Zerstäubedruck 25 psi
Beobachtungshöhe 15 mm (bei Uran versuchsweise auch bei 13 und 17 mm, aber keine Verbesserung)

Tab. 5a : Geräteparameter.

Zur Arbeitsweise der ICP ist zu erwähnen, daß zweimal analysiert wird und der Mittelwert zur Berechnung der Gehalte dient. Es fanden nur Analysedaten Verwendung, deren Abweichung unter 3% lag. Bei Titan betragen die Abweichungen z. T auch 4%. Molybdän konnte in keiner Probe nachgewiesen werden. Da zumindest theoretisch die Möglichkeit der Molybdänhexafluoridbildung bestand, das einen Siedepunkt von 35° C besitzt, könnte das Molybdän abgeraucht worden sein. Da Molybdän eine starke Affinität zum Schwefel besitzt und deshalb in einem schwarzen Tonstein vorhanden sein müßte, wurden zur Kontrolle von fünf Tonsteinproben Pulvertabletten im Borsäurebett gepreßt und an der RFA gemessen. Die Molybdängehalte lagen jedoch auch hier unterhalb der Nachweisgrenze.

4.3 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung wurde mit SAS (Statistical Analysis System) in der Version 5.16 unter CMS durchgeführt. Die benutzten Verfahren werden jeweils kurz erläutert. Das Element Silizium wurde durch Addition der Oxide und des Glühverlustes zu 100 % ermittelt. Die Elemente Gallium, Beryllium und Uran fanden bei der statistischen Auswertung keine Verwendung, da sie nur in wenigen Proben bestimmt werden konnten. Im Falle des Berylliums ergaben sich gleiche Gehalte, die zudem dem Clarkewert entsprechen.

Der geochemische Datensatz, der der folgenden Analyse zugrunde liegt, ist im Anhang (Tab. 6-9) beigefügt, wobei auch die Lithologie und die Fundpunkte der Proben aufgelistet sind.

4.3.1 Deskriptive Statistik

4.3.1.1 Die „stem and leaf plots“

Diese Diagramme und die herauslesbaren statistischen Parameter sind bereits vorgestellt worden (Kap. 3.5.1.1). Die zur Untersuchung mit der multivariaten Statistik vorgesehenen Dateien werden auf die hierzu notwendige Normalverteilung geprüft. Für die auftretenden Ausreißer, die in den „box-plots“ mit einem * markiert sind, lassen sich keine hinreichenden Erklärungen finden. Die Ausreißer stammen entweder aus einer anderen Grundgesamtheit, oder es handelt sich um Meßfehler. Die Variablen beider Dateien (Datei Tonsteine, Abb. 70-90, Datei Sedimentgesteine Abb. 91-111 im Anhang) zeigen durchweg mehrgipfelige Verteilungskurven in Normalverteilung, wie die Normalwahrscheinlichkeitsdiagramme zeigen. Die Elemente Kupfer, Thorium, Zirkonium und Rubidium der Datei „Tonsteine“ und der Datei „Sedimentgesteine“ weichen leicht von einer Normalverteilung ab. Die Normalverteilungshypothese kann jedoch für kein Element sicher verworfen werden.

4.3.1.2 Überlegungen zur Herkunft der Spurenelemente

BRUMSACK (1980) bemerkte an kretazischen Schwarzschiefern des Atlantiks eine Übereinstimmung der Reihenfolge der Schwermetallanreicherungen relativ zum Durchschnittsgehalt der Tonsteine mit der Konzentration im Meerwasser. Damit war eine Herleitung der Elemente des Schwarzschiefers aus dem Meerwasser belegt.

Im vorliegenden Fall soll eine mögliche Herkunft des Spurenelementespektrums der schwarzen Tonsteine der Lokalitäten Grünenschlade und Siesel – für das Profil Vorth ist die Datendichte zu

gering – aus Flußwasser, Meerwasser und aus den begleitenden Vulkaniten überprüft werden. Die durchschnittlichen Elementkonzentrationen für sogenannte Durchschnittsgesteine, Flußwasser und Meerwasser sind in der Tab. 10 zusammengestellt. Die durchschnittlichen Elementgehalte der Tonsteine sind in den Tab. 11 und 12 aufgeführt. Aus diesen Tabellen können die Rangfolgen der Elemente ermittelt werden.

Element	Clarke-Wert (ppm)	Tonstein (ppm)	Flußwasser (ppb)	Meerwasser (ppb)
Si	305400	347000	13	2000000
Al	78300	80000	400	2
Fe	35400	47200	(0.67)	2
K	28200	26000	0.0023	360000
Mg	19800	15000	4120	1290000
Na	24500	9600	6300	10800000
Ti	4700	4600	3	1
Ca	28700	22100	13	1500000
P	810	700	20	80
Mn	690	850	7	0,2
Ba	590	580	1 0	2
Zn	57	110	20	4,9
Co	12	19	0.2	0,05
Ni	44	66	o 3	1,7
Cr	70	so	1	0,3
V	95	130	o,s	2,5
Cu	30	39	7	0,5
Th	11	12	0,1	0,001
U	3,5	3,7	0.04	3.2
Zr	160	160	–	0,03
Sr	290	300	–	–
Rb	120	140	1	120
Be	2	3	–	0.0056
Mo	1	26	1	10
As	1,7	13	2	3,7
Ga	17	19	0,09	0,03

Tab. 10 : Die durchschnittlichen Gehalte der Elemente in Flußwasser, Meerwasser (zusammengestellt nach GUNDLACH & KOCH (1981, Taf. 5.1)).

Element	Durchschnitt	grauer Tonst	schwarzer Tonst.
Si	32.69	32.06	32.38
Al	7.16	8.33	7.56
Fe	3.36	3.10	3.60
K	2.33	2.60	2.53
Mg	0.70	0.74	0.75
Na	0.40	0.29	0.35
Ti	0.27	0.24	0.23
Ca	0.13	0.16	0.15
P	0.068	0.043	0.052
Mn	0.038	0.017	0.019
Ba	673		
Zn	72		
Co	27		
Ni	21		
Cr	44		
V	32		
Cu	20		
Th	19		
Zr	208		
Sr	33		
Rb	150		

Tab. 11 : Durchschnittliche Elementgehalte der Tonsteine der Lokalität Grünenschlade.

Si	Al	Fe	K	Mg	Na	Ti	Ca	P	Mn	
32.77	6.74	4.71	2.60	0.54	0.84	0.42	0.061	0.062	0.035	
Ba	Zn	Co	Ni	Cr	V	Cu	Th	Zr	Sr	Rb
608	128	26	31	76	72	15	22	195	62	101

Tab. 12 : Durchschnittliche Elementgehalte der Tonsteine aus Siesel.

Lokalität Grünenschlade

Die Rangfolgen (vgl. Tab. 13) lassen keine größeren Gemeinsamkeiten erkennen, lediglich die Elemente Barium, Zirkonium und Zink zeigen eine Übereinstimmung der Tonsteine mit den Aschentuffen. Hieraus ergibt sich ein erster Hinweis, daß die Aschentuffe einen wesentlichen Beitrag zu den entsprechenden Elementgehalten in den Tonsteinen lieferten. Da keine der Rangfolgen eine vollständige Ähnlichkeit aufweist, überlagern sich mehrere Ursachen der Elementanreicherung.

Tonstein	Flußwasser	Meerwasser	Aschentuffe
Ba	Zn	Rb	Ba
Zr	Ba	Zn	Zr
Zn	Cu	V	Zn
Rb	Cr/Rb	Ba	Cr
Sr	V	Ni	V
Th	Ni	Cu	Sr
Co	Co	Cr	Co
Cr	Th	Co	Ni
Ni	Zr/Sr	Zr	Th
V/Cu		Th	Cu
		Sr	Rb

Tab. 13 : Die Rangfolge der Elemente der Lokalität Grünenschlade.

Lokalität Siesel

Die Rangfolgen der Lokalität Siesel erzeugen das gleiche Erscheinungsbild (vgl. Tab. 14); auch hier kann das Elementspektrum nicht aus einem Medium hergeleitet werden.

Tonstein	Flußwasser	Meerwasser	Pyroklastika
Ba	Zn	Rb	Ba
Zr	Ba	Zn	Zr
Rb	Cu	V	Zn
Sr	Cr/Rb	Ba	Rb
Zn	V	Ni	Cr
Co	Ni	Cu	V
Th	Co	Cr	Sr
Cr	Th	Co	Ni
Cu	Zr/Sr	Zr	Co
V		Th	Th
Ni		Sr	Cu

Tab. 14 : Rangfolgen der Elemente für die Lokalität Siesel.

Mit dieser einfachen Auflistung konnten komplexe Zusammenhänge für die Anreicherung der Elemente aufgezeigt werden, die sich jedoch mit Hilfe der multivariaten Statistik klären lassen, die eine simultane Betrachtung aller Proben und aller Elemente erlaubt.

4.3.1.3 Die Entwicklung der Elemente in den Profilen

Zur Abschätzung der Änderungen der Elementgehalte in den untersuchten Lokalitäten wurden Profillinien erstellt (Abb. 112, 113).

Lokalität Grünenschlade (Abb. 112)

Von den ca. 3,5 m mächtigen Tonsteinen gestatteteten, als eine Folge der Verwitterung, nur 1,8 m die Entnahme von geochemischen Proben.

Die lithologische Grenze zwischen den Aschentuffen und den Tonsteinen ist in den Profilinien in vielen Fällen nicht deutlich durch eine starke Änderung des Elementgehaltes erkennbar. Bei den Hauptelementen zeigen nur Eisen, Mangan, Titan und Natrium eine deutliche Veränderung. Auch die Spurenelementgehalte reagieren wenig empfindlich auf den lithologischen Wechsel. In dieser Elementgruppe ändern nur Barium und Zink sehr deutlich ihren Gehalt. Die Elemente Silizium, Aluminium, Eisen, Kalium, Titan, Kalzium, Phosphor, Barium, Zink, Kobalt, Nickel, Kupfer, Zirkonium und Rubidium verändern knapp unterhalb oder oberhalb des Übergangs den Gehalt, woraus eine gegenseitige Beeinflussung, etwa durch eine Aufarbeitung von Aschentuffen oder ein Eindringen von Ton in den Porenraum der Tuffe, geschlossen werden kann.

Lokalität Siesel (Abb. 113)

Die lithologische Grenze zwischen den schwarzen Tonsteinen und dem Konglomerat auf der einen und dem Aschentuff auf der anderen Seite ist durch eine starke Änderung der Gehalte fast aller Elemente belegt. Nur Eisen, Zink und Thorium bilden hier eine Ausnahme.

Die Entwicklung der Elementgehalte verläuft in dem Tonsteinhorizont in Siesel wesentlich gleichmäßiger als in dem der Lokalität Grünenschlade. Eine Ausnahme bilden nur der untere und der obere Abschnitt des Tonsteins, die sich durch einen lebhaften Wechsel auszeichnen. In dem unteren Abschnitt scheinen sich Aufarbeitungen der Aschentuffe widerzuspiegeln, während der obere Abschnitt bereits in den Tonsteinen eine Veränderung in der Sedimentation zu dem Konglomerat anzeigt.

Auf den geochemischen Profilen allein weiterreichende Deutungen aufzubauen, wie etwa mit Korrelationen, erscheint verfrüht. Der geochemische Datensatz muß zuvor noch einer statistischen Untersuchung unterzogen werden, um komplexe Zusammenhänge sichtbar zu machen.

4.3.2 Analytische Statistik

4.3.2.1 Korrelationsanalyse

Eine der wichtigsten Methoden der Statistik ist die Ermittlung von Korrelationen zwischen zwei oder mehreren Variablen. Die Korrelationsanalyse ermittelt das Vorhandensein und die Stärke von Abhängigkeiten, die in Korrelationskoeffizienten wiedergegeben werden. In der Statistik finden zwei Korrelationskoeffizienten Verwendung der:

- 1) SPEARMANsche Rangkorrelationskoeffizient (r), der Zusammenhänge zwischen nicht normalverteilten Reihen ermittelt (SACHS 1978: 309) und der
- 2) PEARSONsche Produkt – Moment – Korrelationskoeffizient (r_s), der ein Maß für die lineare Kovarianz von zwei Variablen darstellt (NORCLIFFE 1981: 157).

Nach ERHARD, FISCHBACH & WEILER (1985: 175) ist der PEARSONsche Koeffizient informativer als der Rangkorrelationskoeffizient, da r mit den tatsächlichen Werten x_j und y_j rechnet und nicht mit deren Rangziffer, wie r_s . Hierin liegt auch der Grund für dessen häufige Verwendung in der multivariaten Statistik und in dieser Arbeit.

Die Korrelationskoeffizienten r und r_s können Werte zwischen +1 und -1 annehmen. Je näher der Korrelationskoeffizient bei +1 liegt, desto größer ist die Korrelation; ein Wert von +/-1 würde eine völlige Übereinstimmung ergeben. Das Vorzeichen gibt eine positive oder negative Korrelation an, die sich im Koordinatensystem als positive oder negative Steigung bemerkbar macht.

Da in der Statistik mit Wahrscheinlichkeiten gearbeitet wird, muß auch der „Grad“ der Wahrscheinlichkeit – das Signifikanzniveau angegeben werden. Das SAS-Programm zur Ermittlung des Korrelationskoeffizienten errechnet das Signifikanzniveau gleich mit (s. Tab. 15, 16 im Anhang).

Es wurden nur Korrelationen verwendet, die ein Signifikanzniveau von mindestens 0,05 (das entspricht einer Wahrscheinlichkeit von 95%) besitzen.

Lokalität GRÜNENSCHLADE

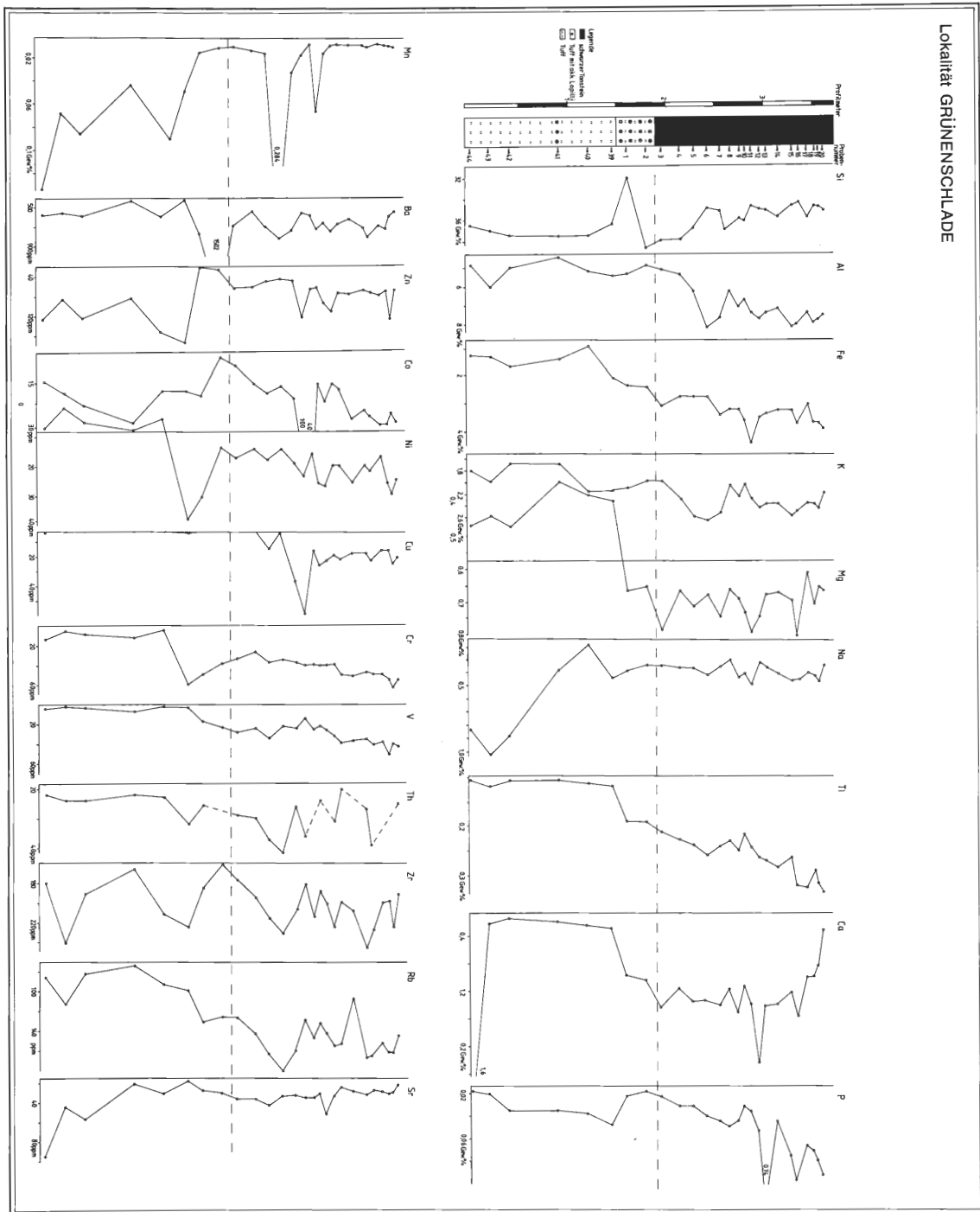
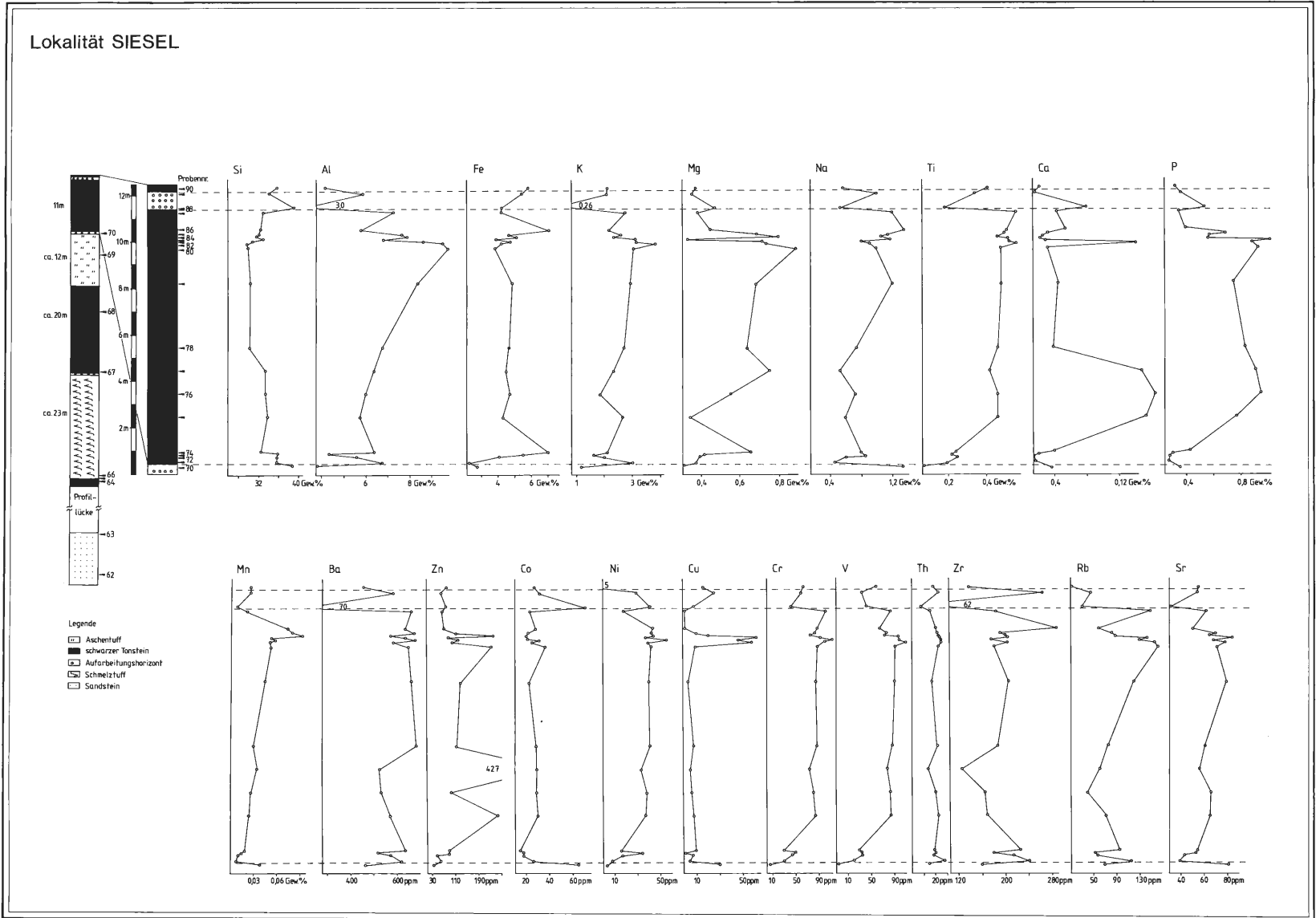


Abb. 112: Geochemische Profile der Lokalität Grünenschlade.

Abb. 113: Geochemische Profile der Lokalität Siesel.



Innerhalb geschlossener Prozentsysteme (die Analysenwerte der Oxide ergeben 100%) beruhen nach SKALA (1979) hohe Korrelationskoeffizienten zwischen Hauptelementen und mengenmäßig gering vertretenen Spurenelementen häufig auf Scheinkorrelationen. Die ermittelten Korrelationskoeffizienten entsprechen somit nicht den wahren Werten, die ein offenes System ergeben würde. Zur Verdeutlichung sei angenommen, ein Teil der Variablen nimmt zu, so muß der Rest zwangsläufig abnehmen, obwohl die Absolutbeträge anwachsen können. Die Folge ist eine vorgetäuschte negative Korrelation, während in Wirklichkeit eine positive vorläge. Dieses Problem betrifft in erster Linie Zwei- und Dreikomponentensysteme. Mit FLÜGEL & HÖTZEL (1976), DOMINIK (1985: 102) und NORDHAUS (1988: 30) kann jedoch belegt werden, daß der Korrelationskoeffizient geschlossener Zahlensysteme keinen großen Fehlern unterliegt, wenn die Variablenzahl größer als acht und die Einzelwerte unter 30% liegen. Der bearbeitete Datensatz zeigt, bis auf Silizium, keine Abweichungen von dieser Regel.

4.3.2.1.1 Auswertung der Korrelationsanalyse

Die Korrelationsanalysen, die für alle Sedimentgesteine (Tab. 15 im Anhang) und die Tonsteine (Tab. 16 im Anhang) durchgeführt wurden, erbrachten generell gleichartige Korrelationen, die sich lediglich in der Höhe der Korrelationskoeffizienten unterschieden oder durch das Fortfallen eines Elements bemerkbar machen. Von den zahlreichen Korrelationen wurden hier nur die aufgeführt, die für die weitere Auswertung von Bedeutung sind. In der Datei „Tonsteine“ liefern die Elemente Natrium, Titan, Barium, Chrom, Vanadium, Kupfer, Zirkonium und Rubidium gute positive Korrelationen auf hohem Signifikanzniveau mit Kalium und zum Teil auch mit Aluminium, wodurch sich ihre Adsorption an die Tonminerale zu erkennen gibt. Da ein Teil dieser Elemente und darüber hinaus auch Thorium und Strontium gute positive Korrelationen zu Zirkon, das den detritischen Eintrag repräsentiert, zeigt, ist ebenfalls eine Bindung an diese Fraktion aufgezeigt. Die starken Zusammenhänge von Phosphor und Kalzium zu Magnesium, Eisen und Mangan beweisen eine Anbindung an Apatit.

4.3.2.2 Die kanonische Diskriminanzanalyse

Die kanonische Diskriminanzanalyse ist eine Dimensions – Reduktionstechnik (SAS 1982: 369), bei der aus zwei oder mehreren Gruppen kanonische Variablen (= lineare Zusammenhänge von quantitativen Variablen) hergeleitet werden. Die kanonischen Variablen fassen die Zwischenklassen – Variationen so zusammen, wie die Grundkomponenten die gesamte Variation. Diese Variablen können in x-y -Diagrammen dargestellt werden, und sie geben Auskunft über die Zusammenhänge der jeweiligen Gruppen.

4.3.2.2.1 Auswertung der kanonischen Diskriminanzanalyse

Die kanonische Diskriminanzanalyse, die an den Sedimentgesteinen durchgeführt wurde (Abb. 114), zeigt von zwei Ausnahmen abgesehen, deutliche Unterschiede zwischen den Gesteinen der Profile. Die Gruppeneinteilung erfolgte nach Lokalitäten.

Mit Hilfe dieses statistischen Verfahrens lassen sich demnach die Gesteine der einzelnen Lokalitäten voneinander trennen. Bemerkenswerterweise werden auch die Gesteine der Lokalitäten Grünenschlade (1) und Vorth (2), bei denen es sich um den gleichen schwarzen Tonstein handelt, voneinander getrennt. Die Trennung darf jedoch nicht überbewertet werden, da aus Vorth nur wenige Proben zur Verfügung stehen. POTTER et al. (1963) konnten mit der Elementkombination Bor, Kobalt, Chrom, Kupfer, Gallium, Nickel, Blei, Vanadium und Zink an rezemtem und fossilem Probenmaterial, das eindeutig als marin oder nicht-marin ausgewiesen war, mit Hilfe der Diskriminanzanalyse faziell unbestimmte Proben zuweisen. Mit dem dieser Arbeit zugrunde liegenden Probenmaterial konnte, wie die Abb. 112 zeigt, eine Ähnlichkeit der schwarzen Tonsteine mit den Wurzelböden des Profils Berken nicht belegt werden, obwohl durch die palynologischen Untersuchungen die Ablagerung unter nicht marinen Bedingungen, zumindest für Grünenschlade und damit auch Vorth, belegt ist. Die Diskrepanz zwischen dem Ergebnis und dem Erwartungswert läßt sich auf zwei mögliche Ursachen zurückführen:

- 1) die Mobilisierung und/oder die Ausfällung von Schwermetallen durch sich zersetzende pflanzliche Substanzen (Wurzeln!).

- 2) unterschiedliche vulkanische Beeinflussung.

Dem ersten Punkt, der Mobilisation und der Ausfällung von Schwermetallen durch die Zerstörung der pflanzlichen Substanz, kommt wohl eine entscheidende Bedeutung zu. Die Zersetzung

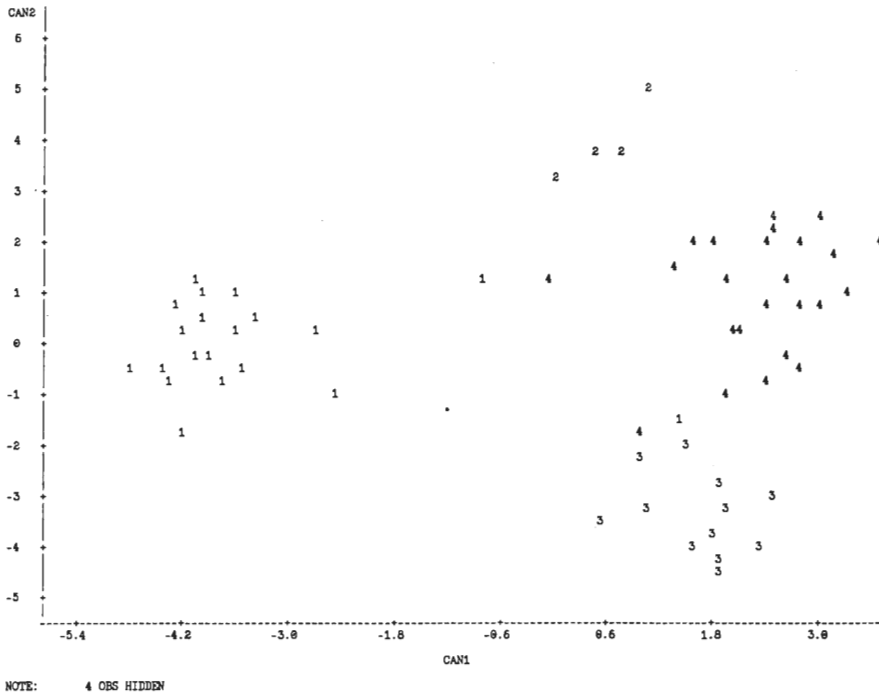


Abb. 114 : Kanonische Diskriminanzanalyse der Sedimentgesteine. Dargestellt sind die beiden ersten kanonischen Koeffizienten, die eine klare Trennung nach Lokalitäten anzeigen. (1) Grünenschlade, (2) Vorth, (3) Berken, (4) Siesel.

führt eine Änderung des Redoxpotentials herbei, die wiederum eine Anreicherung von Schwermetallen bewirkt. Die vulkanische Beeinflussung ist ebenfalls ein sehr wichtiges Argument, denn in den Proben aus Berken konnte weder im Handstück noch im Dünnschliff keinerlei vulkanischer

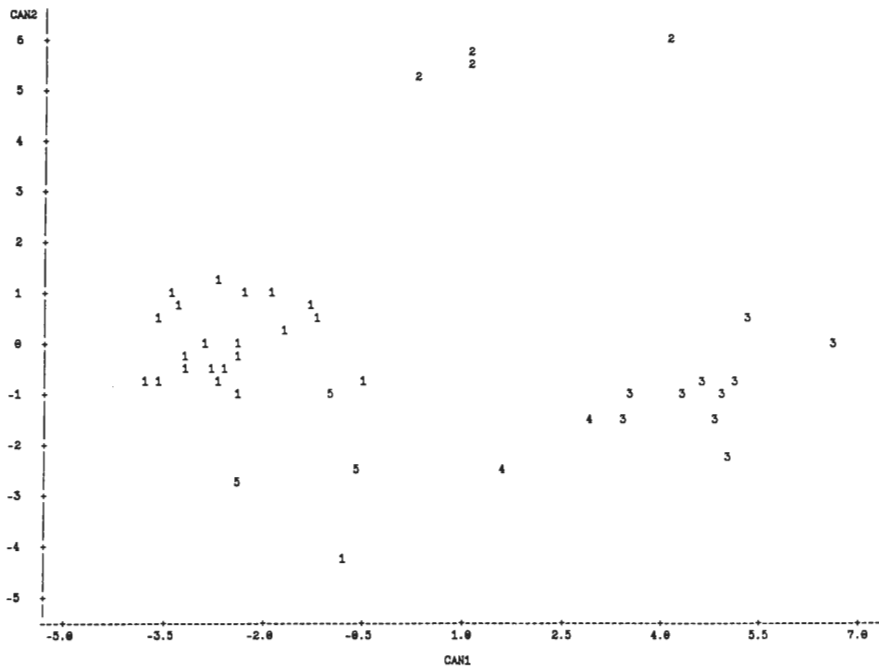


Abb. 115 : Die ersten beiden kanonischen Koeffizienten der Proben der Lokalitäten Grünenschlade und Vorth. (1) Tonsteine (Grünenschlade), (2) Tonsteine (Vorth), (3) Aschentuff (Grünenschlade), (4) Aschentuff (Vorth), (5) Konkretionen (Grünenschlade).

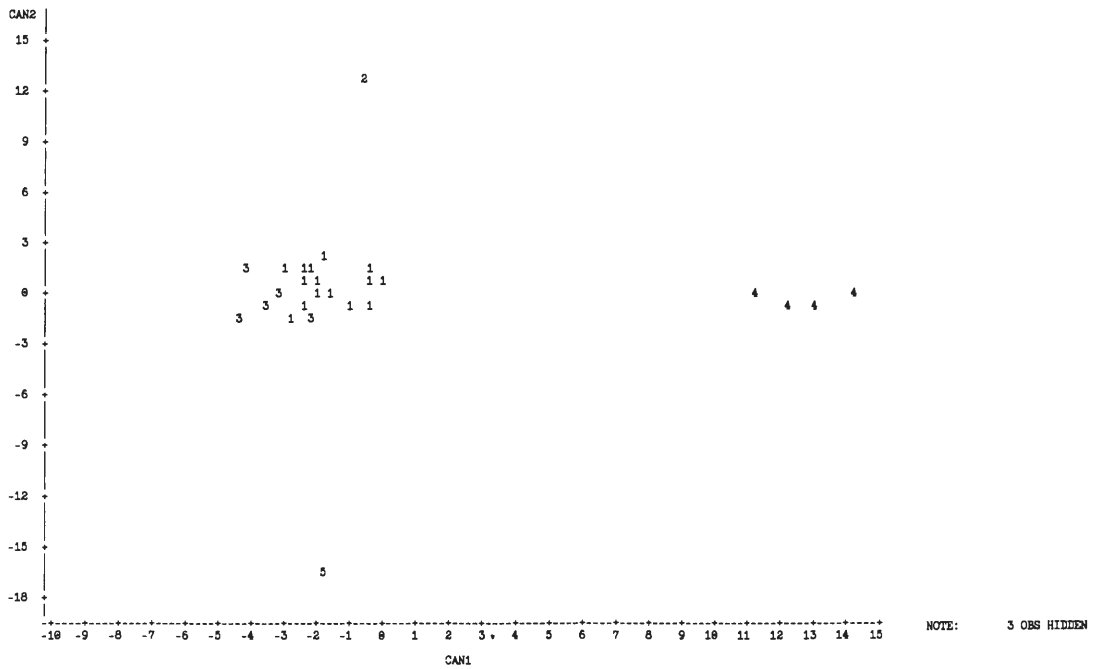


Abb. 116: Kanonische Diskriminanzanalyse der Proben Siesel. (1) Tonstein, (2) Sandstein, (3) siltiger Tonstein, (4) Schmelz- und Aschentuffe, (5) Konglomerat.

Eintrag (Scherben, Bomben, eckige Feldspäte) nachgewiesen werden, wohl aber in den Proben aus Grünenschlade.

Bei der Betrachtung der Gesteine aus Grünenschlade und Vorth (Abb. 115), lassen sich die Aschentuffe beider Lokalisationen nicht voneinander trennen, deutlich dagegen die Tonsteine. Lediglich die Konkretionen (5) aus Grünenschlade nehmen eine Sonderstellung ein, was die Befunde von Kap. 2.1 untermauert.

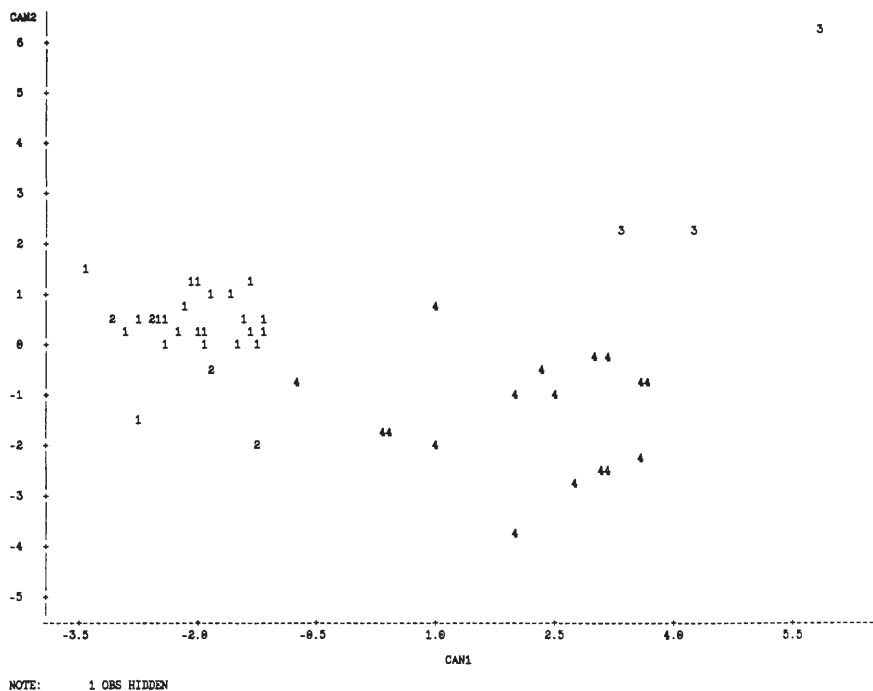


Abb. 117 : Kanonische Diskriminanzanalyse der Tonsteine unter Verwendung der Elemente, die den Faktoren 1 und 3 zugeordnet sind. (1) Grünenschlade, (2) Vorth, (3) Berken, (4) Siesel.

Die Untersuchung des Profils Siesel (Abb. 116) ergab eine sehr deutliche Trennung der Gesteinsgruppen Tonstein und siltiger Tonstein von den Gruppen Siltstein, Konglomerat und Tuff.

Die Tonsteine aller Lokalitäten wurden unter Berücksichtigung der Eh-ph-Bedingungen und den vulkanischen Eintrag widerspiegelnden chemischen Elementen ausgedrückt durch die Faktoren 1 und 3 (vgl. Kap. 4.3.2.3.1), einer kanonischen Diskriminanzanalyse (Abb. 117) unterzogen. Die Tonsteine aus Vorth und Grünenschlade werden zu einer Gruppe zusammengefaßt, die sich deutlich von den Gesteinen aus Berken und Siesel trennen lassen. Lediglich zwei Proben aus Siesel und eine aus Vorth bilden eine Ausnahme. Als Grund für dieses Verhalten wird der vulkanische Eintrag verantwortlich gemacht. Auf diese Problematik wird in Kap. 4.3.2.3.1 und Kap. 6 noch einmal eingegangen.

4.3.2.3 Die Faktorenanalyse

Die Faktorenanalyse führt nach FAHRMEIR & HAMERLE (1984: 16) eine Menge von beobachteten Variablen auf ihre Hauptursachen zurück. Das Ziel ist hierbei eine Verdichtung des Datenmaterials auf wenige wichtige Größen. Dabei werden hypothetische Variablen (die Faktoren) gesucht, aus denen die vorliegenden Meßgrößen möglichst gut hergeleitet werden können.

Nach SAS (1982: 309-331) geschieht dies bei der Faktorenanalyse über Ähnlichkeitsmatrizen, unter Verwendung von Ähnlichkeitskoeffizienten, wie z. B. dem Korrelationskoeffizienten. Die Spannweite dieser Koeffizienten reicht von -1 bis +1.

Die Koeffizienten einer Variablen werden als Vektoren auf Faktorachsen mit Einheitslängen projiziert. Der Wert einer Variablen auf der Faktorachse entspricht der Faktorenladung. Von den sehr vielfältigen Möglichkeiten können jedoch nicht alle Beziehungen wiedergegeben werden. Die Wiedergabe richtet sich nach der Kommunalität (= Summe der quadrierten Faktorenladungen). Durch diese Vorgehensweise wird eine Datentransformation erreicht, die zu unkorrelierten Faktoren führt, während die Variablen vielfach korreliert sind.

Um die Interpretierbarkeit der Faktoren zu verbessern, werden sie rotiert, in unserem Fall nach der varimax-Methode. Hierbei werden (FAHRMEIR & HAMERLE 1984: 613) solche Faktoren hergestellt, die in einigen Variablen hoch und in den restlichen möglichst niedrig geladen sind. Die Varianz der Ladungsquadrate soll dabei maximiert werden, worauf der Name hinweist. Die Faktorenachsen stehen auch nach der Rotation senkrecht aufeinander, da es sich um eine orthogonale Drehung handelt.

Aus dem Programmpaket des SAS wurde die Hauptkomponentenanalyse ausgewählt und durchgeführt. Die Hauptkomponentenanalyse beabsichtigt, mit möglichst wenigen Faktoren die Varianz der ursprünglichen Variablen zu erklären.

Die Zahl der Faktoren, die in die Interpretation mit einbezogen werden, ermittelt sich wie folgt:

1) der Eigenwert muß über 1 liegen, d. h. es handelt sich um die Faktoren, die die Varianz 1 erklären (FAHRMEIR & HAMERLE 1984: 603), 2.) es werden so viele Faktoren extrahiert, bis ein bestimmter Anteil der Gesamtvarianz erklärt ist. Die Anzahl der Faktoren wird in unseren Fällen von der Software (Screetest, FAHRMEIR & HAMERLE 1984: 603) festgelegt.

Das Ergebnis wird in einem Eigenwertdiagramm, in dem die ermittelten Eigenwerte dargestellt werden, abgebildet. Die Eigenwerte voneinander abhängiger Variablen zeigen in dem Diagramm einen typischen Knick, während unabhängige Variablen aus empirischen Korrelationsmatrizen einen exponentiellen Verlauf aufweisen.

Der erwähnte Knick fällt sehr häufig mit dem Eigenwert 1 zusammen, so daß dieser Wert als Untergrenze für sinnvoll extrahierbare Faktoren gilt.

Über die Interpretation der Faktoren berichten FAHRMEIR & HAMERLE (1984: 616–617). Danach sollen die Variablen, die einem Faktor zugeschlagen werden, eine möglichst hohe Ladung ($>0,5$) aufweisen und möglichst dicht an der jeweiligen Faktorenachse liegen, denn eine Variable, die z. B. genau auf der Winkelhalbierenden zweier Faktorenachsen läge, wird von beiden Faktoren beeinflusst.

An dem zur Verfügung stehenden Datenmaterial wurde die Faktorenanalyse an den Dateien „Sedimentgesteine“ und „Tonsteine“ zur Anwendung gebracht. Nach FLURY & RIEDWYE (1983) muß eine Stichprobe mindestens das drei- bis vierfache der Variablenzahl betragen, um eine Minimierung der Zufallskomponente zu gewährleisten. Die Keratophyrtuffe, die Siltsteine, die Sandsteine und Siltschiefer, sowie die Proben der einzelnen Lokalitäten jeweils einer Faktorenanalyse zu unterziehen, erschien wegen der geringen Probenzahl deshalb als nicht durchführbar. Die Tuffe und die Siltsteine, Sandsteine und Siltschiefer zeigten bei der dennoch durchgeführten Analyse eine Singularität der Dateien.

4.3.2.3.1 Auswertung der Faktorenanalyse

Die Faktorenanalysen für die Dateien „Sedimentgesteine“ und „Tonsteine“ erbrachten fünf bzw. vier Faktoren. Die Faktorenräume der Dateien liegen im Anhang (Datei Tonsteine Abb. 118-123, Datei Sedimentgesteine Abb. 124-133) vor. Die Faktoren der Datei „Tonsteine“, die in Tab. 17 aufgelistet sind, zeigen bis auf den ersten Faktor keine wesentlichen Unterschiede zwischen dem rotierten und unrotierten Zustand. Die Differenzen liegen lediglich in der Höhe der Faktorenladungen und der Rangfolge. Besonders erwähnenswert ist, daß nur zwei Variablen (Aluminium, Mangan) auf mehrere Faktoren hoch laden, ein Umstand, der zum einen die Interpretation einiger Faktoren erleichtert und zum anderen die Verknüpfung dieser Elemente mit verschiedenen Ursachen anzeigt. Die Auswertung der Faktoren kann deshalb sinnvoll nur unter Berücksichtigung der Korrelationsanalyse erfolgen.

unrotiert / rotiert

Faktor 1 : Cr, V, Ti, Sr, Na, Ni, Al, K / V, Cr, Na, Sr, Ti, Ni
Faktor 2 : P, Ca, Mg, Fe / Ca, P, Mg, Mn
Faktor 3 : Mn, Th, Ba, Zr / Ba, Zr, Rb, Th
Faktor 4 : Al, Cu / Al, Cu

Tab. 17: Die Faktoren der Datei Tonsteine.

Der unrotierte erste Faktor beinhaltet neben den nur sehr schwach ladenden Variablen Aluminium und Kalium die typischen adsorptiv an die Tonmineralien (Illit und Chlorit, vgl. Kap. 2.4) gebundenen Elemente, Strontium ausgenommen. Dieser Faktor, in dem sich, durch Vanadium und Chrom, das Redoxpotential (vgl. Kap. 4.6) des Sedimentes zeigt, wäre demnach als Redoxfaktor zu bezeichnen. Da jedoch zwischen dem rotierten und unrotierten ersten Faktor eine entscheidende Diskrepanz besteht, denn Aluminium und Kalium fallen nach der Rotation heraus, gibt diese Interpretation den wahren Sachverhalt nur bedingt wieder, zumal auch Strontium keine Korrelation zu den tonmineraltypischen Elementen zeigt. Zur Lösung des Problems wird das Element Natrium herangezogen, das sich durch seine sehr hohe Korrelation (vgl. Korrelationsanalyse der Tonsteine, Tab. 16, Anhang) mit Zirkonium auszeichnet, womit eine Bindung an die detritische Phase belegt ist. Einen wichtigen Beitrag zu dieser Interpretation liefert das Vorhandensein von eckigen Feldspäten, die als Natrium und Strontiumträger in Frage kommen könnten.

Über den detritischen Eintrag ist eine Verbindung zum dritten Faktor, auf den Zirkonium, Rubidium, Barium und Thorium laden, hergestellt. Die hohe Ladung des Bariums auf den detritischen Faktor und die fehlende hohe positive Korrelation zu den Elementen Kalium und Aluminium, die die Adsorption an die Tonminerale repräsentieren würde, verdeutlicht auch in diesem Fall eine Überlagerung von mehreren Ursachen.

Da die analysierten Tonsteine aus ehemaligen Vulkangebieten stammen, bot sich ein vulkanischer Einfluß, für den auch die fleckenartig auftretenden eckigen Feldspäte sprechen, als Grund für das anormale Verhalten der Elementzusammensetzung in den Faktoren an. Nach ZIMMERLE & GAIDA (1980: 254) zeichnen sich Tuffe durch erhöhte Gehalte an Barium, Zirkon, Thorium, Strontium, Rubidium, Titan, Niob, Chrom, Vanadium, Nickel und Bor gegenüber Sedimenten aus. Auf die Faktoren 1 und 3 laden genau diese Elemente, für Bor und Niob lassen sich keine Aussagen treffen, da sie nicht gemessen wurden. Die beiden Faktoren gehen damit auf drei Ursachen zurück: der Faktor 1 auf das Redoxpotential, der Faktor 3 auf die detritische Phase und beide werden von dem vulkanischen Eintrag beeinflusst. Hier muß darauf hingewiesen werden, daß die Tonsteine i.d.R. nur geringe Schwermineralgehalte besitzen. Der größere Anteil wird deshalb auf die eingebrachten Aschentuffe zurückgehen.

Die Verlagerung der genannten Ursachen auf zwei Faktoren erklärt sich durch das Verhalten der Faktorenanalyse bei verschiedenen Populationen mit der Bildung von mehreren Faktoren zu

reagieren, obwohl sie auf die gleiche Ursache zurückzuführen sind. Der Grund hierfür liegt wohl zum einen in den sehr unterschiedlichen Zirkongehalten der verschiedenen Tufflagen und zum anderen in der sedimentären Zufuhr von Zirkonen. Deshalb liegen keine guten Korrelationen zu den anderen Elementen vulkanischen Ursprungs vor, weshalb zwei Faktoren gebildet werden.

Die Interpretation des zweiten Faktors gestaltet sich etwas schwierig, da hier neben den für Apatit typischen Elementen Phosphor und Kalzium auch Magnesium und Mangan hoch laden. Eine Erklärung liefert das geochemische Verhalten dieser Elemente in den Sedimenten. Magnesium kann durch organische Substanzen gebunden werden. Ein Einbau in Tonminerale ist mit der Korrelationsanalyse nicht zu belegen. Die hohe Ladung des Mangans erklärt sich durch die Manganausfällung bei sehr geringen Eh-ph-Schwankungen und die Manganoxide können Phosphor adsorptiv binden. Diese Elementkombination kann also auf biogene Ursachen zurückgeführt werden und ist deshalb als Faktor des biogenen Detritus zu bezeichnen, wobei neben zerriebenen Skelettelementen auch Koproolithen und eine Bakterientätigkeit beteiligt sein können.

Fraglich ist die Zuordnung des vierten Faktors, mit Aluminium und Kupfer. Die Darstellung in einem eigenen Faktor könnte, obwohl nach der Korrelationsanalyse auch hohe Affinitäten des Kupfers zu Kalium und den tonmineralspezifischen Elementen vorliegen, auf den sedimentären Eintrag, adsorptiv an die Tonminerale gebunden, hinweisen. Das Verhalten des Kupfers könnte darauf hinweisen, daß dieses Element nicht vulkanischer Herkunft ist.

Die Interpretation der Faktoren dieser Datei für einen Lithotyp zeigt schon die Schwierigkeiten auf, die durch Überlagerung mehrerer Ursachen hervorgerufen werden. Eine Datei aus mehreren Gesteinstypen wird noch durch weitere Ursachen beeinflusst, die sich dann in nicht mehr sinnvoll interpretierbaren Faktoren äußern. Solche Faktoren liefern nur noch schwer deutbare Ergebnisse, da nur das geochemische Verhalten der in einem Faktor zusammengefaßten Elemente als „Interpretation“ herangezogen werden kann, ohne daß eine direkte Ursache genannt werden könnte.

Die Interpretation der Faktoren der Datei „Sedimentgesteine“ gestaltet sich deshalb wesentlich schwieriger als die der Datei „Tonsteine“. Der Unterschied ist in der Heterogenität begründet, denn die Datei enthält Tonsteine, siltige Tonsteine, stark siltige Tonsteine, Siltsteine und Sandsteine.

unrotiert / rotiert

Faktor 1 : V, Sr, Cr, Ni, Ti, Mg, Fe, Al, (-)Si / Cr, V, Ti, Ni, Sr

Faktor 2 : Rb, Ba, Zr, (-)Ca, P / Ca, P, Mg, Mn

Faktor 3 : Ba / Zr, Rb, Ba

Faktor 4 : Th / Zn, Na

Faktor 5 : Zn, Na / Th

Tab. 18 : Die Faktoren der Datei Sedimentgesteine.

Die Tab. 18, in der die Faktoren der Datei zusammengestellt sind, läßt die starken Unterschiede zwischen den rotierten und unrotierten Faktoren erkennen. Es laden mehrere Elemente auf verschiedene Faktoren.

Der unrotierte erste Faktor zeigt starke Anklänge an den ersten Faktor der Datei „Tonsteine“ und ist wie dieser als Redoxfaktor zu bezeichnen. Nach der Rotation fallen die Elemente, welche die Bindung an die Tonminerale anzeigen, heraus, woraus geschlossen werden kann, daß sich auch hier eine zweite Ursache bemerkbar macht. Da dem rotierten Faktor das Element Natrium und die hohen Korrelationen zu den Elementen, die für den vulkanischen Eintrag sprechen, fehlen, kann diese Verbindung nur mit Strontium hergestellt werden. Eine Erklärung für das Verhalten des Natriums ist wohl in dem Auftreten von Feldspäten in den stark siltigen Tonsteinen, den Silt- und Sandsteinen zu suchen, die eine hohe Korrelation und eine hohe Ladung auf den Faktor des vulkanischen Einflusses verhinderten. An diesem Beispiel zeigen sich deutlich die enormen Schwierigkeiten, die bei der gemeinsamen Faktorenanalyse von verschiedensten Gesteinstypen durch eine Vielzahl von sich überlagernden Ursachen auftreten. Aus diesem Grunde wurde auch auf eine Analyse der Gesamtdatei, bei der sich Aschentuffe und Schmelztuffe noch hinzugesellen würden, unterlassen.

Der zweite Faktor ist mit dem der Datei „Tonsteine“ identisch und auch entsprechend zu interpretieren.

Der vierte Faktor, auf den Natrium und Zink hoch laden, entzieht sich einer Interpretation.

Thorium hat durch seine hohe Ladung auf einen Faktor die Anbindung an die vulkanische Phase verloren. Als eine mögliche Ursache können die in den Silten und Sanden auftretenden Zirkone angesehen werden, die nicht vulkanischer Herkunft sind, und sich durch geringere Thoriumgehalte auszeichnen.

4.3.2.4 Die Clusteranalyse

Die Clusteranalyse ist, wie die Diskriminanzanalyse, eine Methode der Klassenbildung. Im Gegensatz zur Diskriminanzanalyse werden jedoch keine Klassen vorgegeben.

Es wird eine Einteilung einer Objektmenge (FAHRMEIR & HAMERLE 1984: 371) in kleinere Teilmengen vorgenommen, wobei die Objekte, die derselben Klasse zugeordnet werden, möglichst gleich sein sollten. Dagegen sollen sich Objekte verschiedener Klassen stark voneinander unterscheiden. Dabei wird für jede Klasse eine Reihe von Merkmalen erhoben, die in sich möglichst homogen und voneinander zu unterscheiden sind. Um eine Objektmenge in mehrere Klassen zerfallen zu lassen, sind mehrere Algorithmen möglich. Die vorliegenden Clusteranalysen wurden mit dem Ward-Algorithmus erstellt, bei dem ein vorgegebenes Heterogenitätsmaß – die Euklidische Distanz (= der Unterschied zwischen den Fällen und dem Mittelpunkt der Klassen) zu minimieren ist.

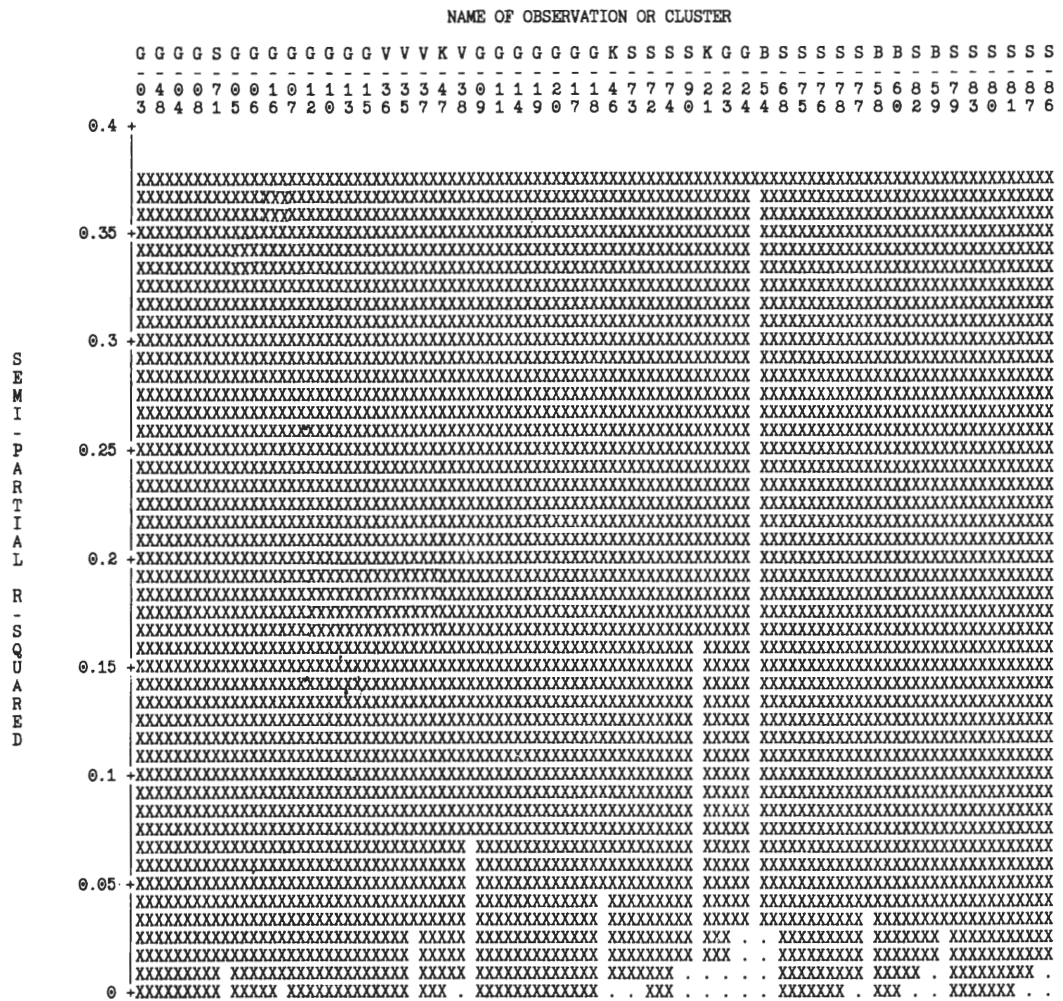


Abb. 134 : Clusteranalyse der Datei Tonsteine.

4.3.2.4.1 Auswertung der Clusteranalyse

Die Clusteranalyse der Tonsteine (Abb. 134), die mit den Elementen der Faktoren 1 und 3 als Variablen durchgeführt wurde, trennt die Proben nicht mehr deutlich nach Lokalitäten. Dieses Ergebnis deutete sich bei der kanonischen Diskriminanzanalyse mit den das Redoxpotential und den pyroklastischen Eintrag widerspiegelnden Elementen nicht an. Die Ursache für die Abweichungen liegt in den unterschiedlichen Verfahren (vgl. Kap. 4.3.2.1.1 und Kap. 4.3.2.4).

Auf dem Distanzniveau 0.16 liefert die Clusteranalyse drei Cluster. Cluster 1 beinhaltet, neben den Proben aus Grünenschlade und Vorth, drei Tonsteine aus Siesel (Nr. 72, 73, 74) und eine Konkretion. Die Entnahmepunkte der drei Proben aus Siesel befinden sich im unteren Abschnitt des Tonsteinhorizontes und weisen noch einen pyroklastischen Einfluß auf (vgl. Kap. 4.3.1.3). Das erste Cluster setzt sich aus stärker vulkanisch beeinflussten Proben zusammen.

Cluster 2 faßt die beiden Proben, die von einer grauen und einer schwarzen Lage stammen (vgl. Kap. 2.1), mit einer Konkretion zusammen und gibt damit die „normale“ Sedimentation wider. Ein geringer pyroklastischer Eintrag muß auch hier angenommen werden, da erhöhte Thoriumwerte vorliegen.

Cluster 3 wird von den Proben aus Berken und dem größten Teil der Sieseler Tonsteine gebildet. Cluster 3 setzt sich aus weniger pyroklastisch beeinflussten Proben zusammen. Die Thoriumgehalte weisen auch hier auf einen Eintrag hin.

Der stark schwankende Chemismus der Konkretionen zeigt sich in der Zuweisung auf verschiedene Cluster. Die Proben der faunenführenden Abschnitte des Profils Grünenschlade trennt die Clusteranalyse auch bei einem niedrigeren Distanzniveau nicht von den Proben der fossilfreien Bereiche. Als möglicher Grund für dieses Verhalten wird der starken Schwankungen unterworfenen Faktor 3 verantwortlich gemacht.

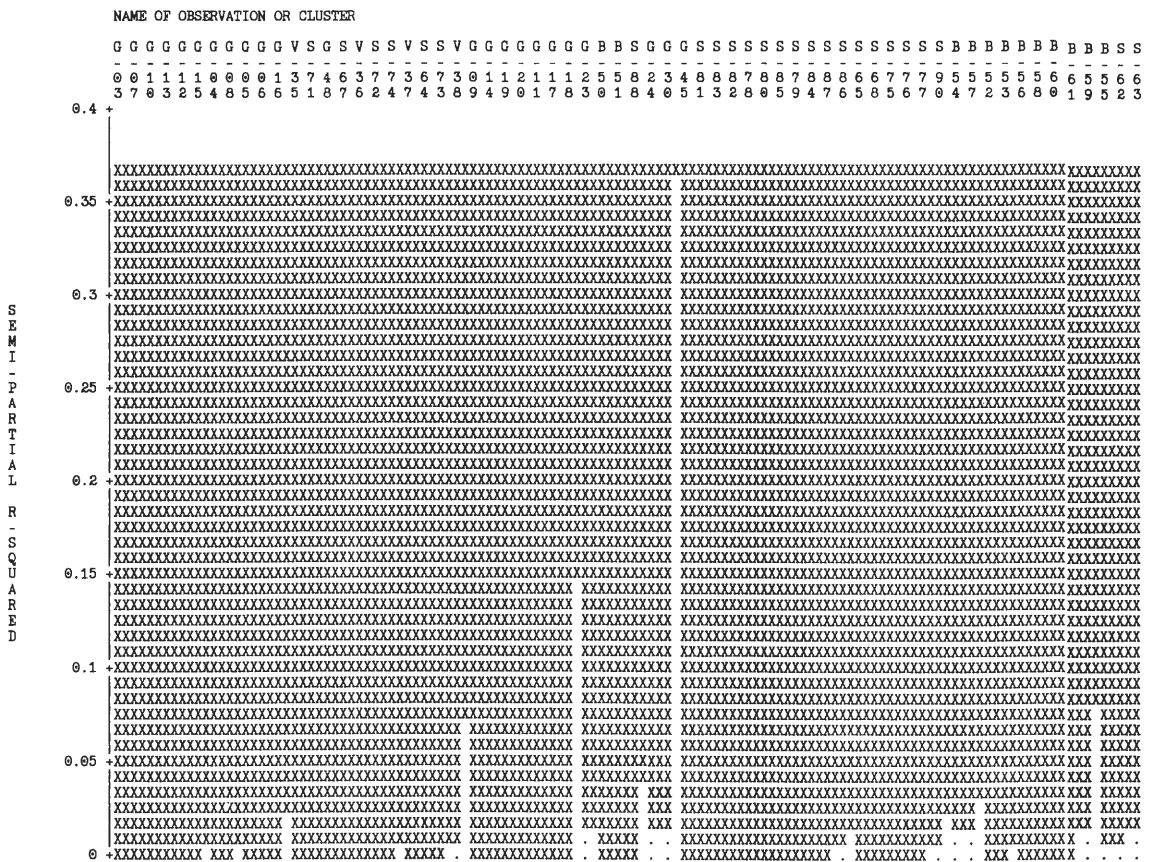


Abb. 135 : Clusteranalyse der Datei Sedimentgesteine.

Das diffuse und nur schwer interpretierbare Bild der Faktorenanalyse für die Datei Sedimentgesteine liegt auch bei der Clusteranalyse (Abb. 135) vor, die keine sinnvolle Interpretation gestattet. Die Ursache wurde bereits in Kap. „Auswertung der Faktorenanalyse“ erläutert.

4.4 Bemerkungen zur geochemischen Faziesdiagnose

Nachdem mit Hilfe der multivariaten Statistik der vulkanische Einfluß auf die untersuchten Sedimente nachgewiesen werden konnte, der in dem Faktor 1 die über das Redoxpotential Auskunft gebenden Elemente überlagert, blieb die Frage nach den Milieubedingungen am Sedimentationsort bisher offen.

Das Verfahren der geochemischen Faziesdiagnose beruht auf der Fähigkeit der Tonminerale, unter subaquatischen Bedingungen Spurenelemente adsorptiv zu binden bzw., in ihr Kristallgitter einzubauen. Dieser Vorgang wird vom Angebot an Spurenelementen des Sedimentationsraumes – in dem die Minerale zur Ablagerung kommen oder sich neu bilden – gesteuert. Aufgrund dieser Fähigkeit sind Tone und Tonsteine sehr gut zur Identifizierung des Milieus eines Ablagerungsraumes geeignet. Für die Fragestellung dieser Arbeit wäre die Bestimmung der Paläosalinität und die Kenntnis der Lage der $E_h = 0$ – Potentialfläche von besonderer Bedeutung.

Die Identifizierung der Paläosalinität nach DEGENS et al. (1957 und 1958) beruht auf einen höheren Borgehalt des Meerwassers gegenüber dem Süßwasser.

Die erfolgreiche Anwendung dieses Verfahrens wurde gerade in jüngster Zeit (z. B. DOMINIK 1985) unter Beweis gestellt. Vor einem generell kritiklosen Einsatz muß jedoch gewarnt werden. So zeigt es sich, wie im Fall der bearbeiteten Tonsteine, daß Tuffe zu einer Boranreicherung führen können, was eine Sedimentation unter marinen Bedingungen vortäuschen würde. Diese Fehlinterpretation ist auch durch eine Abtrennung der 2μ -Fraktion nicht zu verhindern, da die ursprünglichen Aschen starke diagenetische Veränderungen erfahren haben. Damit ist eine zweite Fehlermöglichkeit angesprochen, denn TRUSCOT & SHAW (1983: 708) konnten in diagenetisch veränderten Sedimenten eine Borverarmung feststellen. Ein marines Sediment würde sich demnach als Süßwasserablagerung präsentieren. Da beide Einflüsse – vulkanischer Eintrag und Diagenese – bei den untersuchten Sedimenten nachgewiesen sind, erscheint eine auf Bor beruhende Faziesdiagnose von vornherein als wenig aussichtsreich.

Die Aussage über die Paläosalinität beruht in dieser Arbeit, aus den genannten Gründen, allein auf den palynologischen Ergebnissen.

Die wichtige Frage nach dem Redoxpotential kann trotz der genannten Einflüsse und obwohl das Gesamtgestein aufgeschlossen wurde, beantwortet werden. Nach KREJCI-GRAF (1966: 34) ist der Sauerstoffgehalt des direkt über dem Boden stehenden Wassers für den Sedimenttyp verantwortlich. Die unterschiedlichen E_h - pH -Bedingungen bewirken eine Anreicherung von bestimmten Schwermetallen. Nach GOLDSCHMIDT (1948), BORCHERT & KREJCI-GRAF (1959) und KREJCI-GRAF (1966, 1975) sind dies besonders die Elemente Vanadium und Chrom, die in Form des V/Cr-Verhältnisses Aussagen über das Redoxpotential erlauben. Nach den genannten Autoren liegt bei einem V/Cr-Verhältnis kleiner als 1 ein mineralisches Sediment vor. Ergibt der Quotient einen Wert um 1, handelt es sich um eine Gytija und bei einem Verhältnis größer als 2 liegt ein Sapropel vor (vgl. Tab. 19).

YIELD OF TRACE ELEMENTS IN O_2 -POOR AND O_2 -FREE SEDIMENTS

<i>Sediment</i>	O_2	<i>Leading elements</i>	<i>Shale</i>
Gyttja	poor	Cr, Co, J (marine), Mn-oxide, V/Cr = 1	oil shale
Transition zone	—	P, Th, U, Th/U < 2, S, Se, Br, J	
Sapropel	free	Cu, Ni, V, Mo, (Pb, Zn), V/Cr = 2-10	oil and cupric shale

Tab. 19 : Zusammenstellung der Spurenelemente in Sedimenten unterschiedlichen Sauerstoffgehaltes (nach ERNST 1970: Tab. 14).

Die Begriffe Gyttja und Sapropel werden streng nach WASMUND (1930) verwendet, wonach die Eh = O-Potentialfläche (d. h. die Grenze H_2S-O_2) sich im Sediment befindet und bei einem Sapropel in der Wassersäule. Wie die Tab. 9 des Anhangs zeigt, liegen die V/Cr Quotienten der Tonsteine etwa bei 1. Damit sind die Gytjtbedingungen, infolge der Tuffe, die diese Elemente ebenfalls eingebracht haben könnten, jedoch noch nicht hinreichend belegt. Als weitere Hinweise dienen die absoluten Gehalte an Vanadium und Molybdän. Für Sapropel berichten VINE & TOURTELOT (1970) von 700 ppm Vanadium und SCHMID (1980) sogar von 3123 ppm. Solche Werte werden trotz des vulkanischen Eintrags bei weitem nicht erreicht. Ein Indiz liefert ferner die Tab. 19, in der die für den jeweiligen Sedimenttyp charakteristischen Elemente aufgelistet sind. Es fällt auf, daß in einer Gytjtja – im Gegensatz zu den Sapropelen – kein Molybdän enthalten ist. Die Gehalte dieses Elementes liegen in den bearbeiteten Proben unterhalb der Nachweisgrenze.

Mit diesen beiden Indizien, den im Vergleich zu den Sapropelen geringen absoluten Vanadium-Werten und den fehlenden Molybdängehalten, können die Tonsteine als ehemalige Gytjtjen angesehen werden. Dieses Ergebnis deckt sich mit den Angaben ZIEGLERs (1970: 44), der die Tonsteine des K_3 -Komplexes als Bildungen eines gut durchlüfteten Gewässers annahm. Damit ist der Nachweis erbracht, daß die Fauna in der Wassersäule und am Boden leben konnte.

5.0 Die Einflüsse der Faktoren auf die Fauna

Im Kap. 3.6 wurde ausgeführt, daß die Fauna des Profils Grünenschlade in Schüben auftritt, wobei die verschiedenen Altersstadien und die große Anzahl für ein plötzliches Massensterben sprechen. In dem Tonsteinhorizont treten die faunenführenden Abschnitte dreimal auf. Das jüngste Vorkommen befindet sich bereits in der Verwitterungszone, so daß hier keine geochemischen Daten gewonnen werden konnten.

Hier sollen nun die Mechanismen aufgezeigt werden, die das Absterben der Fauna verursacht haben könnten. Die fleckenartig auf den Schichtflächen angereicherten eckigen Feldspäte (vgl. Kap. 2.1.) lieferten den ersten Hinweis auf einen vulkanischen Eintrag, der mit Hilfe der Faktorenanalyse sicher belegt werden konnte. Um nun festzulegen, inwieweit die Faktoren für die Vernichtung der Fauna verantwortlich sind, wurde der Einfluß der extrahierten Faktoren auf die jeweilige Probe ermittelt und das Ergebnis in Faktorenwertprofilen (Abb. 136) dargestellt.

In diese Abbildung der Lokalität Grünenschlade sind auch die faunenführenden Profilabschnitte eingefügt. Die Entwicklung des ersten Faktors zeigt deutlich in den faunenführenden Abschnitten einen deutlich erhöhten Einfluß, so daß die, die Veränderung des Redoxpotentials anzeigenden Schwankungen und der vulkanische Einfluß, den Tod der Fauna verursacht haben könnten. Mit der Betrachtung des ersten Faktors allein ist das Problem jedoch noch nicht gelöst, denn eine Veränderung des Redoxpotentials könnte die Ursache oder die Wirkung des Faunensterbens sein; d. h. eine Veränderung des Sauerstoffgehaltes würde die Fauna ohne Zweifel töten, aber auch ein Ascheregen würde zur Vernichtung führen und die Tierleichen am Boden verändern dann das Redoxpotential und führen die Elementanreicherung herbei. Zur Lösung des Problems sind deshalb die anderen Faktoren hinzuzuziehen. Auffällig an dem Verlauf der Faktorenwerte für die Faktoren zwei und drei ist ihre sehr gute Korrelierbarkeit untereinander und die Gegenläufigkeit mit den Werten des Faktors eins. Der gleichsinnige Verlauf der beiden genannten Faktorenwertprofile weist deutlich auf einen gemeinsamen Transportmechanismus für die den Detritus repräsentierenden Faktoren hin. Da nach KEMPER & ZIMMERLE (1982: 251) auch vulkanische Aschen Phosphor liefern können, erscheint auch diese Art der Herkunft möglich. Damit lassen sich jedoch die anderen, auf diesen Faktor hoch ladenden Elemente nicht erklären. Deshalb erscheint die Interpretation dieses Faktors als organischer Detritus wahrscheinlicher, wobei eine teilweise Herkunft des Phosphors aus den Aschen nicht völlig auszuschließen ist. Die sehr hohe Anzahl der feldspatführenden Schichten und ihre dichte Aufeinanderfolge, bei einer relativ hohen Sedimentationsrate sind durch Aschenfälle direkt aus vulkanischen Exhalationen nur schwer vorstellbar. Vielmehr ist deshalb eine aquatische Einschwemmung von erodierten Pyroklastika oder episodische Einwehungen anzunehmen. Ein langer Transport muß jedoch, bedingt durch die eckigen Feldspäte ausgeschlossen werden. Gegen die Möglichkeit der Einwehung spricht der gleichsinnige Verlauf der Faktoren 2 und 3, da der organische Detritus nicht eingeweht worden sein kann.

Die Faktorenwertprofile für die Faktoren zwei und drei, die den detritischen Einfluß in das Becken verkörpern, weisen ein absolutes Maximum in dem faunenfreien Abschnitt auf. In diesem

Bereich sinkt der Einfluß des ersten Faktors. In den faunenführenden Bereichen dagegen sinkt der Einfluß des zweiten und dritten Faktors. An dieser Stelle ist darauf hinzuweisen, daß die beiden faunenführenden Profilabschnitte nicht durch ein jeweils einmaliges Ereignis entstanden sind. Vielmehr repräsentieren diese Abschnitte einen raschen Wechsel von „normaler Sedimentation“ und Ablagerung von erodierten Aschentuffen. Da eine vulkanische Beeinflussung durch die Lagen mit eckigen Feldspäten, die in den faunenführenden Bereichen verstärkt auftreten, nachgewiesen werden konnte, wird die Wirkung dieser vulkanischen Produkte auf Sediment und Wassersäule für die Vernichtung der Fauna verantwortlich gemacht. Dabei werden weniger diese Pyroklastika selbst den Tod der Tiere herbeigeführt haben, etwa durch Blockierung der Kiemen, sondern die Zersetzungsprodukte. So weisen KEMPER & ZIMMERLE (1982: 252) auf die Möglichkeit einer pHWert-Änderung des Sediments durch vulkanische Aschen hin. Die Änderung des Redoxpotentials läßt sich durch die starken Veränderungen im Faktorenwertprofil, dessen Faktor unter anderem das Redoxpotential wiedergibt, belegen.

Lediglich von der Lokalität Siesel liegen genügend Proben vor, die die Erstellung und Auswertung von Faktorenwertprofilen sinnvoll erscheinen lassen. Die vier Faktoren verlaufen in diesem Profil wesentlich gleichförmiger und nicht gleichsinnig wie im Profil Grünenschlade. Von wenigen Peaks (s. Abb. 137) im unteren und oberen Profilabschnitt abgesehen, ist der Einfluß der den Faktoren zugewiesenen Ursachen ziemlich kontinuierlich. Literaturangaben über die genaue Lage der Fossilfundpunkte im Profil liegen nicht vor. Die Kurvenverläufe weisen jedoch darauf hin, daß Häufungen, wie in Grünenschlade nur im unteren und oberen Profilabschnitt zu erwarten sind.

6.0 Modell des Sedimentationsraumes

Basierend auf den Ergebnissen der unterschiedlichen Untersuchungsmethoden und auf Literaturdaten wird hier der Versuch unternommen, ein Modell des Sedimentationsraumes vorzustellen, das die paläogeographischen Vorstellungen BÖGERs, für die Genese der Tonsteine präzisiert.

Im Unterdevon des Ebbegebietes setzte nach BÖGER (1983: 323) ab dem Gedinne eine Horst- und Grabenbildung ein. Dieses WNW-ESE streichende Bruchschollensystem, aus gegeneinander versetzten Trögen war treppenartig von Norden nach Süden angeordnet. Durch dieses System wurden zwei Deltasysteme, die ihren Ursprung auf dem Old Red-Kontinent hatten, gesteuert (BÖGER 1983, LOSKE 1985). Dementsprechend verlaufen die Fazieskörper winkelig zur Streichrichtung (BÖGER 1983: 323). Die Sedimente werden von BÖGER (1983: 295) als Delta- und Deltasaumablagerungen angesehen.

Die tektonischen Vorgänge im Bruchschollensystem waren mit vulkanischer Tätigkeit verbunden, so daß der Sedimentationsraum stark von Pyroklastika beeinflusst wurde, wie entsprechende Vorkommen an der Basis (K_3) und am Top (K_4) der Rimmert-Schichten zeigen (s.Tab.2). Nach BÖGER (1983: 317) und AVLAR (1985: 55) endete die terrestrische Faziesentwicklung mit dem Hauptkeratophyr. Es folgte eine transgressive Phase, wobei der feinlaminierte Tonstein einen Schwarzschiefer an der Basis einer Transgression, im Sinne von KREBS (1969: 62,63) darstellt.

Das Deltasystem wurde zur Zeit des K_2 -Vulkanismus durch einen Ignimbritausbruch verschüttet. Nach TUCKER (1985: 235) wird bei einem Ignimbritausbruch ein bestehendes Relief eingeebnet, indem das ausgeworfene Material Täler und Niederungen zuschüttet. Hierzu ist anzumerken, daß im Ems keine großen Reliefunterschiede zu erwarten sind, da die variszische Gebirgsbildung den Raum noch nicht erfaßt hatte. Die den Ignimbritausbruch begleitenden Aschen könnten wieder ein geringes Relief geschaffen haben. In dieser eingeebneten Landschaft mußten sich die Flüsse ein neues Bett schaffen. Dieser Vorgang ist durch die Aufarbeitungshorizonte, die neben Keratophyrmaterial Arkosen und Konglomerate enthalten, dokumentiert. Im Raum Siesel etablierten sich dann abseits der Flüsse Stillwasserbereiche, in denen feinlaminierte Tonsteine bei guter Durchlüftung sedimentiert wurden. In der Lamination könnten sich jahreszeitliche Klimaschwankungen widerspiegeln. Die Tonsedimentation wurde in Siesel zweimal durch Pyroklastika unterbrochen. Da in beiden Fällen keine Ignimbrite, sondern nur unverschweißte Aschen vorliegen, befanden sich diese Stillwasserbereiche lateral oder distal von den zugehörigen Ignimbritdecken. Die Stillwasserbereiche müssen zumindest zeitweise einen Zugang zu einem Flußsystem besessen haben, um der Fauna eine Einwanderungsmöglichkeit zu geben.

Ein ähnliches Bild zeigen auch der Hauptkeratophyr und die Tonsteine der Wiebelsaat-Schichten. Wie die Befunde des Profils Hasendenn zeigten, liegt auch hier eine Ignimbritdecke vor, die

ein bestehendes Relief einebnete. Anders als in Siesel jedoch schuf hier zusätzlich ein Nebenförderzentrum bei Vorth durch Aschenfälle mit akkretionären Lapilli ein Relief, das die Flüsse von diesem Raum fernhielt. Dies läßt sich durch die fehlenden Aufarbeitungshorizonte belegen. Lediglich in Vorth zeigt eine Konglomeratlage, die den Aschen zwischengelagert ist, die Verlagerung eines Flusses an. Innerhalb des durch die Aschen geschaffenen Reliefs etablierte sich ein Stillwasserbereich, für den, wie die Fauna beweist, Zuflüsse postuliert werden müssen. Hierauf deuten auch die Konglomerate und Sandsteine hin, die den Tonstein lateral ablösen. Für die Laminitbildung werden ebenfalls jahreszeitliche Klimaschwankungen vermutet.

Zwischen den Tonsteinen der Rimmert-Schichten und denen der Wiebelsaat-Schichten bestehen einige interessante Unterschiede. So enthalten die Sieseler Tonsteine keine Feldspatlagen, wie die unteren Wiebelsaat-Schichten. Letztere sind demnach weit stärker durch Pyroklastika beeinflusst. Die Ursache liegt vermutlich in den fehlenden Aufarbeitungshorizonten und damit den Aschen des Nebenförderzentrums Vorth. In Siesel wurden die Reliefunterschiede sofort ausgeglichen, wie die Ausarbeitungshorizonte direkt im Hangenden der Vulkanite und Pyroklastika belegen. Im Hangenden des Hauptkeratophyrs und der Begleittuffe fehlen die Aufarbeitungen, so daß ein Relief bestehen blieb, das erst mit der Zeit erodiert wurde und dessen Abtragungsprodukte in den Stillwasserbereich gelangten. Die Anlieferung dieser Erosionsprodukte hatte den Tod der jeweils ansässigen Fauna zur Folge. Damit ist auch geklärt, daß in Siesel die Fauna nicht so gehäuft und in solch großer Zahl vorkommt.

Die stark siltigen Tonsteine mit Resedimenten beenden die Zeit der Stillwasserbereiche. Da innerhalb dieser Aufarbeitungshorizonte Fossilien fehlen, kann zwischen einer marinen Ingression und der Verlagerung des Flußsystems nicht unterschieden werden. Nach AVLAR (1985) sind jedoch marine Ingressionen in den die Resedimente überlagernden Sandsteinen durch Schillagen belegt. Das Meer ergriff jedoch zu dieser Zeit noch nicht voll Besitz von diesem Raum, worauf Wurzelböden hinweisen. Eine stärkere marine Beeinflussung kann erst für die lagunären Remscheider Schichten angenommen werden.

7.0 Literaturverzeichnis

- ASSELBERGHS, E. (1946): L' Eodevonien de l' Ardenne et des regions voisines. – Mem. Inst. Geol., Univ. Louvain, **14**: 1-598, figs. 1-121, pls. 1-10.
- AVLAR, H. (1985): Zur Biostratigraphie, Faziesentwicklung, Paläoökologie und Paläogeographie der Grenzschichten des Unterdevon und Mitteldevon im südlichen Ebbesattel (Rheinisches Schiefergebirge), Implikationen für die geodynamische Interpretation. – Diss. Uni. Münster: 182 S., 62 Abb.; Münster.
- AVLAR, H. & DOHMEN, M. (1985): Bemerkungen zur Schwarzschieferfazies der Remscheider Schichten und erste Untersuchungsergebnisse der Vertebraten-Fundstelle NE' Kierspe (Sauerland, Rheinisches Schiefergebirge). – Geol. Pal. Westf., **4**: 7-22, 9 Abb., 1 Tab., 1 Taf.; Münster.
- BÖGGER, H. (1983): Eine Lithostratigraphie des Unter-Devons im Sauerlande und im östlichen Bergischen Lande (Rheinisches Schiefergebirge) II. Das Ebbe-Antiklinorium. – N. Jb. Geol. Palaeont., **166 (2)**: 294-326; Stuttgart.
- BORCHERT & KREJCI-GRAF, K. (1959): Spurenmetalle in Sedimenten und ihre Derivate.-Bergbau Wiss., **6**: 205-215, 5 Taf.; Goslar.
- BOUCOT, A. J. & JANIS, C. (1983): Environment of the Early Palaeozoic Vertebrates. – Palaeogeogr., Palaeochimatol., Palaeocol., **4**: 251-287; Amsterdam.
- BOUMANS, P.W.J.M. (1980): Line Coincidence tables for Inductively Coupled Plasma atomic emission spectrometry. – Two volumes, Oxford, New York, Toronto, Sydney, Paris, Frankfurt.
- BRUMSACK, H. 3. (1980): Geochemistry of Cretaceous Black Shales from the Atlantic ocean (DSDP Legs 11,14,36,41). – Chem.Geology, **31**: 1-25; Amsterdam.
- BUGRY,R. ,SHAW,D. M. (1964): Unreliable boron analyses in paleosalinity investigations. – Nature, **201**: 1314.
- CARLS, P., JAHNKE, H., LUSZNAT, M. & RACHEBOEF, P. (1982): On the Siegenian stage._ Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg, **55**: 181198, 3 Abb.; Frankfurt.
- CURTIS, C. D. (1964): Studies on the use of boron as a paleoenvironmental indicator. – Geochim. Cosmochim Acta, **28**: 1125.
- (1980): Diagenetic alteration in black shales. – J. Geol. Soc. London, **137**: 189-194; London.
- DEAN, B. (1907): Notes on acanthodian sharks. – Am. J. Anat., **7**: 209222; Philadelphia.

- (1909): Studies on fossil fishes (sharks, chimaeroids and arthrodires). – Mem. Amer. Mus. Natur. Hist. **9**: 209-287; New York.
- DEGENS, E. T. (1958): Geochemische Untersuchungen zur Faziesbestimmung im Ruhr-Karbon und Saar-Karbon. – Glückauf, **24(15/16)**: 513-520, 8 Abb., 6 Taf.; Essen.
- (1968): Geochemie der Sedimente. – 282 S., 75 Abb., 20 Tab.; Stuttgart.
- , WILLIAMS, E. G. & KEITH, M. L. (1957): Environmental studies of Carboniferous sediments, 1. Geochemical criteria for differentiating marine and fresh-water shales. – Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists, **41**: 2427-2455; Tulsa.
- , WILLIAMS, E. G. & KEITH, M. L. (1958): Environmental studies of Carboniferous sediments, Part II.-Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologist, **42**: 981-997; Tulsa.
- DENISON, R. H. (1956): A Review of the Habitat of the Earliest Vertebrates. Fieldiana: Geol. Vol. **11.8**; Chicago.
- (1958): Early Devonian Fishes From Utah, Part III: Arthrodira. Fieldiana: Geol. Vol. **11.9**; Chicago.
- (1960): Fishes of the Devonian Holland Quarry Shale of Ohio. Fieldiana: Geol. Vol. **11.10**; Chicago.
- (1978): Placodermi. – In: SCHULTZE, H.P.(Hrsg.): Handbook of Paleichthyology, **2**: 128 p., 94 Abb.: Stuttgart.
- (1979): Acanthodii. – In: SCHULTZE, H.P.(Hrsg.): Handbook of Paleichthyology, **5**: 62 p., 35 figs. Stuttgart.
- DE SILVA, S.S. (1986): Reproductive biology of *Oreochromis mossambicus* populations of man-made lakes in Sri Lanka: a comparative study. – Aquaculture and Fisheries Mangement, **17**: p 31-47.
- DILL, H. (1986): Geochemical facies analyses of upper Proterozoic metabiolites (Bohemian Massif/ F. R. Germany) as Guide to metal exploration. Mitt. Geol. Pal. Inst. Univ. Hamburg, **60**: 37-53, 6 fig., 1 tab.; Hamburg.
- DINELEY, D. L. & YUHAI, L. (1984): A new Acinolepid arthrodire from the Lower Devonian of Arctic Canada.- Paleontology, **27(4)** p 875-888, res. 79-80; London.
- DOHMEN, M. (1983): Biostratigraphische Untersuchung einer Fischlagerstätte aus dem Schwarzschieferhorizont der Unteren Remscheider Schichten.-Dipl. Arb.: 79 S., 30 Abb.; Köln (unveröffentlicht).
- DOMINIK, W. (1985): Stratigraphie und Sedimentologie (Geochemie, Schwermineralanalyse) der Oberkreide von Bahariya und ihre Korrelation zum Dahhla- Becken (Western Desert, Ägypten). – Berl. Geowiss. Abh. **A 62**: 173 S., 53 Abb., 22 Tab., 18 Taf.; Berlin.
- ERHARD, U., FISCHBACH, R. & WEILER, H. (1985): Praktisches Lehrbuch der Statistik. – 249 S.; Landsberg.
- ERNST, W. (1963): Diagnose der Salinitätsfazies mit Hilfe des Bors. Fortschr. Geol. Rheinl. u. Westf., **10**: 253-267.
- ERNST, W. (1970): Geochemical facies analysis. Methods in Geochemistry and Geophysics: **11**, 152 S., 34 Abb., 18 Tab.; Amsterdam.
- FAHRMEIR, L. & HAMERLE, A. (1984): Multivariate statistische Verfahren. – 776 S.; Berlin.
- FERNANDEZ, H.E. (1969): Notes on the submarine ash flow tuff in Siagao Island, Surigao del Norte (Philippines). – The Philippine Geologist, **23**: 29-36.
- FISHER, R.V. & SCHMINCKE, H.U. (1984): Pyroclastic rocks. – 472 p., 339 figs.; Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo.
- FLÜGEL, E. & HÖTZEL, H. (1976): Palökologische und statistische Untersuchungen in mitteldevonischen Schelfkalken (Schwelmer Kalk, Givet; Rheinisches Schiefergebirge). – Bayer. Akad. Wiss., math.-naturwiss. Kl. Abh., N.F., **156**: 70 S.; München.
- FLURY, B. & RIEDWYL, H. (1983): Angewandte multivariate Statistik. 187 S.; Stuttgart; New York.
- FRIMAN, L. (1983): *Ohiolepis*-Schuppen aus dem unteren Mitteldevon der Eifel (Rheinisches Schiefergebirge). – N. Jb. Geol. Paläont., Mh., **1983**: 228-236; Stuttgart.
- (1986): Die devonische Agnatha des Rheinischen Schiefergebirges unter besonderer Berücksichtigung ihrer Histologie. – Münster. Forsch. Geol. Paläont., **64**: 1-125, 8 Abb., 11 Taf.; Münster.
- FRIMAN, L. & BARDENHEUER, F. (1984): An new reconstruction of *Rhinopteraspis dunensis* (Agnatha, Heterostraci) with some remarks on pteraspid ontogeny. – Münster. Forsch. Geol. Paläont., **61**: 147-173, 3 Abb., 2 Taf.; Münster.
- FUCHS, A. (1923): Erläuterung zur geologischen Karte von Preußen und benachbarten Bundesstaaten. Bl. Meinerzhagen: 51 S.; Berlin.
- FUCHS, G. (1982): Upper Siegenian and lower Emsian in the Eifel hills. – Cour. Forsch. Inst. Senckenberg, **55**: 229-256; Frankfurt.
- GARCIA, I. (1987): Relaciones largo-peso y proporcion de sexos del bonito (*Katsuwonus pelamis*) y la albacora (*Thunus atlanticus*) de Cuba. – Revista Investigaciones Marinas, **8(1)**: p 83-97.

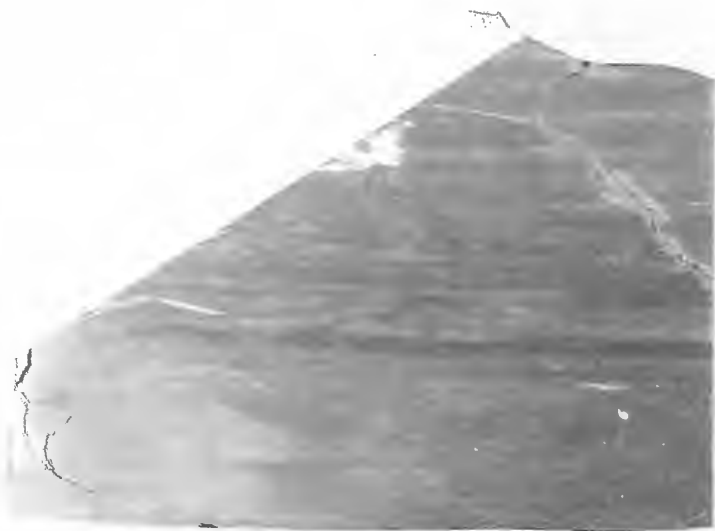
- GOLDSCHMIDT, V. M. (1948): Spurenelemente in Sedimenten. – Nachr. Akad. Wiss. Göttingen (math.-phys. Kl.), **1948**: S. 35-52; Göttingen.
- GROSS, W. (1930): Die Fische des mittleren Old Red Süd-Livlands. Geol. Pal. Abh., **18**, H 2; Jena.
- (1933a): Die unterdevonischen Fische und Gigantostraken von Overath. – Abh. Preuß. Geol. LA., **145**, S. 42-75, 7 Taf., 16 Abb.; Berlin.
- (1933): Die Wirbeltiere des rheinischen Devons. – Abh. d. Preuß. Geol. LA. **154**, 83 S, 20 Abb., 11 Taf.; Berlin.
- (1937): Die Wirbeltiere des rheinischen Devons (Teil II). – Abh. Preuß. Geol. LA. **176**, 83 S., 28 Abb., 10 Taf.; Berlin.
- (1940): Acanthodier und Placodermen aus den *Heterostius*-Schichten Estlands und Lettlands. – Annales Soc. Nat. Invest. in Univ. Tartuensis Const **46**.
- (1947): Die Agnathen und Acanthodier des obersilurischen Beyrichienkalkes. – Palaeontographica, Abt, A. **96**: 92-161; Stuttgart.
- (1950): Die paläontologische und stratigraphische Bedeutung der Wirbeltierfaunen des Old Reds und der marinen altpaläozoischen Schichten.-Abh. dtsh. Akad. Wiss. Berlin, math. natwiss. Kl., **1949**: 130 S., 1 Abb., 5 Tab.; Berlin.
- (1957): Mundzähne und Hautzähne der Acanthodier und Arthrodiren. Pal. Abt. A. **109**, S. 1-40, 16 Abb., 6 Taf.; Stuttgart.
- (1959): Arthrodiren aus dem Obersilur der Prager Mulde. Palaeontographica **113**, Abt. A, S. 1-35, 7 Taf., 8 Abb.; Stuttgart.
- (1960): *Tityosteus* n. gen., ein Riesenarthrodire aus dem rheinischen Unterdevon. – Pal. Z., **34**, 2 Taf., S. 263-274; Stuttgart.
- (1961): *Lunaspis broilii* und *Lunaspis heroldi* aus dem Hunsrückschiefer (Unterdevon, Rheinland). – Notizblatt 1. Hess. LA. für Bodenf. **89**, S. 17-43, 10 Abb., Taf. 2-7; Hannover.
- (1962): Neuuntersuchung der Stensiöellida. – Notizblatt. Hess. LA. für Bodenforschung, Bd. **90**, S. 48-86; Hannover.
- (1965): Über die Placodermen-Gattung *Asterolepis* und *Tiaraspis* aus dem Devon Belgiens und einen fraglichen *Tiaraspis*-Rest aus dem Devon Spitzbergens. – Bull. Inst. r. Sci. nat. Belg. **41**, S. 1-19; Brüssel.
- (1966): Kleine Schuppenkunde. – N. Jb. Geol. Paläont. Abh. **125**, 5. 29-48, 7 Abb.; Stuttgart. S. 1-82, 28 Abb., 10 Taf.; Stuttgart.
- (1971): Downtonische und dittonische Acanthodier-Reste des Ostseegebietes. – Palaeontographica, **A 136**, S. 1-82, 28 Abb., 10 Taf.; Stuttgart.
- (1973): Kleinschuppen, Flossenstacheln und Zähne von Fischen aus Europäischen und Nordamerikanischen Bonebeds des Devons. Palaeontographica, **A 142**: S. 51-155, 35 Abb., 11 Taf.; Stuttgart.
- GROOS-UFFENRODE, H. (1982): Lower Devonian Beyrichiacea from the Siegerland and Sauerland area (Ostracoda, Rhenish Schiefergebirge). – Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg, **55**: S. 207-227, 2 figs., 3 pls.; Frankfurt.
- GUNDLACH, H. & KOCH, W. (1981): Daten zur Geochemie der Elemente. Taf. 5.1. In: BENDER, F. (Hrsg.): Angewandte Geowissenschaften, **1**; Stuttgart.
- KEMPER, E. & ZIMMERLE, W. (1982): Die Tuffe des Apt und Alb Nordwestdeutschlands. – Geol. Jb., **A 65**: S. 245-257, 1 Abb., 1 Taf.; Hannover.
- KREBS, W. (1969): Über Schwarzschiefer und bituminöse Kalke im mitteleuropäischen Variszikum. Teil II. Vorkommen an der Basis von „Transgressionen“ über flache Schelfareale und innerhalb flacher, limnisch-fluviatiler Ablagerungsräume. Problem der Gleichaltrigkeit schwarzer Schiefer und bituminöser Kalke. Erdöl und Kohle, Erdgas, Petrochemie, **22** (2) : S. 62-67.
- KREJCI-GRAF, K. (1966): Geochemische Faziesdiagnostik. – Freiburger Forschungsheft **C 224**: 80 pp; Leipzig.
- (1975): Geochemical facies of sediments. – Soil Sci. **119**: 2023.
- LAZARUS, R. J. & REDDY, P. S. R. (1986): On the length-weight relationship of the little-known lesser spiny eel *Macrognothus aculeatus* (BLOCH) (Pisces: Mastacembelidae). – Proc. Indian Acad. Sci. (Anim. Sci.), **95** (4) : pp 423-427.
- LEHMANN, W. M. (1944): *Palaeoscorpis devonicus* n. gen., n. sp., ein Skorpion aus dem rheinischen Unterdevon. – N. Jb. f. Min. Mh. B: 177-185, 4 Abb.; Stuttgart.
- LELIEVRE, H., JANVIER, P. & GOUJET, D. (1981): Les Vertebres devoniens de l'Iran central IV. Arthrodires et Ptychodontes. Geogios **14**(6): 677-709, 23 figs, 2 pl; Lyon.
- LERMAN, A. (1978): Lakes. Chemistry, Geology, Physics. – 363 S., 206 Fig., 61 Tab.; Berlin.
- LIPPERT, H. (1939): Geologie der Daleider Mulden-Gruppe. – Abh. senckenb. natf. Ges., **445**: S. 1-66, 11 Abb., 4 Taf.; Frankfurt.

- LOSKE, W. (1985): Die Zirkonvarietätenanalyse als Beitrag zur Ermittlung von Sedimentschüttungen im Ebbe-Sattel (Unterdevon, Rheinisches Schiefergebirge). – N. Jb. Geol. Paläont. Abh., **170**(3) : S. 385-417, 11 Abb. 1 Tab.; Stuttgart.
- MATTIAT, B. (1962): Ein neuer Weg zur Aufbereitung diagenetisch verfestigter, bituminöser Tone (Tonsteine). – Geol. Jb., **79**: 883-898, 3 Taf., 1 Abb., 4 Tab.; Hannover.
- MILES, R. S. (1966): The acanthodian fishes of the Devonian Plattenkalk o the Paffrath Through in the Rhineland, with an appendix containing a classification of the Acanthodic and a revision of the genus Homalacanthus. – Ark. Zool., **18**: 147-194.
- (1969): Features of placoderm diversification and the evolution of the arthrodire feeding mechanism. – Trans. Roy. Soc. Edinburgh, **68**: 123-170; Edinburgh.
- (1973): An acinolepid arthrodire from the lower Devonian Peel Sound Formation, Prince of Wales Island. – Palaeontographica, **A 143**: 109-118; Stuttgart.
- (1973): Articulated Acanthodian fishes from the Old Red Sandstone of England, with a Review of the Structure and Evolution of the Acanthodian Shoulder – Girdle. – Bull. Brit. Mus. (Nat.,Hist., Geology) Vol **24**, No. 2.
- (1975): *Grönlandaspis* in Antartica, Australia and Europe. – Nature, **254**: p. 569-573, 3 figs.; London.
- MOORE, B. R. & DENNEN, W. H. (1970): A geochemical trend in silicoaluminium-iron ratios and the classification of clastic sediments. – J. Sed. Petr., **40**: 1147-1152; Tulsa.
- MOORE, J. G. & PECK, D. L. (1962): Accretionary lapilli in volcanic rocks of western continental United States.-J. Geol., **70**: 182194; Chicago/Ill..
- MOY-THOMAS, J. A. & MILES, R. S. (1971): Palaeozoic Fishes. – 259 S.; London.
- MÜLLER, A. H. (1980): Lehrbuch der Paläozoologie. Bd. II (1). – 628 S., 722 Abb.; Jena.
- MUTTI, E. (1965): Submarine flood tuffs (ignimbrites) associated with turbidites in Oligocene deposits of Rhodes Island (Greece).Sedimentology, **5**: S. 265-288.
- NELKE, S. & PÄTZOLD, J. (1981): Akkretionäre Lapilli aus dem Hauptvulkanit (Unter-Devon) des Ebbe-Sattels (Rheinisches Schiefergebirge) Bl. 4811 Meinerzhagen. – N. Jb. Geol Paläont. Mh., **1981 (11)**: 697-704; Stuttgart.
- NIJSSEN, H. & ISBRÜCKNER, I. J. H. (1983): Review of the genus *Corydoras* from Columbia, with descriptions of two new species (Pisces, Siluriformes, Callichthyidae). – Beaufortia, **33** (5), pp 53-71.
- NORCLIFFE, G. B. (1981): Schließende Statistik für Geographen. – 250 S.; Berlin, Heidelberg.
- NORDHAUS, J. (1988): Geochemische Charakterisierung der Kreide-Basis-Sedimente im südlichen Münsterland am Beispiel ausgewählter Tiefbohrungen. – Diss. Univ. Münster : IX + 201 S., Abb. 1-11 im Text, Abb. 12-81 im Anhang, Tab. 1-14 im Text, Abb. 15-103 im Anhang; Münster.
- POTTER, P. E. , SHIMP, N. F. & WITTERS, J. (1963): Trace elements in marine and fresh water argillaceous sediments. – Geochim. Cosmochim. Acta, **27**: 669-694, Oxford, London, New York, Paris.
- RAASCH, G. O. (1939): Cambrian Merostomata. – Geol. Soc. Amer., Spec. Rep., **19**: 146 p; Baltimore,Md.
- REMY, W. (1980): Wechselwirkungen von Vegetation und Böden im Paläophytikum. – Festschrift G. Keller, 44-73; Osnabrück.
- REMY, W., SCHULTKA, S. & HAAS, H. (1986): *Anisophyton gothani* n.g. n. sp. und Hinweise zur Stratigraphie der südlichen Wilberinghäuser Scholle. – Argumenta Paläobot., **7**: S. 79-107, Taf. 20-25; Münster.
- RICHTER, R. (1952): Exkursion in die Prümer Mulde (Eifel). – Zeitschr. Deutsch. Geol. Ges., **103**: S. 343-352.
- RITCHIE, A. (1975): *Groenlandaspis* in Antarctica, Australia and Europe. – Nature Vol. **254**: 569-573, 3 Fig.; London.
- ROMER, A. S. & GROVE, B. H. (1935): Environment of the early vertebrates. – Amer. Mid. Nat., **16**: S. 805-856.
- ROSS, C. S. & SMITH, R. L. (1961): Ash flow tuffs: Their origin, geologic relations and identification. – Geol. Surv. Prof. Pap. **366**: 81 p, 98 fig; Washington.
- RÖSLER, H. J., LANGE, H. & PILOT, J. (1971): Analyse der geochemischen Ablagerungsbedingungen von Sedimenten. – Freib. Forsch.-hefte, C **272**; Hannover.
- SACHS, L. (1978): Angewandte Statistik. – 545 S.; New York.
- SAS (1982): SAS Users Guide: Basics. – 921 p.; Cary.
- (1982): SAS Users Guide: Statistics. – 584 p.; Cary.
- SASS, B. M., ROSENBERG, P. E. & KITTRICK, J. A. (1987): The stability of illite/ smectite during diagenesis: An experimental study.Geochem. Cosmochim. Acta, **51**: 5. 2103-2116.
- SCHERP, A. & GRABERT, H. (1983): Unterdevonische Schmelztuffe im rechtsrheinischen Schiefergebirge. – N. Jb. Geol. Pal., Mh (1): 47-58, 6 Abb.; Stuttgart.

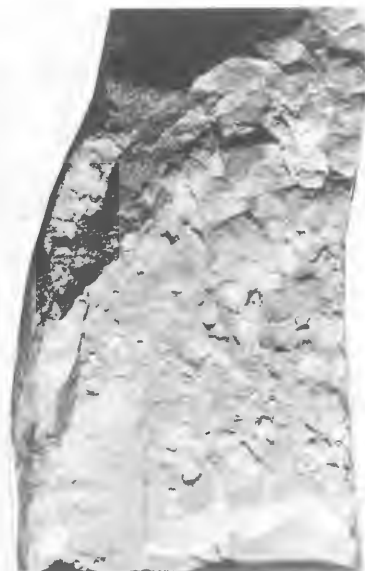
- SCHMALFUSS, H. (1983): Asseln. – Stuttgarter Beitr. zur Naturk., **17C**: 28 5., 25 Abb.; Stuttgart.
- SCHMID, H. (1980): Geochemische Prospektion auf seltene Elemente in paläozoischen Schwarzschiefern des Frankenwaldes. – Erzmetall, **33**: 540-545.
- SCHMIDT, W. & ZIEGLER, W. (1965): Eine Arthrodiren-Fauna in einem Keratophyr-Profil der Rimmert-Schichten (d u) des Ebbe-Antiklinoriums (Rh. Schiefergeb.). – N. Jb. Geol. Pal., Mh(4): 221-233; Stuttgart.
- SCHÖLLMANN, L. A. (1987): Sporen und Phytoplankton aus den Raumländer Schichten (Bl. 4961 Bad Berleburg). – Geol. u. Pal. in Westf., **9**: 7-37, 6 Abb., 1 Tab., 3 Taf., Münster.
- SCHRAM, F. R. (1970): Isopods from the Pennsylvanian of Illinois. Science, **169**: 5. 854-855.
– (1974): Paleozoic Peracarida of North America. – Fieldiana Geol., **33**: S. 95-124.
- SCHRIEL, W. (1933): Zur Stratigraphie, Tektonik und Paläontologie des alten Unterdevons im südlichen Bergischen Lande. – Abh. Preuß. Geol. LA., **145**: 3-40; Berlin.
- SCHROLL, E. (1975): Analytische Chemie. – Bl. Methodik. – 292 5.; Stuttgart.
- SCHUCHARD-FICHER, CHR. ET AL. (1985): Multivariate Analysenmethoden. – 346 S., 63 Abb.; Berlin.
- SCHULTZE, H.-P. (1984): The head shield of *Tiaraspis sutillis* (Gross)(Pisces, Arthrodira). – Proc. Linn. Soc. N.S.W., **107**(3) : 335-365.
- SCHWEITZER, H.-J. (1982): Stratigraphical distribution of the Lower Devonian plant in the Rhineland. – Cour. Forsch. Inst. Senckenberg, **55**: 5.271-278, 1 Tab.; Frankfurt.
- SKALA, W. (1979): Einige Eigenschaften geschlossener Prozentsysteme. – Berliner geowiss. Abh., **A 15**: S. 101-109, 3 Abb., 2 Tab.; Berlin.
- SMITH, R. L. (1960): Zones and zonal variations in welded ash-flows. – US Geol. Surv. Profess. Paper, **354F**: 5. 149-159.
- STØRMER, L. (1934): Über den neuen, von W. Gross beschriebenen Eurypteriden aus dem Unterdevon von Overath im Rheinland. – Jb. Preuß. Geol. LA., **55**: 284-291, 3 Fig.; Berlin.
– (1936): Eurypteriden aus dem Rheinischen Unterdevon. – Abh. Preuß. Geol. LA., **175**: 1–74, 12 P1., 10 Fig.; Berlin.
– (1969): Eurypterids from the Lower Devonian of Willwerath, Eifel-Senck. leth., **50**: 21-35, 2Abb., 2 Taf., Frankfurt/Main.
- TRUSCOTT, M. G. & SHAW, D. M. (1983): Distribution of boron in cherts and effects of diagenesis on mobilisation of boron. – Geol. Soc. Amer. Abstr., **15**: 708.
– (1984): Boron in chert and Precambrian siliceous iron formations. – Geochim. Cosmochim. Acta, **48**(2) : 2313-2320.
- TUCKER, M. E. (1985): Einführung in die Sedimentgeologie. – 265 S., 219 Abb., 20 Tab.; Stuttgart.
- TUREKIAN, K. K. & WEDEPOHL, K. H. (1961): Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. – Bull. Geol. Soc. Amer., **72**: 175-192; New York.
- VINE, J. D. & TOURTELOT, E. B. (1970): Geochemistry of black shale deposits. A summary report. – Econ. Geol., **65**(3): 253-272; Lancaster.
- WASMUND, E. (1930): Bitumen, Sapropel und Gytja. – Geol. Fören. Stockholm Förh., **52**: 315-350.
- WATSON, D. M. S. (1937): The acanthodian fishes. – Phil. Trans. Roy. Soc. London,(B), **228**: 49-149; London.
- WEAVER, CH. E. (1967): Potassium, illite and the ocean. – Geochim. Cosmochim. Acta, **31**: 2181-2196.
- WEGEHAUPT, H. (1962): Petrographie und Geochemie des höheren Westphal D von Westerholt. – Fortschr. Geol. Rheinl. Westf., **3**: 445-496; Krefeld.
- WUNDERLICH, (1968): Einführung in die Geologie. Bd.I. – 214 S., 53 Abb.; Mannheim.
- ZIEGLER, W. (1970): Geologische Karte von NRW 1: 25000; Erläuterungen zu Blatt 4713 Plettenberg. – Geol. Landesamt NRW. – 179 S.; Krefeld.
- ZIMMERLE, W. & GAIDA, K. H. (1980): Identification of ancient tuffs and volcanic components in progressively altered ancient argillaceous sediments. – A discussion. – Internat. Assoc. Sedimentologists 1st Europ. MTG., Abstracts; Bochum.

Tafel 1

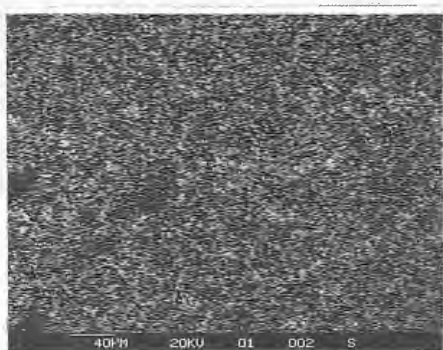
- Fig. 1:** Polierter Anschliff eines Laminits (Maßstab 1 cm), FO Grünenschlade
- Fig. 2:** Kugelige Aggregate vulkanischen Ursprungs auf einer Schichtfläche (Maßstab 1 cm), FO Grünenschlade
- Fig. 3:** Elementverteilungsbild (Rückstreuielektronen RE) eines Tonsteins (polierter Dünnschliff) für das Element Silizium, FO Grünenschlade
- Fig. 4:** Elementverteilungsbild (RE) des Elementes Eisen, gleicher Schliff und gleicher Ausschnitt wie Fig. 3
- Fig. 5:** Framboid neben Quarzkorn, FO Grünenschlade
- Fig. 6:** Tonsteinbruchfläche, 4 μ große Tonminerale, FO Grünenschlade



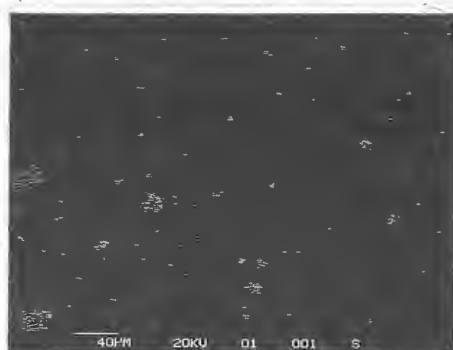
1



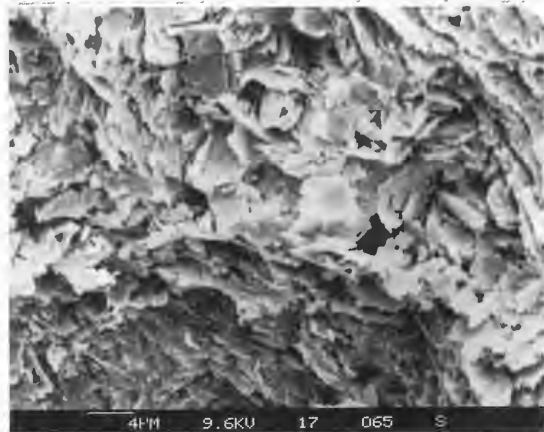
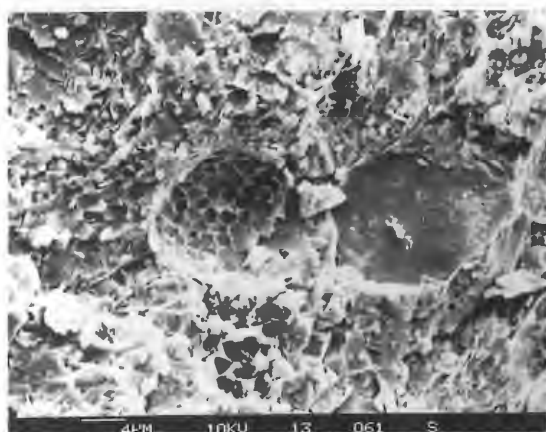
2



3



4

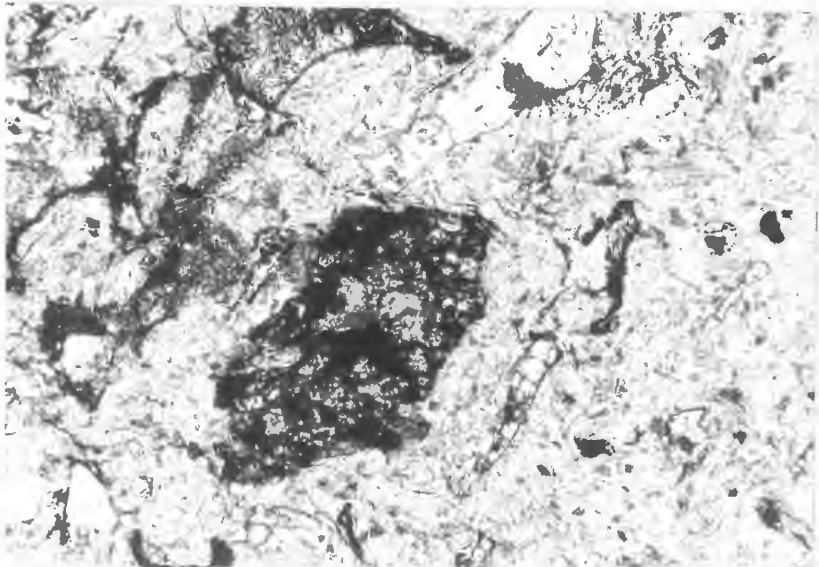
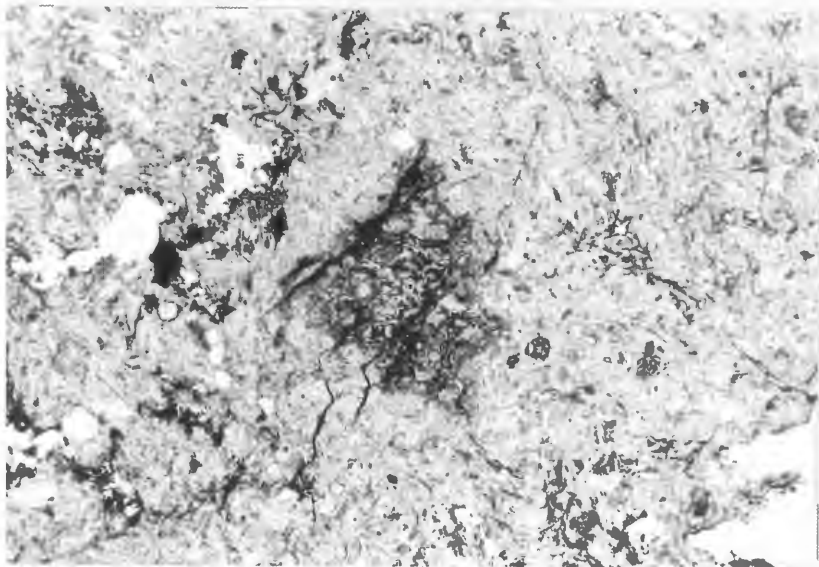


Tafel 2

Fig. 1: Polierter Anschliff eines Aschentuffs mit akkretionären Lappili (Maßstab 1 cm), FO Vorth

Fig. 2: Dünnschliffbild eines Aschentuffs (parallele Nicols) mit blasigem Pyroklasten (Maßstab 1 mm), FO Grünenschlade

Fig. 3: Dünnschliffbild eines Aschentuffs (parallele Nicols) mit blasigem Pyroklasten (Maßstab 1 mm), FO Grünenschlade

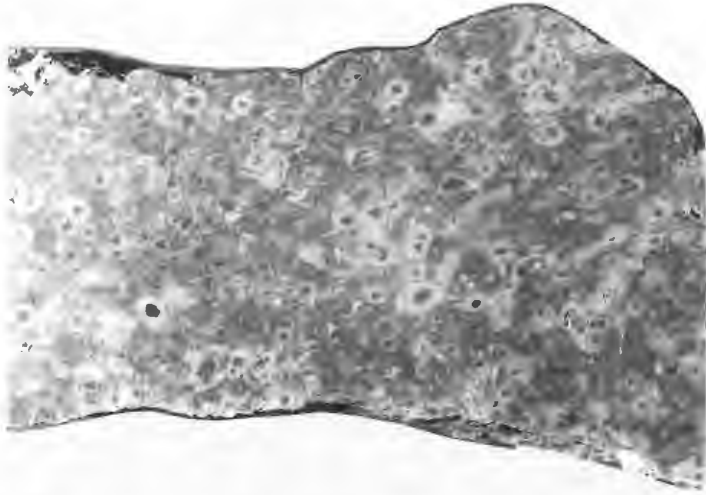


Tafel 3

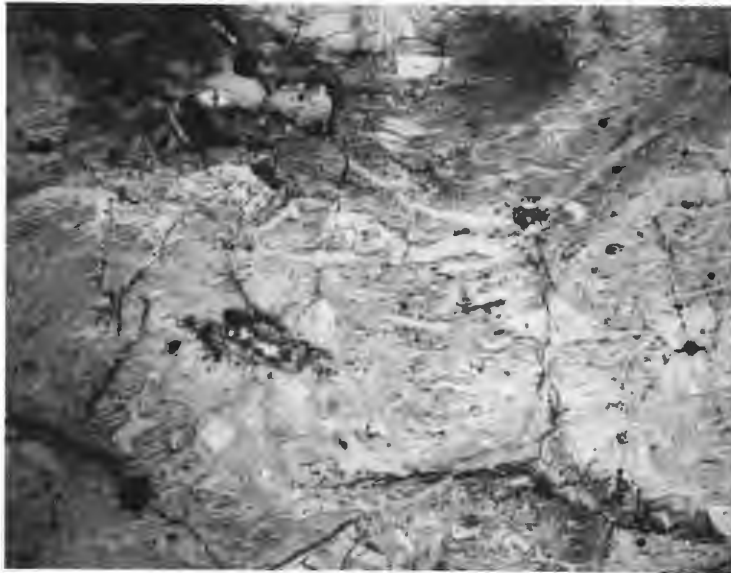
Fig. 1: Polierter Anschliff eines Felsokeratophyrs mit Sphärolithen (Maßstab 1 cm)

Fig. 2: Dünnschliffbild des Shäroliths, mit verschmolzenen, serizitisierten Scherben (parallele Nicols), (Maßstab 5 mm), FO Hasendenn

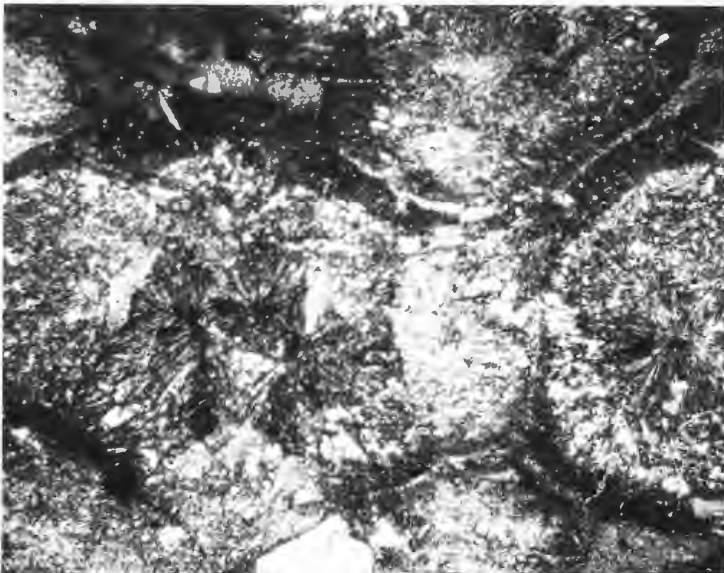
Fig. 3: dito (gekreuzte Nicols) (Maßstab 5 mm)



1



2



3

Tafel 4

Fig. 1: Dünnschliffbild atypischer akkretionärer Lapilli (parallele Nicols)(Maßstab 1 cm), FO Grünenschlade

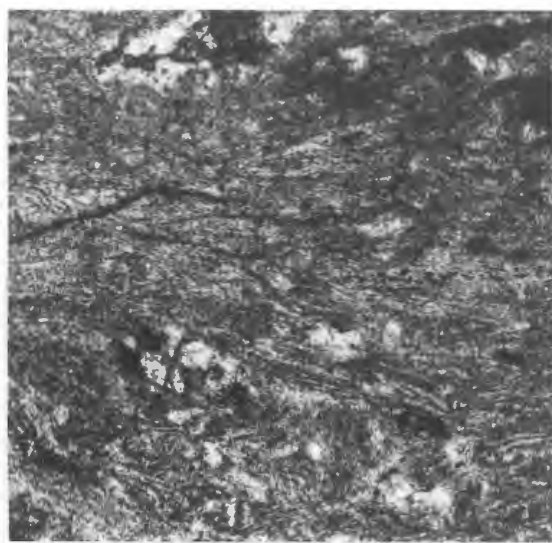
Fig. 2: Dünnschliffbild mit stark verschmolzenen Scherben (parallele Nicols) (Maßstab 2 mm), FO Siesel

Fig. 3: Durchwurzelttes Sediment (Maßstab 1 cm), FO Berken

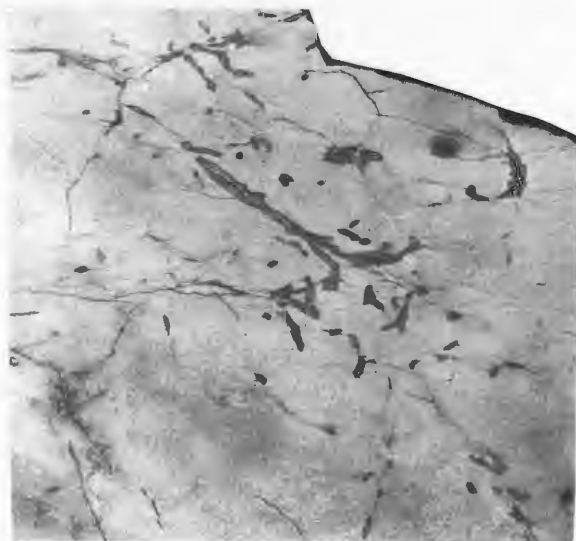
Fig. 4: Aufarbeitungen (Maßstab 1 cm), FO Siesel



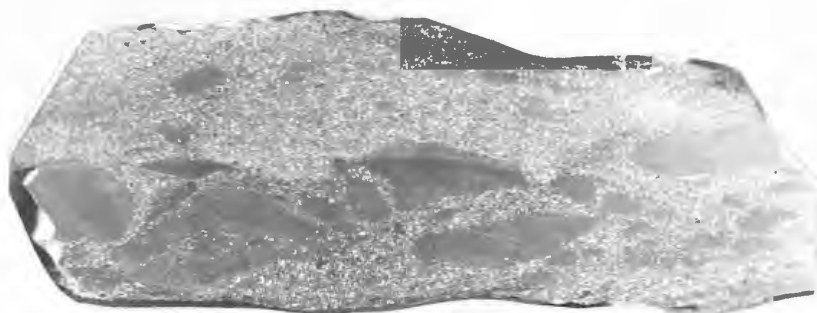
1



2



3



4

Tafel 5

Tiaraspis subtilis GROSS 1933

Fig. 1: MD (breiter Typ) L = 16 mm

Fig. 2: MD (breiter Typ) L = 80 mm, größtes bisher gefundenes Exemplar

Fig. 3: MD (Schmaler Typ) L = 36 mm

Fig. 4: PDL re L = 18 mm

Fig. 5: ADL re L = 25 mm

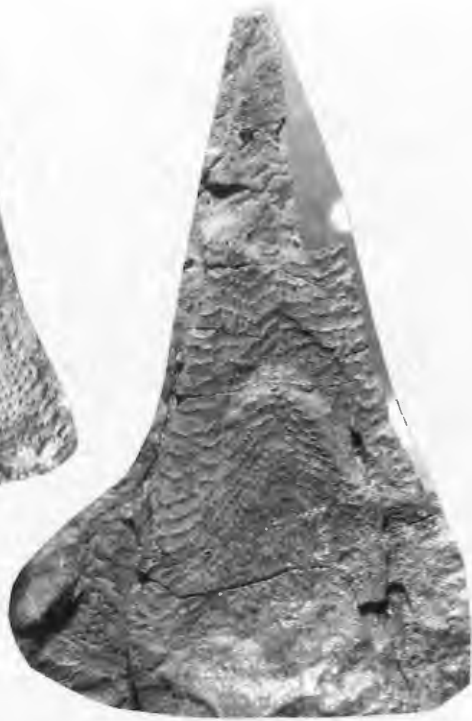
Fig. 6: PDL re L = 6 mm

Fig. 7: ADL li L = 24 mm

Fig. 8: ADL li



1



3

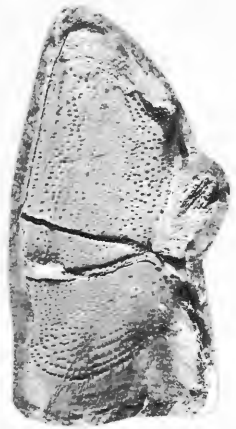
2



4



5



8



6



7

Tafel 6

Tiaraspis subtilis GROSS 1933

Fig. 1: PI li L = 15 mm

Fig. 2: AL re L = 19 mm

Fig. 3: AL re L = 20 mm

Fig. 4: AVL re L = 24 mm

Fig. 5: AVL re L = 13 mm

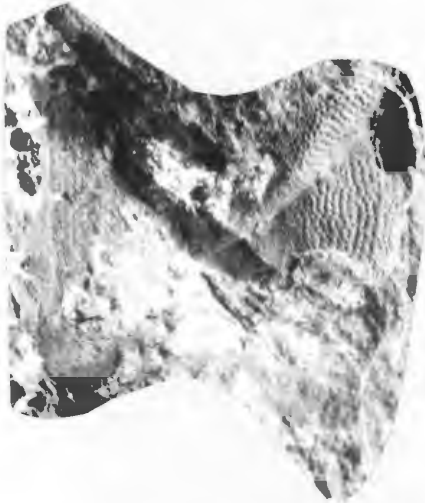
Fig. 6: AVL li L = 25 mm



1



2



3



4



5



6

Tafel 7

Tiaraspis subtilis GROSS 1933

Fig. 1: AMV, Abdruck der Innenseite L = 12 mm

Fig. 2: AMV, Abdruck der Innenseite L = 9 mm

Fig. 3: AMV L = 14mm

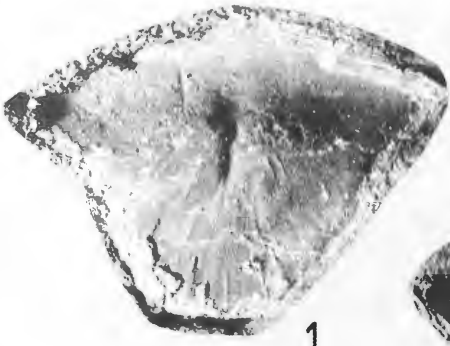
Fig. 4: PMV, Abdruck der Innenseite L = 15 mm

Fig. 5: PMV, Abdruck der Innenseite L = 14 mm

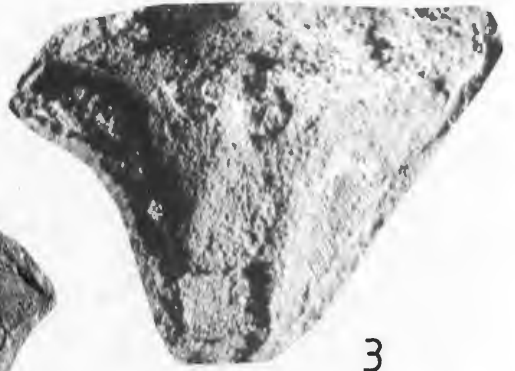
Fig. 6: PVL re L = 21 mm

Fig. 7: PNu re L = 21 mm

Fig. 8: Ce li L = 12 mm



1



3



2



4



5



6



7



8

Tafel 8

Tiaraspis subtilis GROSS 1933

Fig. 1: Nu L = 17 mm

Fig. 2: Mg re L = 10 mm

Fig. 3: PtO li L = 12 mm

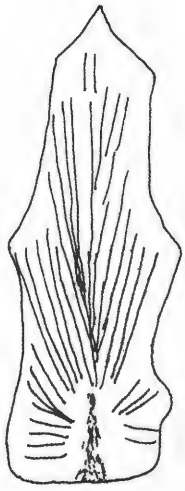
Tiaraspis sp.

Fig. 4: Schädeldach L = 110 mm

Arthrodira incerti ordinis

Fig. 5: Platte Typ A L = 11 mm

Fig. 6 u. 6a: Platte Typ B, Druck und Gegendruck L = 16 mm



1



2



3



4



5



6



6a

Tafel 9

Arthrodira incerti ordinis

Fig. 1: Platte Typ C L = 10 mm

Fig. 2: Platte Typ D L = 11 mm

Fig. 3: Platte Typ D L = 7 mm

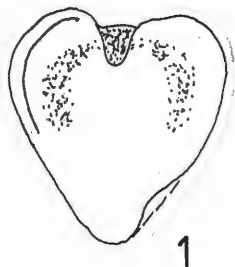
Fig. 4: Platte Typ E L = 8 mm

Fig. 5: Platte Typ F L = 10 mm

Fig. 6: Platte Typ G L = 3 mm

Fig. 7: Platte Typ G L = 7 mm

Fig. 8 u. 8a: Platte Typ H, Druck und Gegendruck L = 8 mm



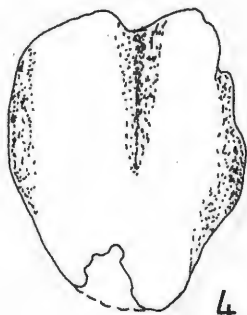
1



2



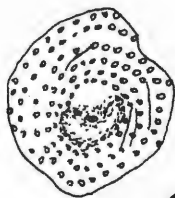
3



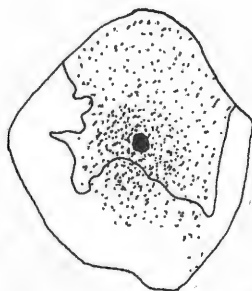
4



5



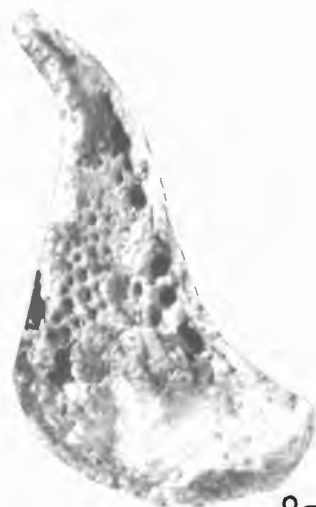
6



7



8



8a

Tafel 10

Arthrodira incerti ordinis

Fig. 1: Platte Typ I L = 4 mm

Fig. 2: Platte Typ J L = 16 mm

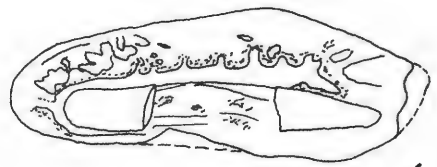
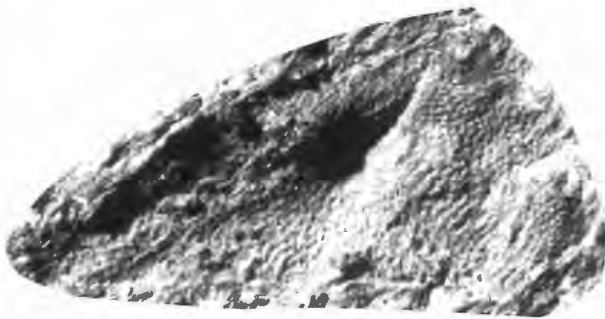
Fig. 3: Platte Typ K L = 10 mm

Fig. 4: Bohnenförmige Schuppe L = 4 mm

Fig. 5: Ovale Schuppe L = 8 mm

Fig. 6: Ovale Schuppe mit Kanalsystem L = 4 mm

Fig. 7: Bohnenförmige Schuppe L = 6 mm



Tafel 11

Tiaraspis subtilis GROSS 1933

Fig. 1: Knochenhaufwerk (AVL re, ADL re, Sp, AMV, viele Schuppen), Maßstab 1 cm

Fig. 2: Knochenhaufwerk (Al re, Al li, PL re, PL li, PMV, AVL re, Sp), Maßstab 1 cm

Fig. 3: Knochenhaufwerk (Sp re, Sp li, PVL re, II, Pl re, Pl li, PMV, AVI re, AVL li, Typ B, Schuppen), Maßstab 1 cm



1



2



3

Tafel 12

Histologie von *Tiaraspis subtilis* GROSS 1933

Fig. 1: Vertikalschliff, Übergang Tuberkelschicht Spongiosa

Fig. 2: Vertikalschliff, Übergang Basallage Spongiosa

Fig. 3: Vertikalschliff, Basallage mit reliktsch erhaltenen Knochenzellen (?)



1



2



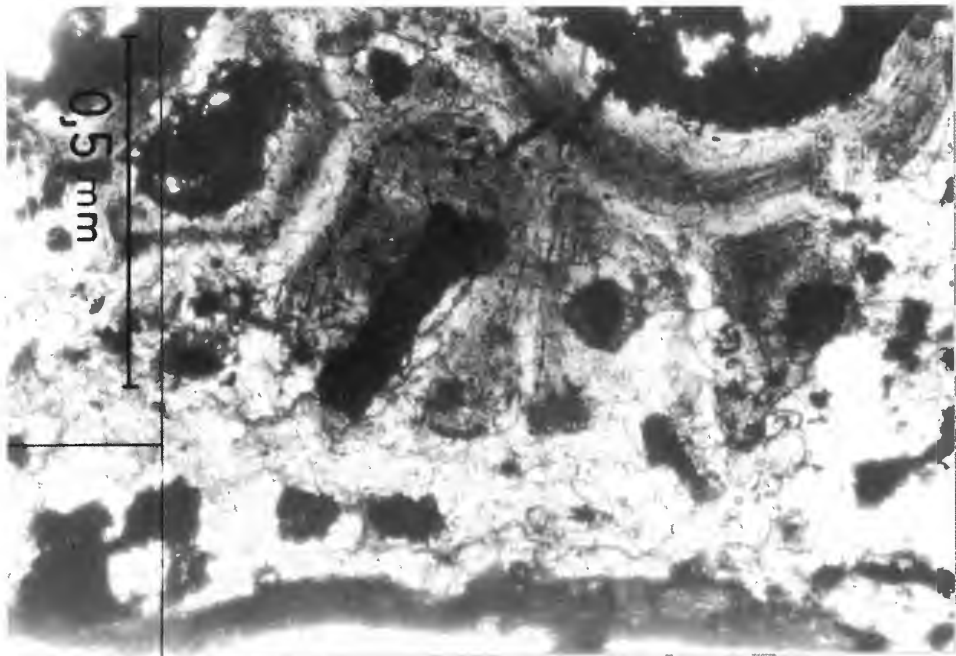
3

Tafel 13

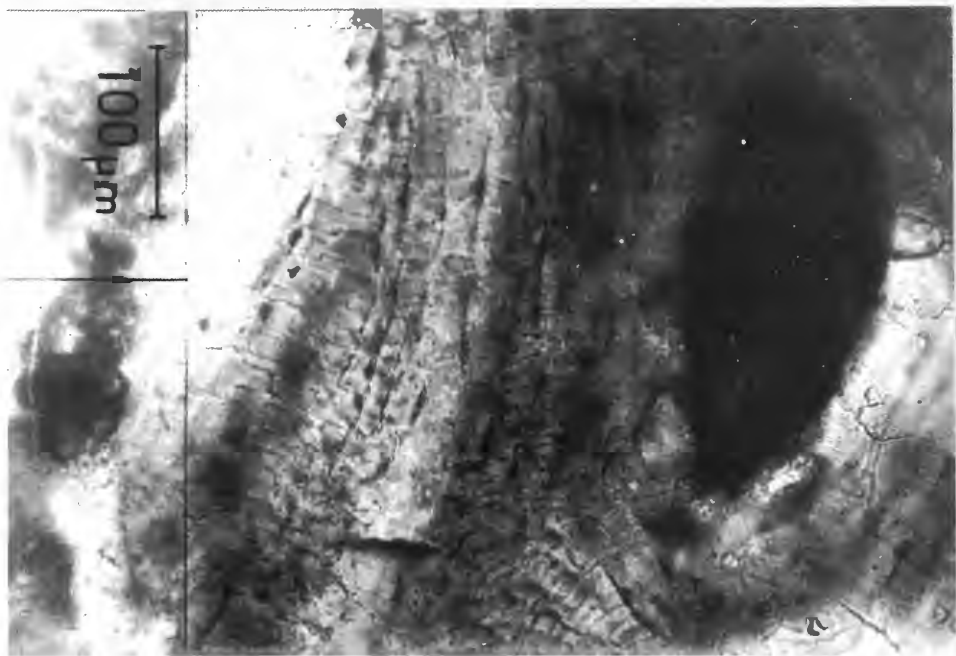
Histologie von *Tiaraspis subtilis* GROSS 1933

Fig. 1: Vertikalschliff, Spongiosakanäle mit Knochenzellen

Fig. 2: Vertikalschliff, Detail der Spongiosa mit Knochenzellen und deren Ausläufern



1



2

Tafel 14

Fig. 1: Spin von *Gyracanthus (?) convexus* GROSS 1933 L = 27 mm

Fig. 2: Porolepiformer Zahn L = 4 mm

Fig. 3: Porolepiformer Zahn L = 1,2 mm

Fig. 4: Hautrest incerti ordinis L = 41 mm

Fig. 5: Detail des Hautrestes mit Dermaldentikeln L = 1.5 mm

Fig. 6: Dermaldentikel incerti ordinis Typ 1 L = 2 mm

Fig. 7: Dermaldentikel incerti ordinis Typ 2 L = 2 mm

Fig. 8: Porolepiformer Zahn L = 8 mm

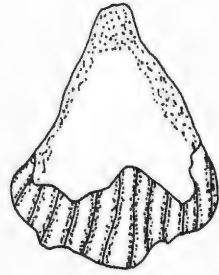
Fig. 9: Glatter Zahn L = 1 mm



1



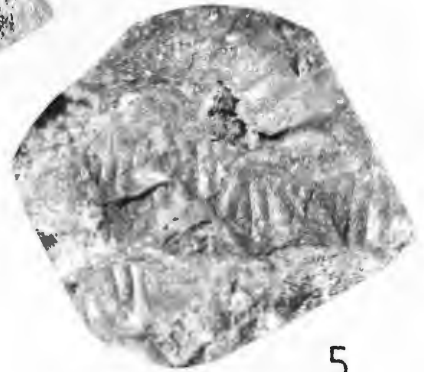
2



3



4



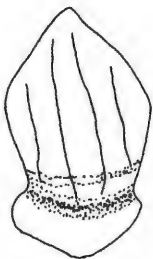
5



6



8



7



9

Tafel 15

Strixoproavus gruenenschladensis n.g. n.sp.

Fig. 1: Holotyp L = 30 mm

Fig. 1a: Abdomen des Holotyps L = 6 mm

Fig. 2: Exemplar mit Thoraxtergiten L = 24 mm

Fig. 3: Exemplar mit Thoraxtergiten L = 21 mm

Fig. 4: Exemplar mit Thoraxtergiten L = 19 mm

Fig. 5: Vollständig erhaltenes Tier L = 16 mm

Fig. 6: Caput L = 8 mm

Fig. 7: Caput L = 6 mm

Fig. 8: Caput L = 5 mm

Fig. 9: Abdomen, Paratyp L = 6 mm

Fig. 10: Detail eines Caput mit Tuberkeln L = 5 mm



1



2



3



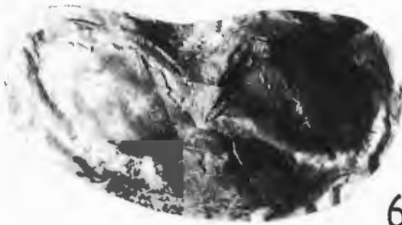
1a



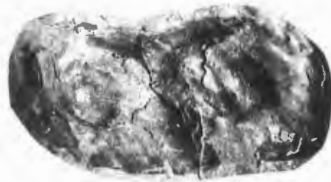
4



5



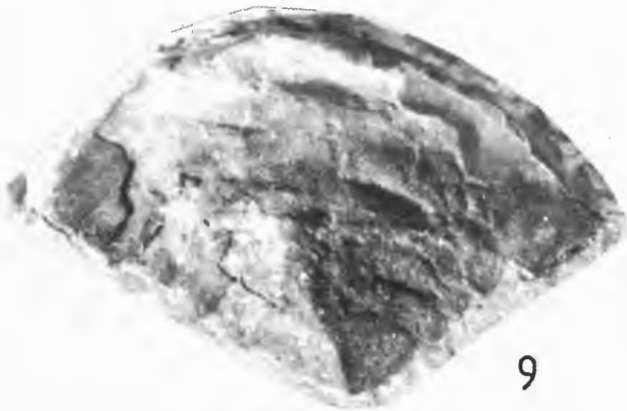
6



7



8



9



10

Tafel 16

Fig. 1: Chelicerenrest eines Eurypteriden L = 45 mm

Fig. 2: Abdruck des gleichen Stücks bei dem die „Alveolen“ gut erkennbar sind

Fig. 3: Protolipidodendrales (Maßstab 5 mm)

Fig. 4: Höher organisierte Pflanzen (Maßstab 1 cm)



1



2



3



4

Anhang

95	112	129	146
96	113	130	147
97	114	131	148
98	115	132	149
99	116	133	150
100	117	134	151
101	118	135	152
102	119	136	153
103	120	137	154
104	121	138	155
105	122	139	156
106	123	140	157
107	124	141	158
108	125	142	159
109	126	143	160
110	127	144	161
111	128	145	162

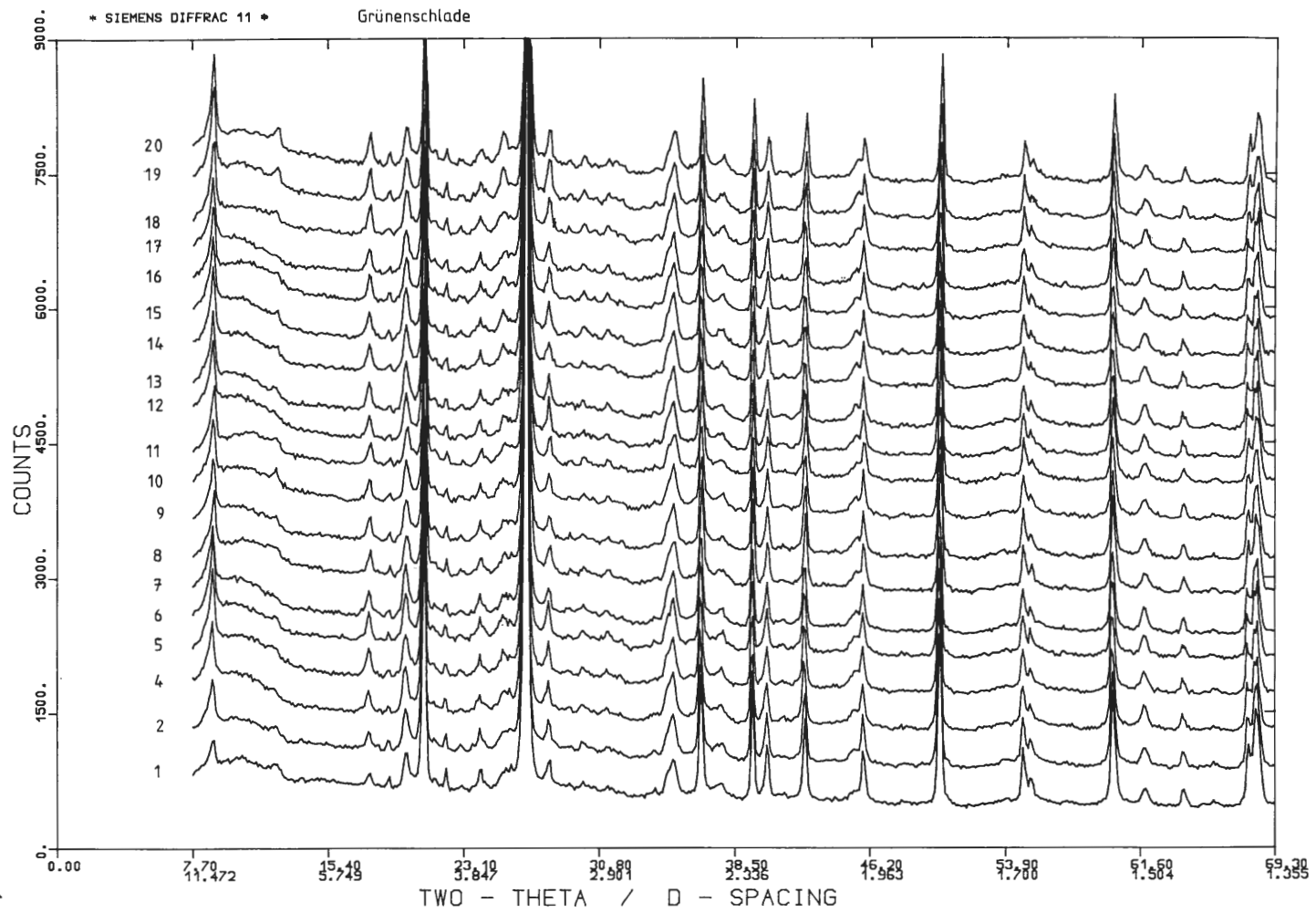


Abb.8 Diffraktogramme des Profils Grünenschlade I

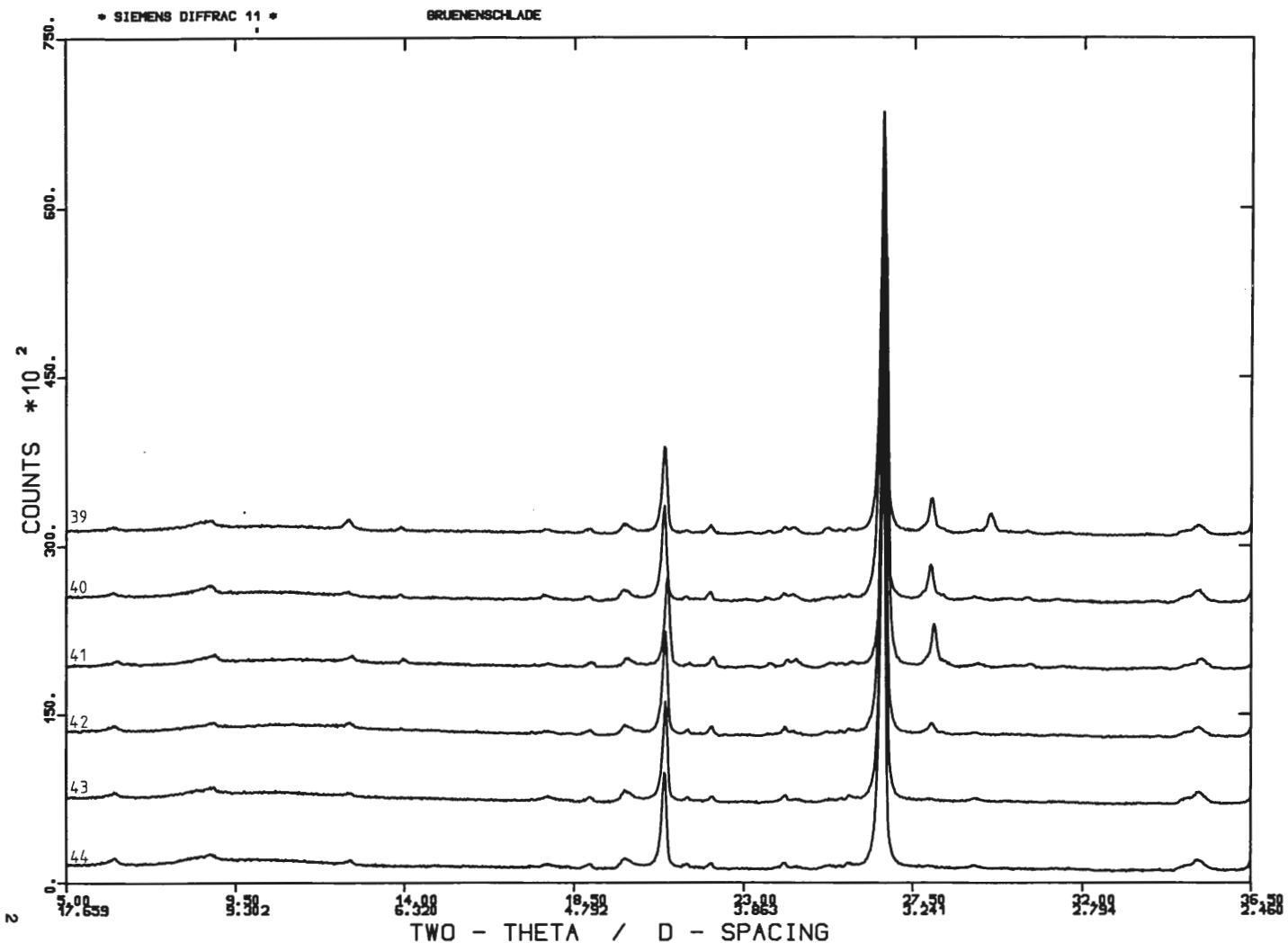


Abb.9 Diffraktogramme des Profile Grünenschlade II

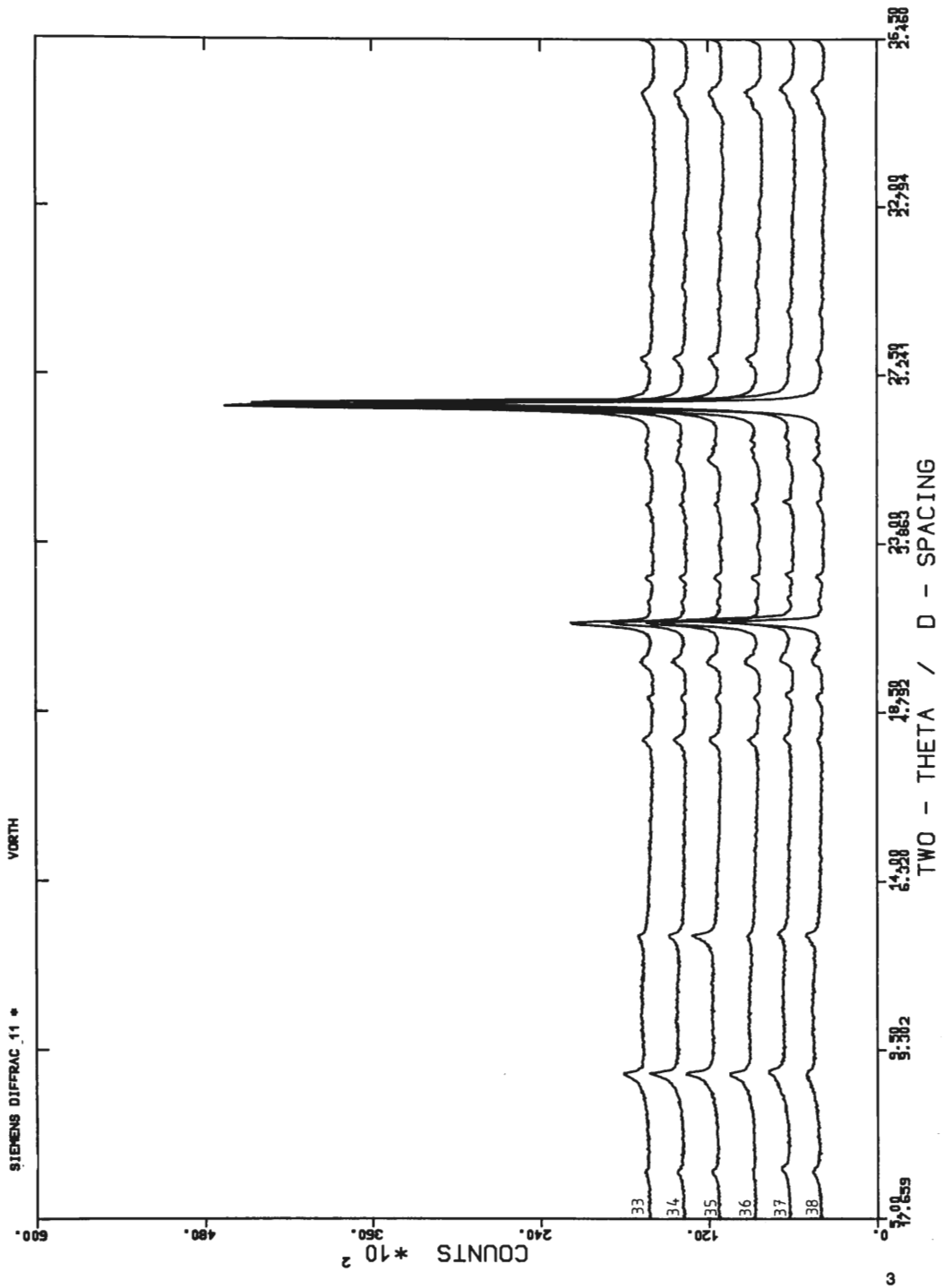


Abb.10 Diffraktogramme des Profils Vorth

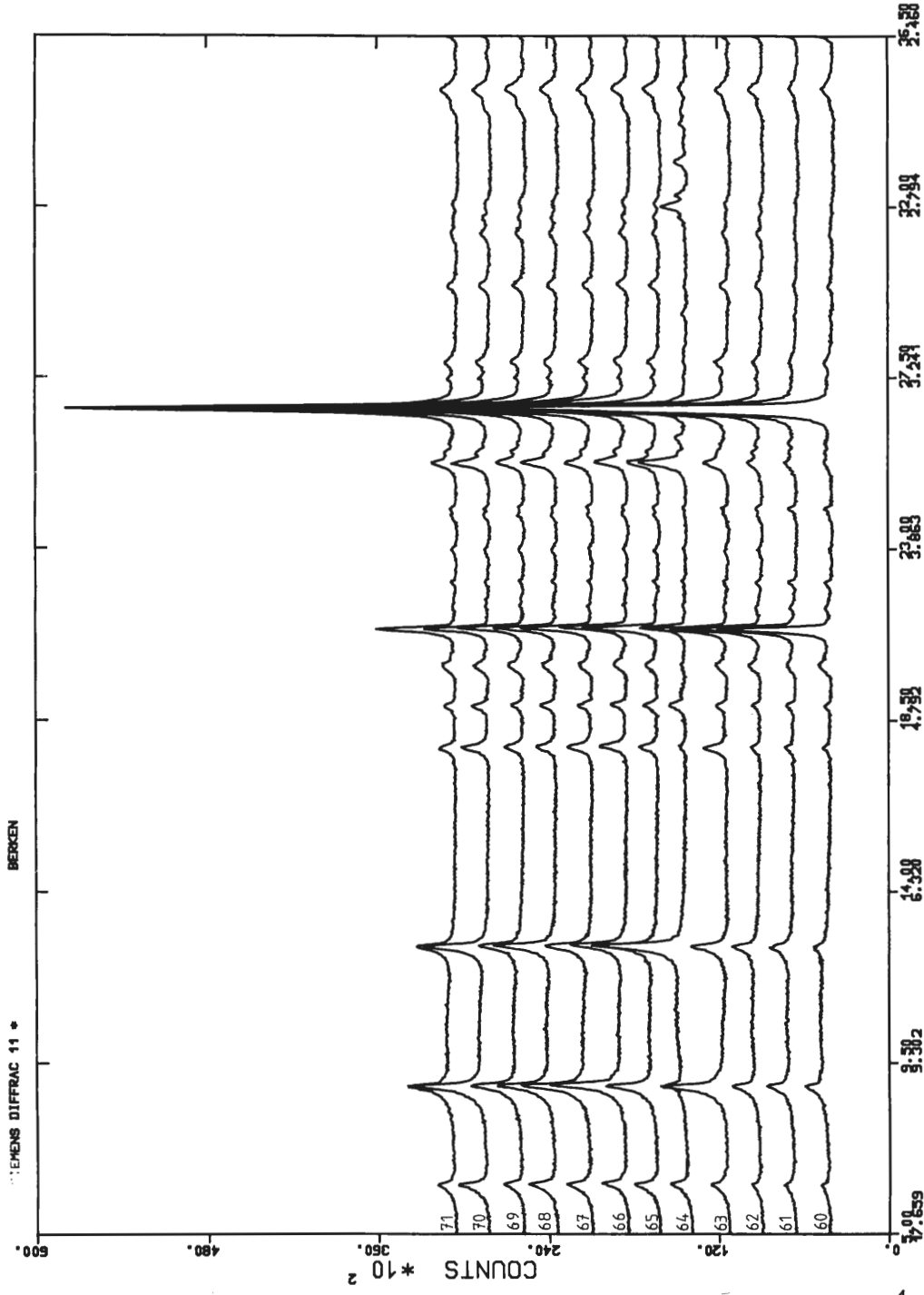


Abb.11 Diffraktogramme des Profils Berken

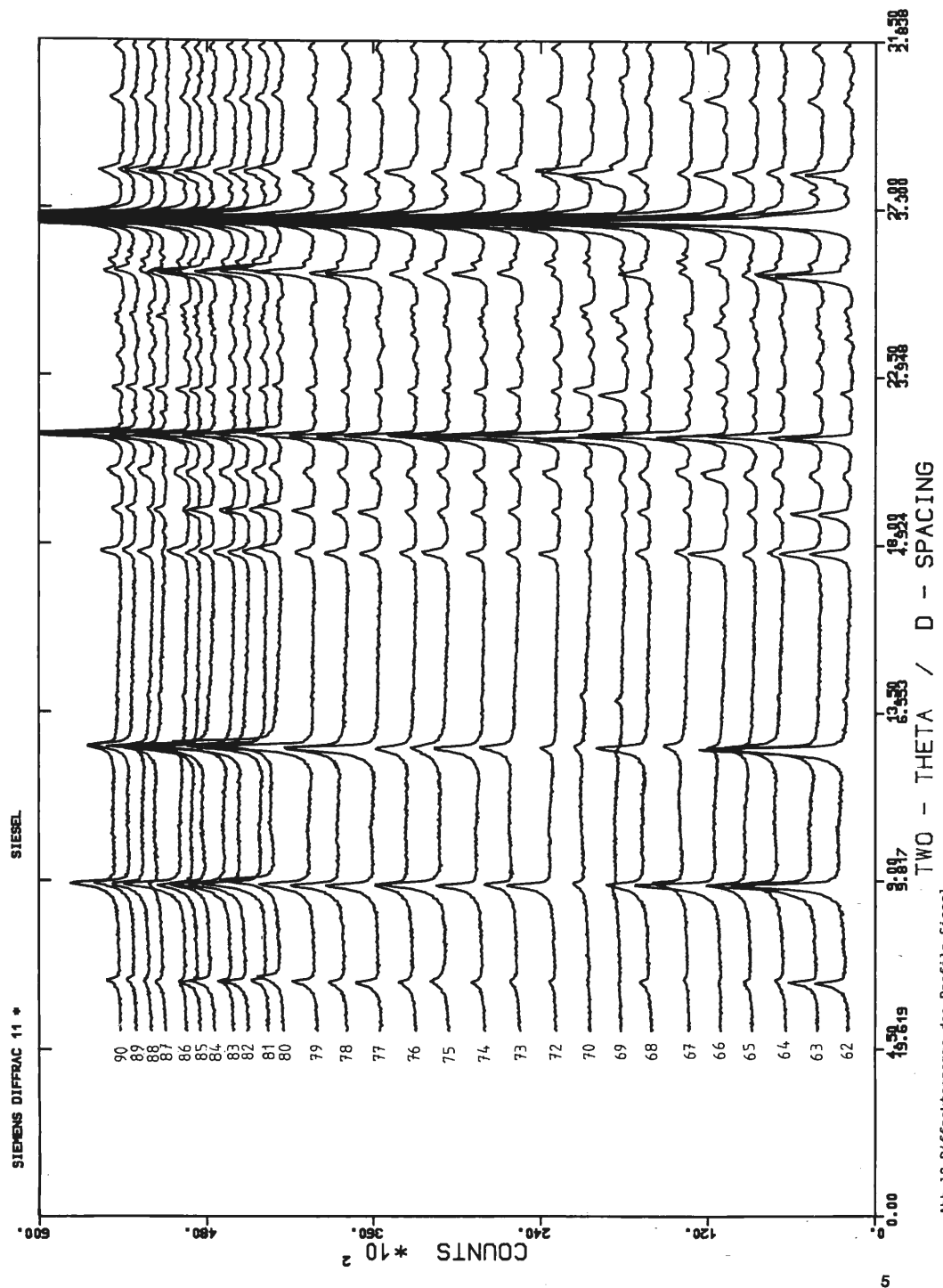


Abb.12 Diffraktogramme des Profils Siesel

STEM	LEAF	
38	0	1
36		
34	0	1
32	0	1
30	0000	4
28	0000000000	12
26	00000000000000	18
24	00000000000000000000	32
22	00000000000000000000	27
20	0000000000000000	18
18	00000000000000000000	24
16	0000000000	11
14	000	3
12	0	1
10	0	1

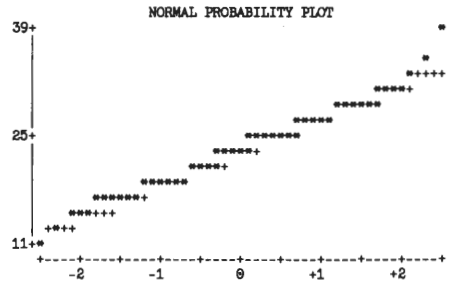


Abb.13 Statistische Parameter der Länge (PDL re)

STEM	LEAF	
9	5	1
9		
8	9	1
8	2	1
7		
7	0124	4
6	55778999	8
6	111224	6
5	55566677777899	15
5	0000002222222222334444	22
4	5555566666666667778888888888888888	34
4	00001111112222222222333333334444444444	34
3	5555666778888889999	20
3	233334	6
2		
2	3	1
1		
1	3	1

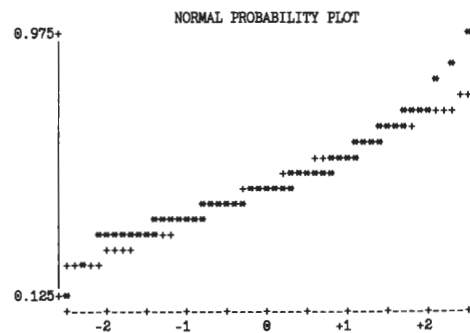


Abb.14 Statistische Parameter des B/L-Index (PDL re)

STEM	LEAF	
38	0	1
37		
36		
35		
34	00	2
33	0	1
32	0	1
31	0	1
30	000	3
29	000000	6
28	00000000	8
27	000000000000	13
26	00000000	7
25	0000000000000000	16
24	00000000000000000000	17
23	00000000000000000000	18
22	00000000	9
21	000000000000	12
20	0000000000000000	15
19	000000	6
18	00000	5
17	0000	4
16	000	3
15		
14	00	2
13	00	2
12		

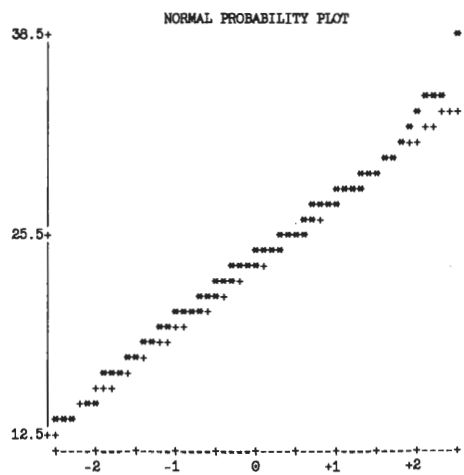


Abb.15 Statistische Parameter der Länge (PDL li)

STEM	LEAF	
7	57	2
7	1	1
6	77899	5
6	00001	5
5	5556678889	10
5	0000000000222222222244	25
4	5555556666666667778888888888888888	38
4	00000011111122222233333344444444	33
3	555566667888888999999	25
3	222333	6
2		
2		
1		
1	2	1

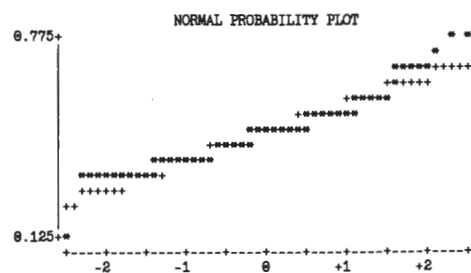
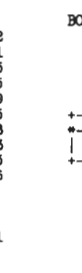


Abb.16 Statistische Parameter des B/L-Index (PDL li)

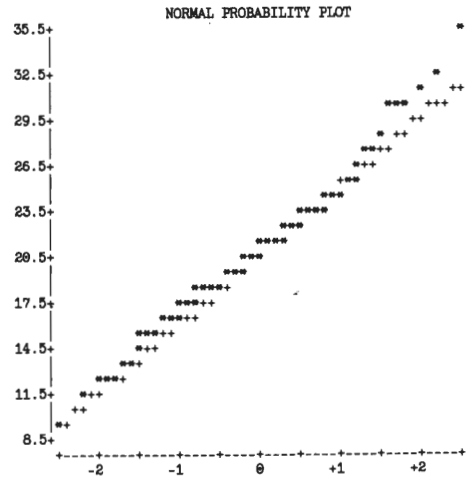
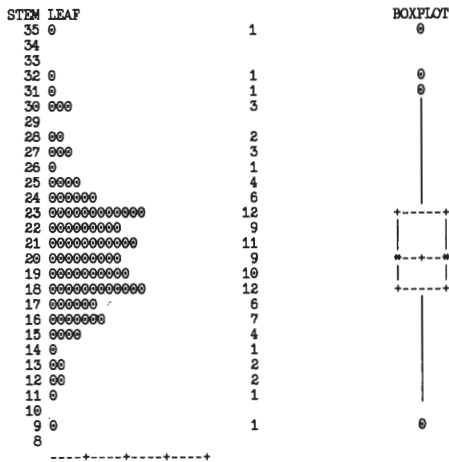


Abb.17 Statistische Parameter der Länge (ADL re)

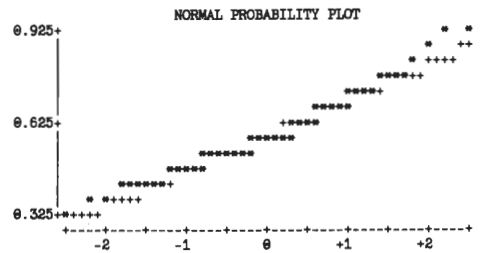
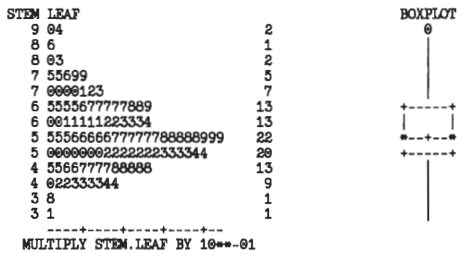


Abb.18 Statistische Parameter des B/L-Index (ADL re)

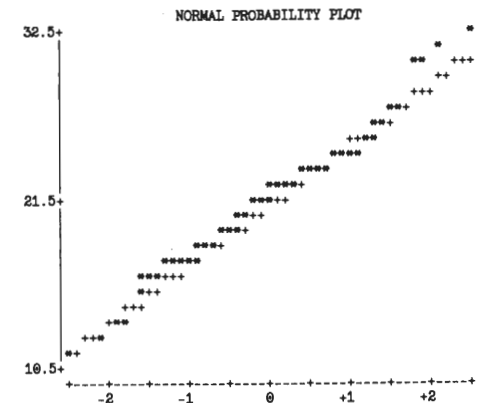
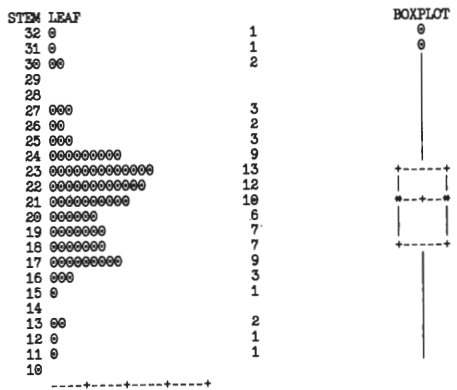


Abb.19 Statistische Parameter der Länge (ADL li)

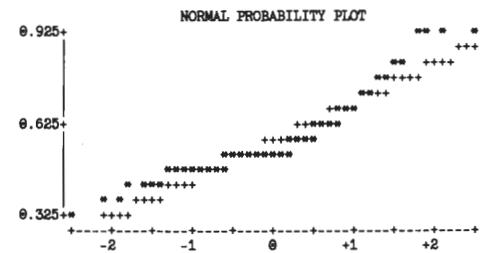
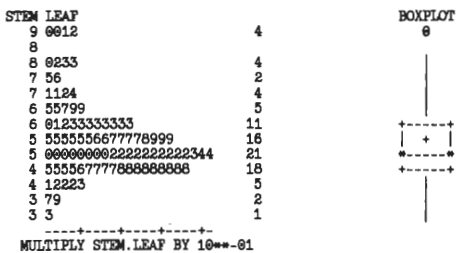


Abb.20 Statistische Parameter des B/L-Index (ADL li)

STEM	LEAF	
32	0	1
31	0	1
30	0	1
29	00	2
28	00	2
27	00	2
25	0000000	8
25	000000	6
24	0000000000	11
23	000000	6
22	00000000	8
21	0000000000000000	16
20	00000000000000	14
19	0000000	7
18	000000000	10
17	00000000	8
16	00000000	9
15	000	3
14		
13	00	2
12	0	1
11	0	1
10	00	2
9		

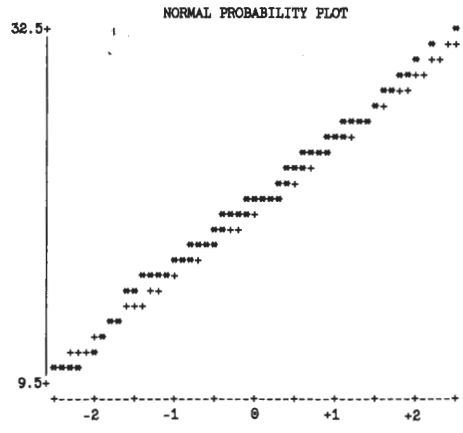


Abb.21 Statistische Parameter der Länge (AL re)

STEM	LEAF	
10	0	1
9		
9		
8		
8		
7		
7	3	1
6		
6		
5	55667889	9
5	0000000000000000222233334	25
4	555555666667777788888888	26
4	0011111111222222223334444444	29
3	5566788888888888889999	25
3	23334	5
2	59	2
2		

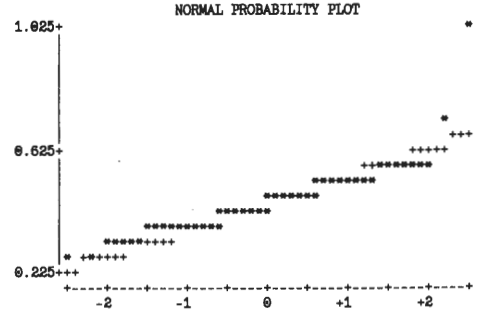
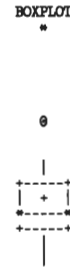


Abb.22 Statistische Parameter des B/L-Index (AL re)

STEM	LEAF	
34	0	1
33		
32		
31	0	1
30		
29	00	2
28	00000	6
27	00000	6
26	00000	5
25	00000	5
24	00000000	9
23	00000000000	12
22	0000000000000000	19
21	0000000000000000	16
20	0000000000000000	13
19	000000000	11
18	000000	7
17	00000	5
16	0000	4
15	00	2
14	00	2
13	0000	4
12		
11		
10	0	1
9		

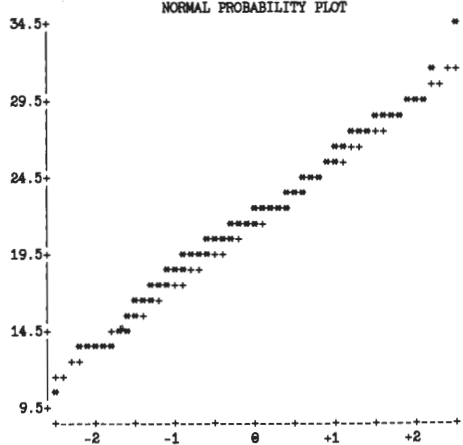


Abb.23 Statistische Parameter der Länge (AL li)

STEM	LEAF	
9		1
8		1
8		1
7		
7		
6		1
6		1
5		1
5		5
4		39
4		48
3		24
3		10

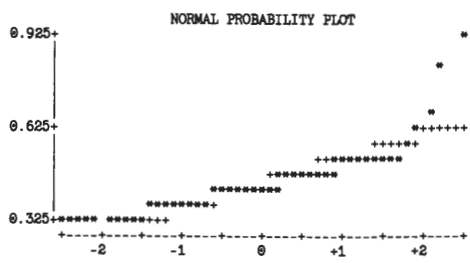


Abb.24 Statistische Parameter des B/L-Index (AL li)

STEM	LEAF	
23	0	1
22		
21	0	1
20		
19	00	2
18	00	2
17	00	2
16	0000000	7
15	0	1
14	0000000	7
13	0000000	7
12	00000000000	11
11	0000000	7
10	0000	4
9	00	2
8	000	3
7		

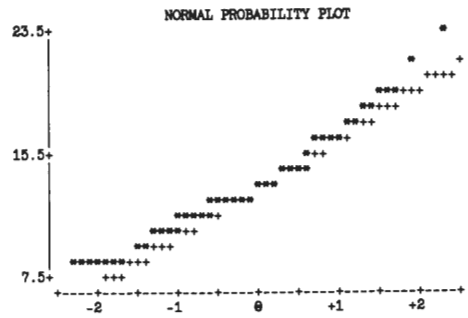


Abb.25 Statistische Parameter der Länge (PL re)

STEM	LEAF	
10	0000000000	10
9		
9	0011222222334444	16
8	566788	6
8	0111122233	10
7	79	2
7	011134	6
6	77777	5
6		
5	8	1
5		
4		
4		
3		
3	0	1
2		

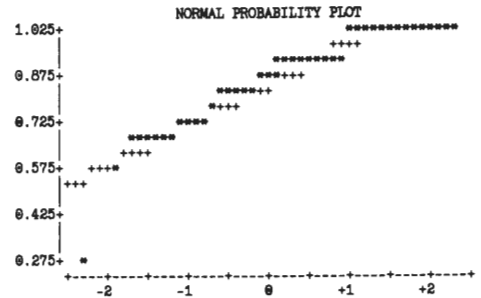


Abb.26 Statistische Parameter des B/L-Index (PL re)

STEM	LEAF	
23	0	1
22		
21		
20	00	2
19		
18		
17	0000	4
16	0000000	7
15	000000	6
14	0000000000	10
13	00000000	8
12	0000000000000	14
11	000000	6
10	0000	4
9		
8		
7		
6		
5	0	1
4		

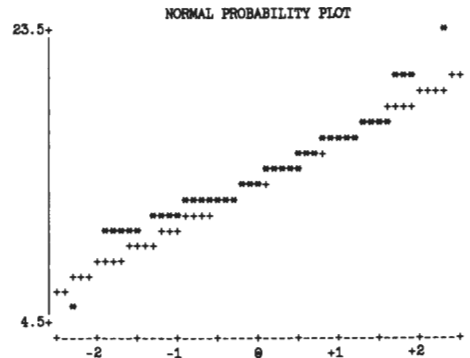


Abb.27 Statistische Parameter der Länge (PL li)

STEM	LEAF	
100	000000000	9
96		
94	00	2
92	00000000000000	14
90	0000000	7
88		
86	0000	4
84	00	2
82	000	3
80	0000	4
78	00	2
76	0	1
74	000	3
72	00	2
70	00	2
68	000	3
66		
64	000	3
62		
60	0	1
58		
56		
54	0	1
52		

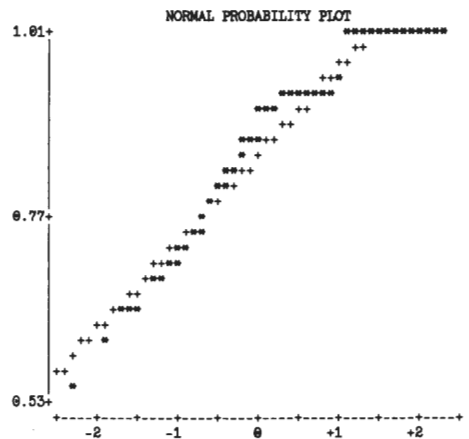


Abb.28 Statistische Parameter des B/L-Index (PL li)

STEM	LEAF	
30	0	1
29	0	1
28	000000	6
27	00	2
26	0000	4
25	000000	6
24	0000000	7
23	0000000000	10
22	00000000000	11
21	0000000	7
20	000000000000	13
19	00000	5
18	00000	5
17	000	3
16	0	1
15	000	3
14	000	3
13		

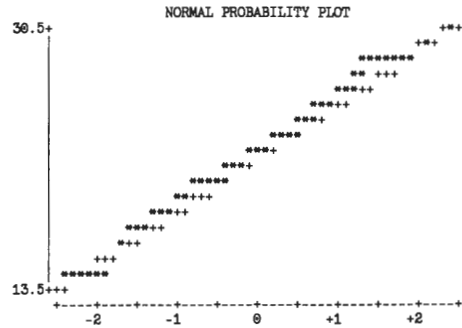
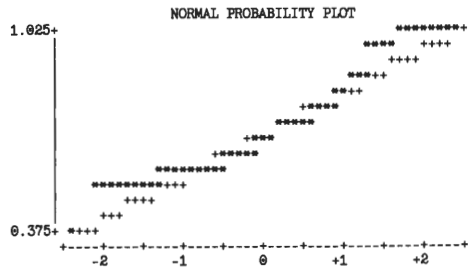


Abb.29 Statistische Parameter der Länge (PVL re)

STEM	LEAF	
10	0000	4
9	5566	4
9		
8	5569	4
8	0023	4
7	55567778	8
7	000011111444	13
6	55557888	9
6	000012222334	13
5	55556667777788999	18
5	0002234	7
4		
4	0	1
3		



MULTIPLY STEM.LEAF BY 10***-01

Abb.30 Statistische Parameter des B/L-Index (PVL re)

STEM	LEAF	
30	000	3
29	0	1
28	00	2
27	00000	5
26	0000	4
25	000000	6
24	000000000	10
23	000000000000000	15
22	00000000000000	14
21	000000	6
20	00000000000000	15
19	00000	7
18	0000000	7
17	000	3
16	0	1
15	000	3
14	0	1
13	00	2
12	0	1
11		

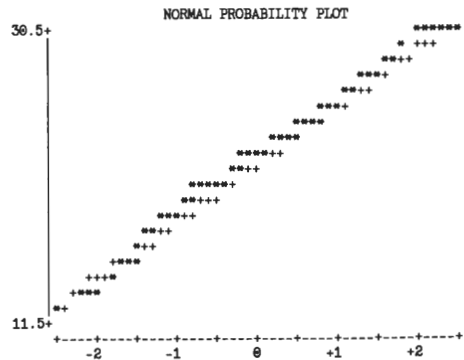
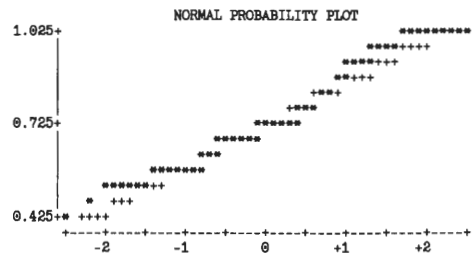
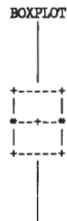


Abb.31 Statistische Parameter der Länge (PVL li)

STEM	LEAF	
10	00000	5
9	55556	5
9	0001124	7
8	569	3
8	0001123	7
7	556778009	10
7	00001111112223334444	20
6	55555777777888889	18
6	00011233	8
5	5566778889999	13
5	000022	6
4	8	1
4	3	1



MULTIPLY STEM.LEAF BY 10***-01

Abb.32 Statistische Parameter des B/L-Index (PVL li)

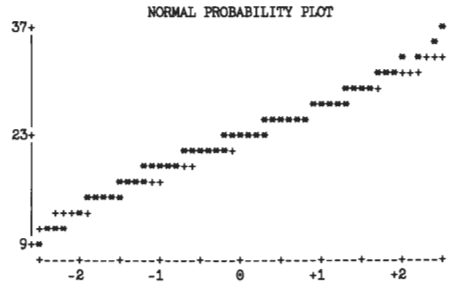
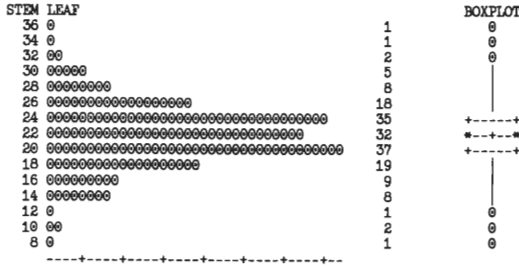


Abb.33 Statistische Parameter der Länge (AVL re)

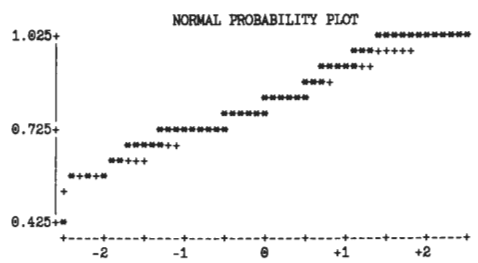
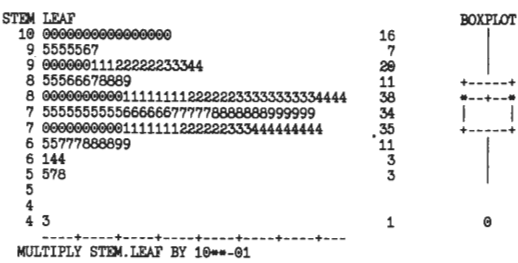


Abb.34 Statistische Parameter des B/L-Index (AVL re)

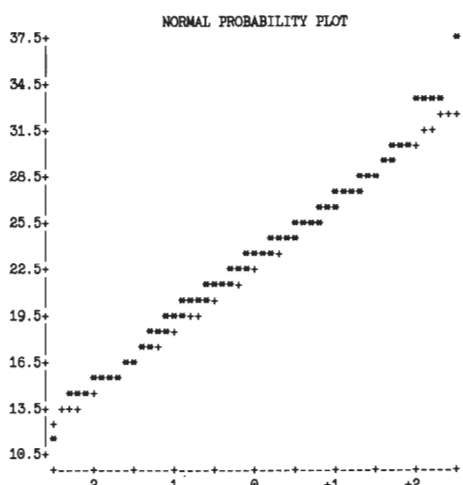
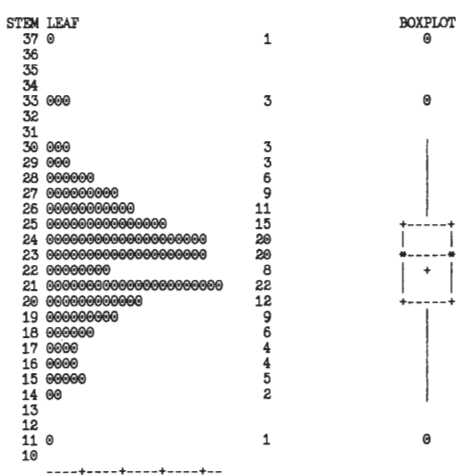


Abb.35 Statistische Parameter der Länge (AVL li)

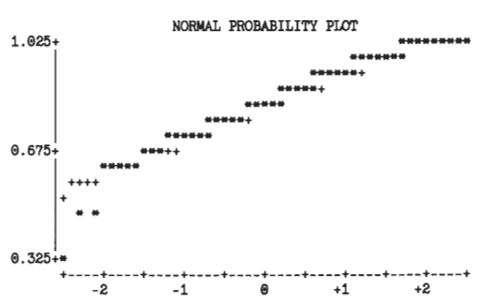
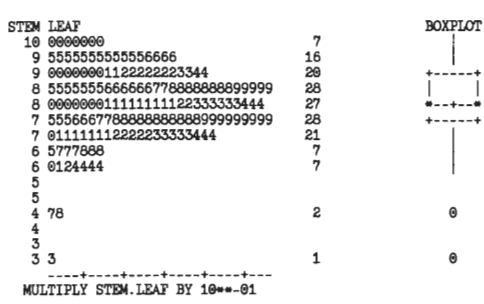


Abb.36 Statistische Parameter des B/L-Index (AVL li)

STEM	LEAF	
14	00	2
13		
12	00	2
11	000000	6
10	00	2
9	000	3
8	000	3
7	00	2
6	00	2
5	00	2

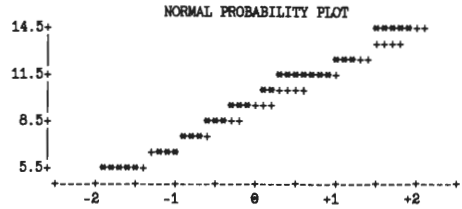


Abb.37 Statistische Parameter der Länge (AMV)

STEM	LEAF	
22	0	1
20		
18		
16		
14	05500	5
12	009368	6
10	00947	5
8	291	3
6	13	2
4	00	2

MULTIPLY STEM.LEAF BY 10**-.01

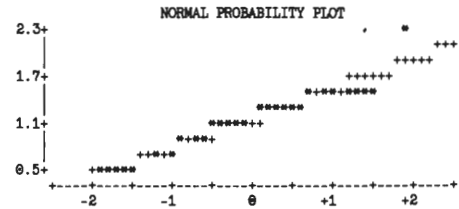
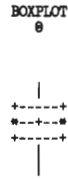


Abb.38 Statistische Parameter des B/L-Index (AMV)

STEM	LEAF	
27	0	1
26		
25		
24		
23		
22		
21		
20		
19	0000	4
18	0000	5
17	0000	5
16	00000	6
15	0000000000	12
14	000000000000	15
13	00000000	8
12	000000000	10
11	0000	4
10	0000	4
9	00000	5
8	000	3
7	000	3
6	00	2
5		
4	0	1
3		

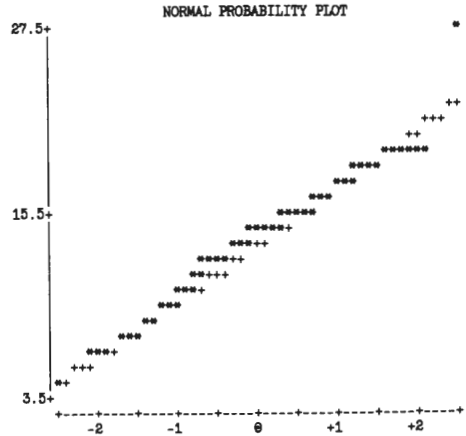
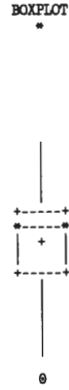


Abb.39 Statistische Parameter der Länge (PMV)

STEM	LEAF	
100	000	3
98		
96		
94	0	1
92	00000000	8
90	000	3
88	0	1
86	00000	5
84	00	2
82	00000000	8
80	0	1
78	00000	5
76	000	3
74	00000	5
72	000000	6
70	000000000	9
68	00	2
66	0000000	7
64	0000	4
62	00000000	8
60	0000	4
58		
56	00	2
54		
52	0	1

MULTIPLY STEM.LEAF BY 10**-.02

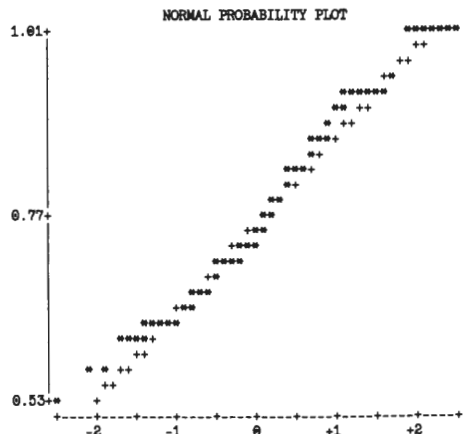


Abb.40 Statistische Parameter des B/L-Index (PMV)

```

STEM LEAF
18 00          2
16 00000000  9
14 000000000 11
12 000        3
10 0          1
8
6 0
-----+-----+

```

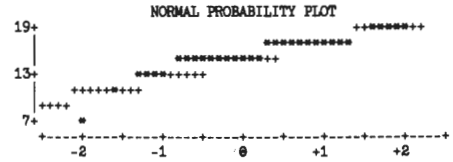


Abb.41 Statistische Parameter der Länge (Ce re)

```

STEM LEAF
7 7          1
7 11133     5
6 579       3
6 04        2
5 666677999 9
5 003333    6
4 6          1
-----+-----+
MULTIPLY STEM.LEAF BY 10**-.01

```

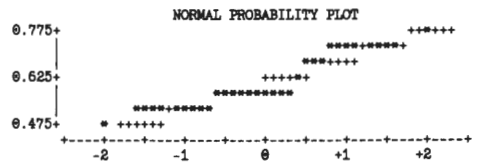


Abb.42 Statistische Parameter des B/L-Index (Ce re)

```

STEM LEAF
24 0          1
22
20
18
16 000000    6
14 000000    5
12 0          1
10 0          1
-----+-----+

```

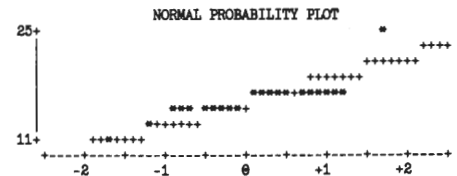
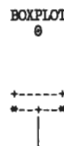


Abb.43 Statistische Parameter der Länge (Ce li)

```

STEM LEAF
7 133        3
6 99         2
6
5 5679       4
5 00333      5
4
-----+-----+
MULTIPLY STEM.LEAF BY 10**-.01

```

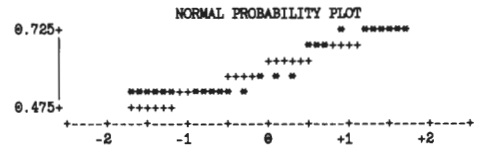
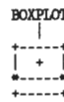


Abb.44 Statistische Parameter des B/L-Index (Ce li)

```

STEM LEAF
16 000000    6
14 000000    6
12 0000      4
10 000       3
8 0          1
-----+-----+

```

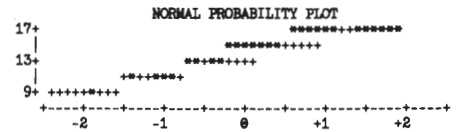
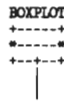


Abb.45 Statistische Parameter der Länge (Nu)

```

STEM LEAF
5 68         2
5 3          1
4 56         2
4 012333344 9
3 5668       4
3 11         2
-----+-----+
MULTIPLY STEM.LEAF BY 10**-.01

```

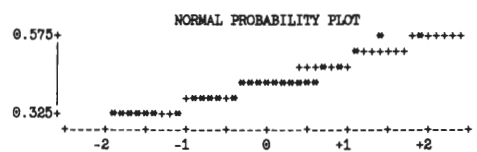
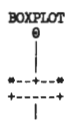


Abb.46 Statistische Parameter des B/L-Index (Nu)

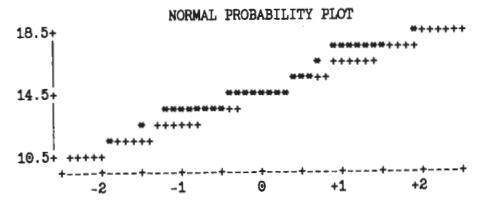
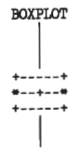
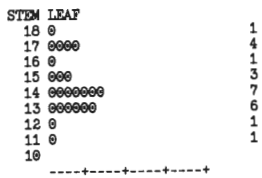


Abb.47 Statistische Parameter der Länge (PNU re)

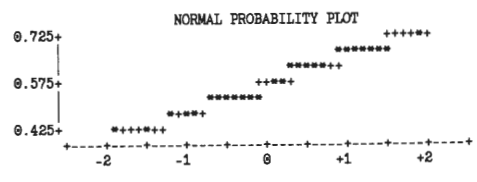
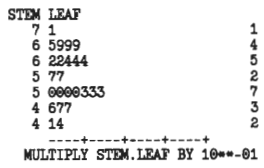


Abb.48 Statistische Parameter des B/L-Index (PNU re)

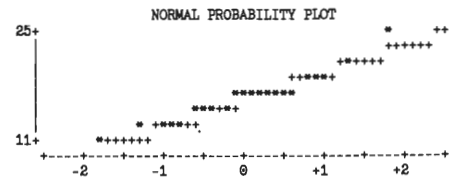
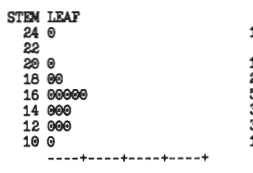


Abb.49 Statistische Parameter der Länge (PNU li)

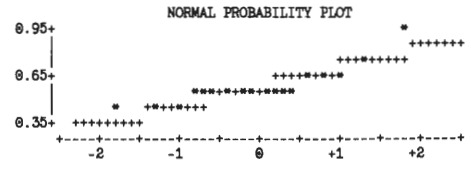
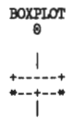
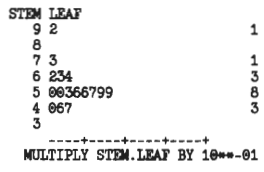


Abb.50 Statistische Parameter des B/L-Index (PNU li)

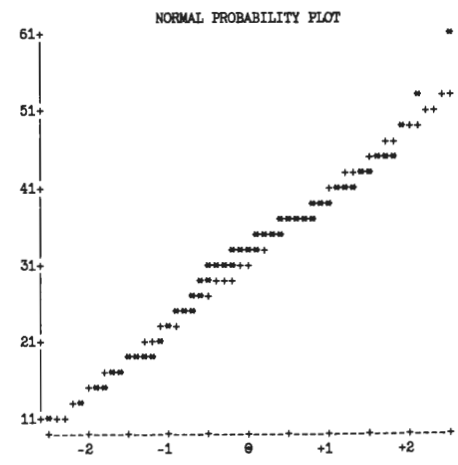
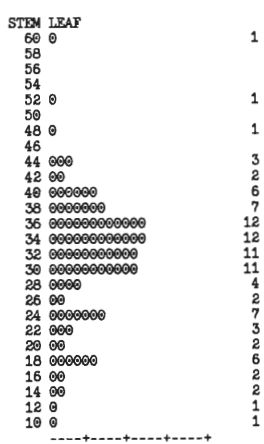


Abb.51 Statistische Parameter der Länge (MD, Männchen)

STEM LEAF	
48 0	1
47 0	1
46 0000	4
45 00000	5
44 0000000	8
43 0000000	7
42 000	3
41 0000000	7
40 0000	4
39 00000000	8
38 00000000	8
37 0000	4
36 00	2
35 000	3
34 000000000	9
33 00000	4
32 00000	4
31 000	3
30 000	3
29 00	2
28 00	2
27 000	3
26	
25	
24 0	1
23 0	1
22	

MULTIPLY STEM LEAF BY 10⁻⁰²

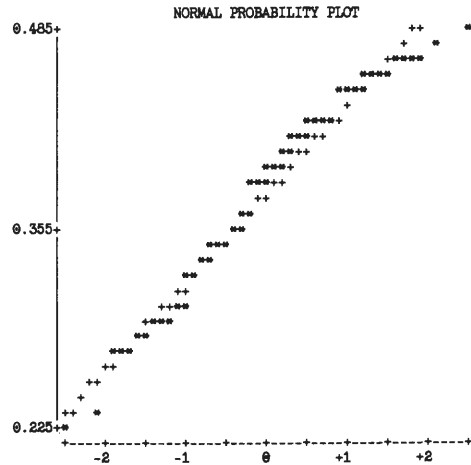


Abb.52 Statistische Parameter des B/L-Index (MD, Männchen)

STEM LEAF	
64 0	1
62	
60	
58	
56	
54	
52	
50 00	2
48 000	3
46 000	3
44 000000	6
42 00	2
40 00000	5
38 0000000000	11
36 000000000000000	16
34 00000000	9
32 0000000000	11
30 00000	5
28 0000000	8
26 000000	6
24 000	3
22 000	3
20 00	2
18 0	1
16 0	1
14 00	2

MULTIPLY STEM LEAF BY 10⁻⁰²

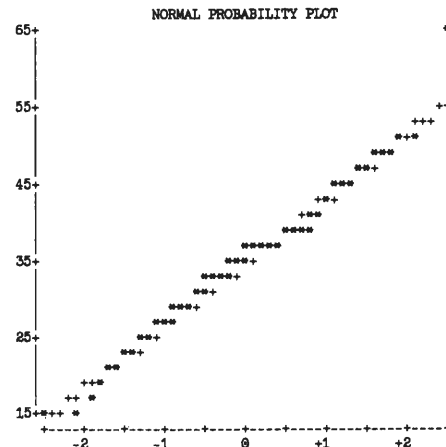
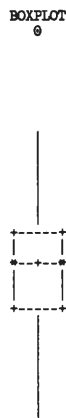


Abb.53 Statistische Parameter der Länge (MD, Weibchen)

STEM LEAF	
100 0	1
98	
96 0	1
94 0	1
92	
90	
88	
86 0	1
84	
82 0	1
80 000	3
78 0	1
76 0	1
74	
72	
70 0	1
68 0000	4
66 00	2
64 000000	6
62 00000	5
60 0000000000	10
58 0000000000	10
56 000000000	9
54 000000000000	13
52 0000000	7
50 000000000000	13
48 00000	5
46 00000	5
44	

MULTIPLY STEM LEAF BY 10⁻⁰²

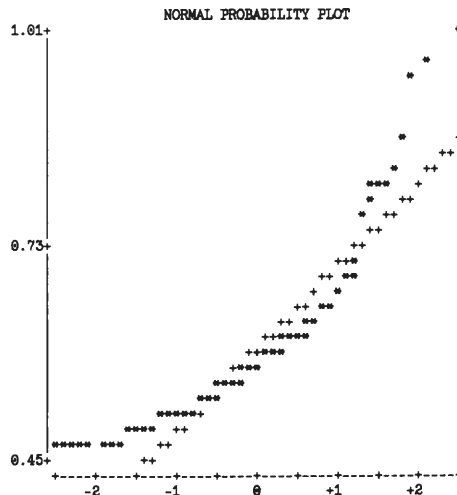


Abb.54 Statistische Parameter des B/L-Index (MD, W.)

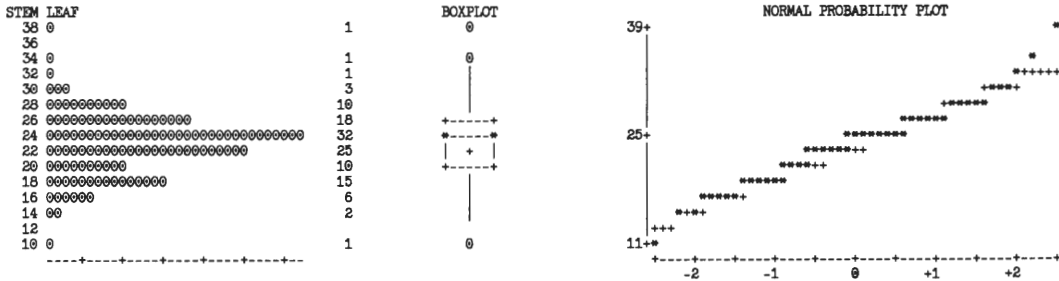


Abb.55 Statistische Parameter der Länge (PDI re, M.)

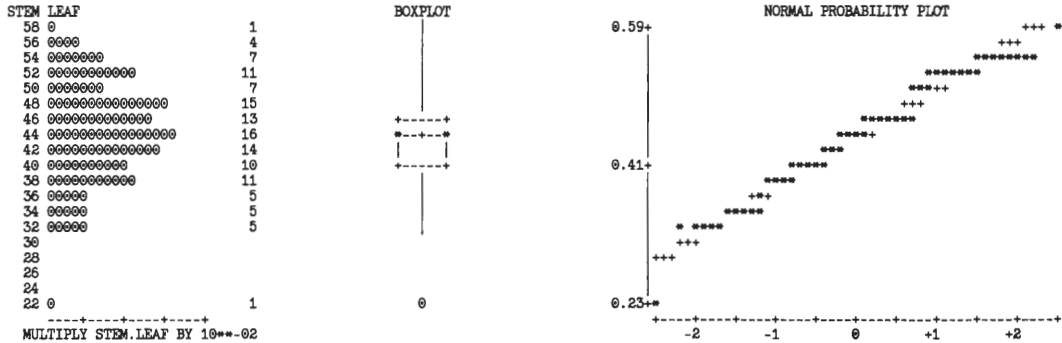


Abb.56 Statistische Parameter des B/L-Index (PDL re, M.)

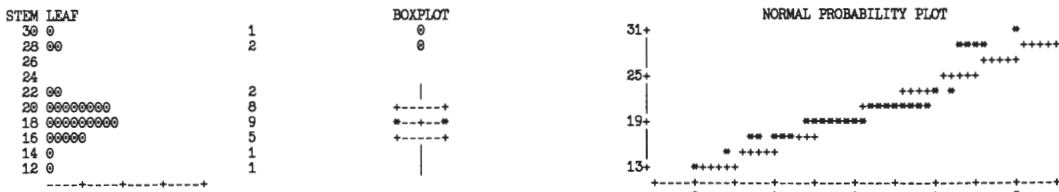


Abb.57 Statistische Parameter der Länge (PDL re, W.)

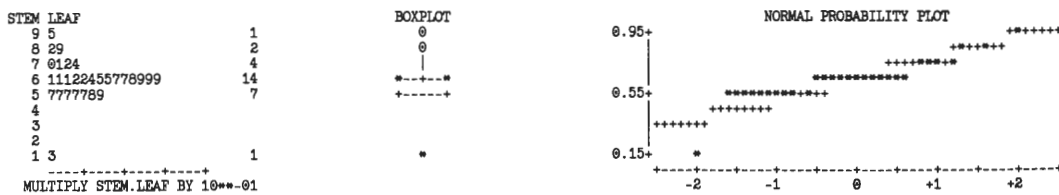


Abb.58 Statistische Parameter der B/L-Index (PDL re, W.)

Profil 1

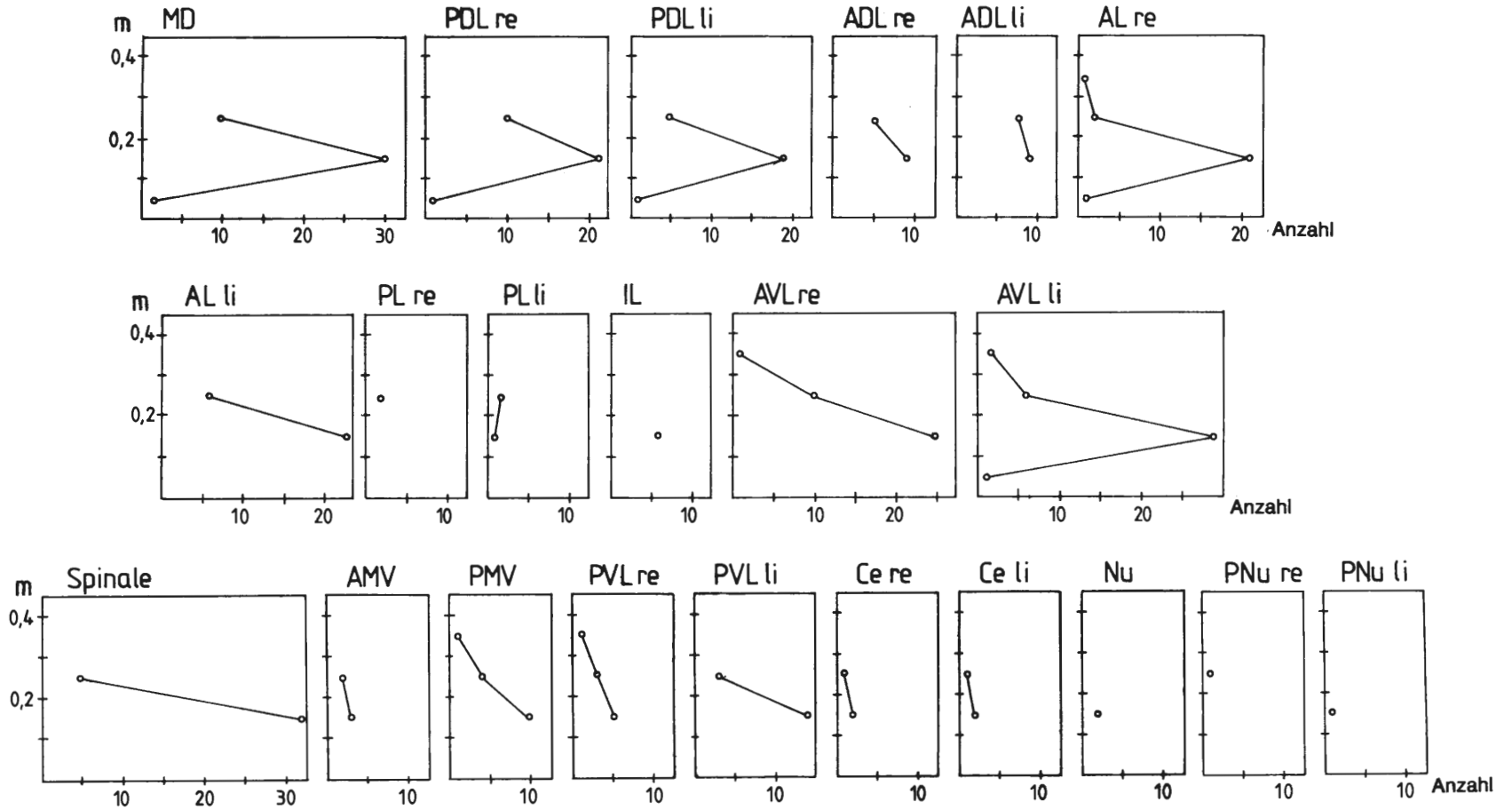


Abb.59 Verteilung der Knochenplatten im Profil 1

Profil 2

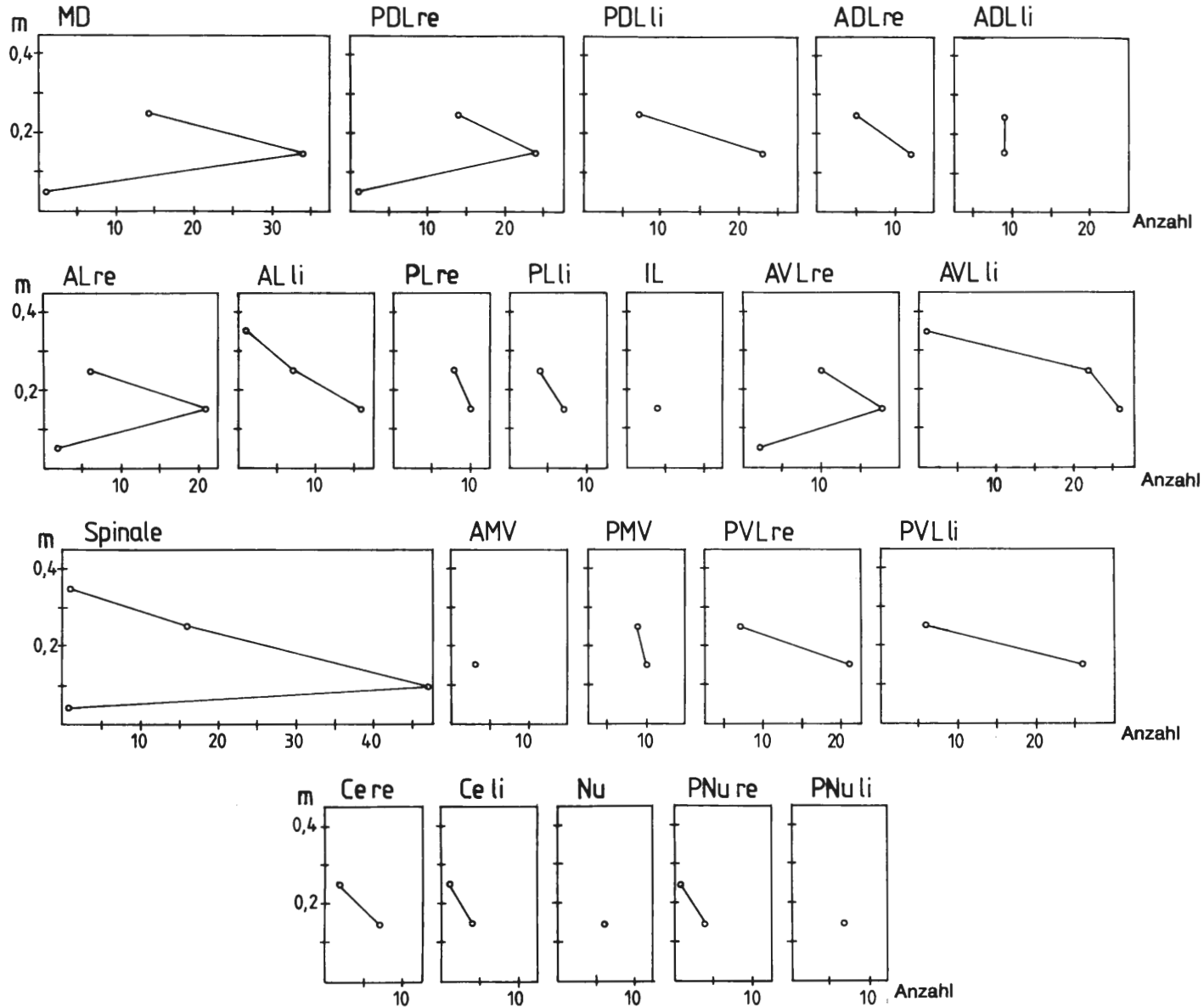


Abb.60 Verteilung der Knochenplatten im Profil 2

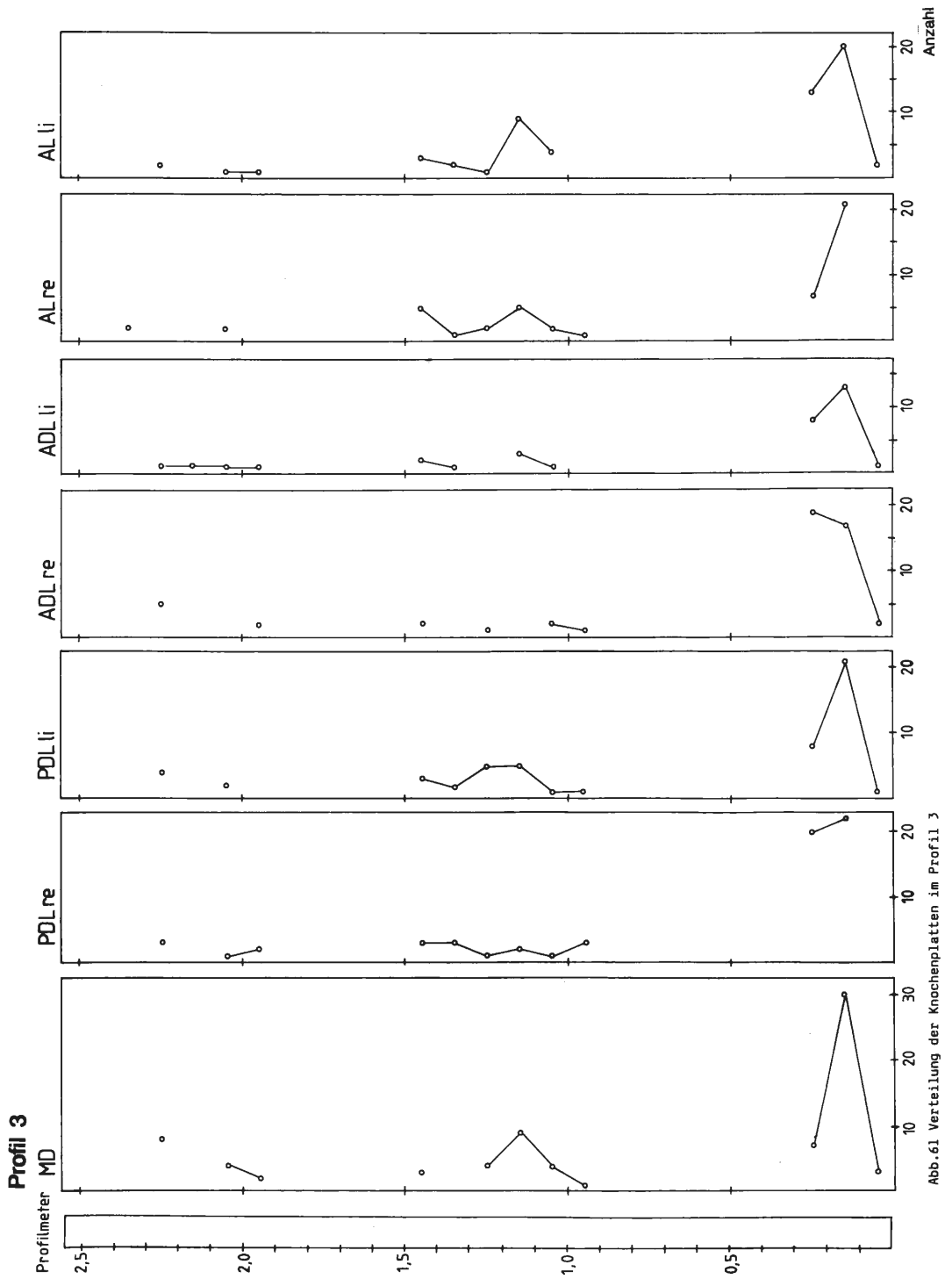


Abb.61 Verteilung der Knochenplatten im Profil 3

Profil 3

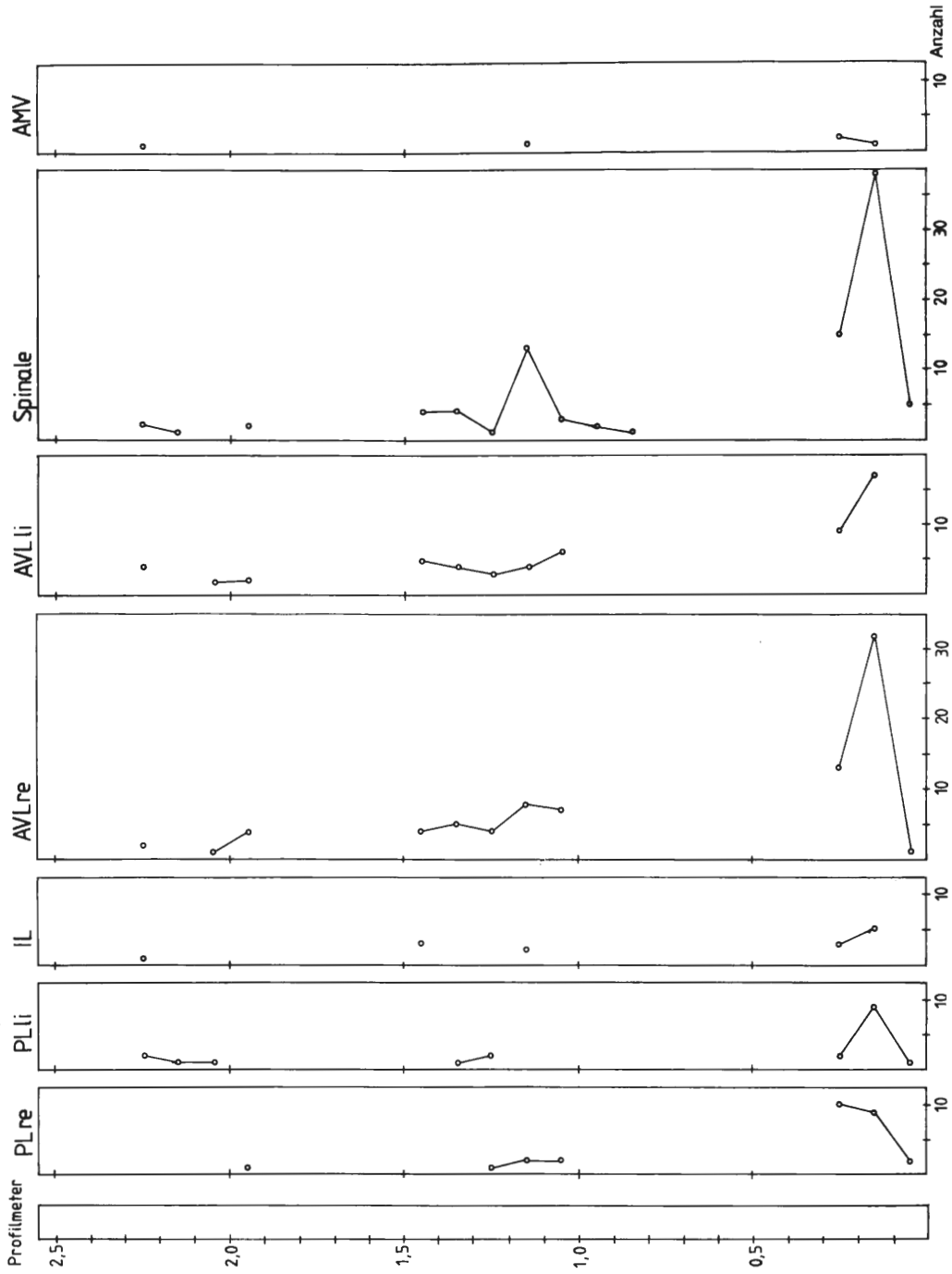


Abb. 62 Verteilung der Knochenplatten im Profil 3

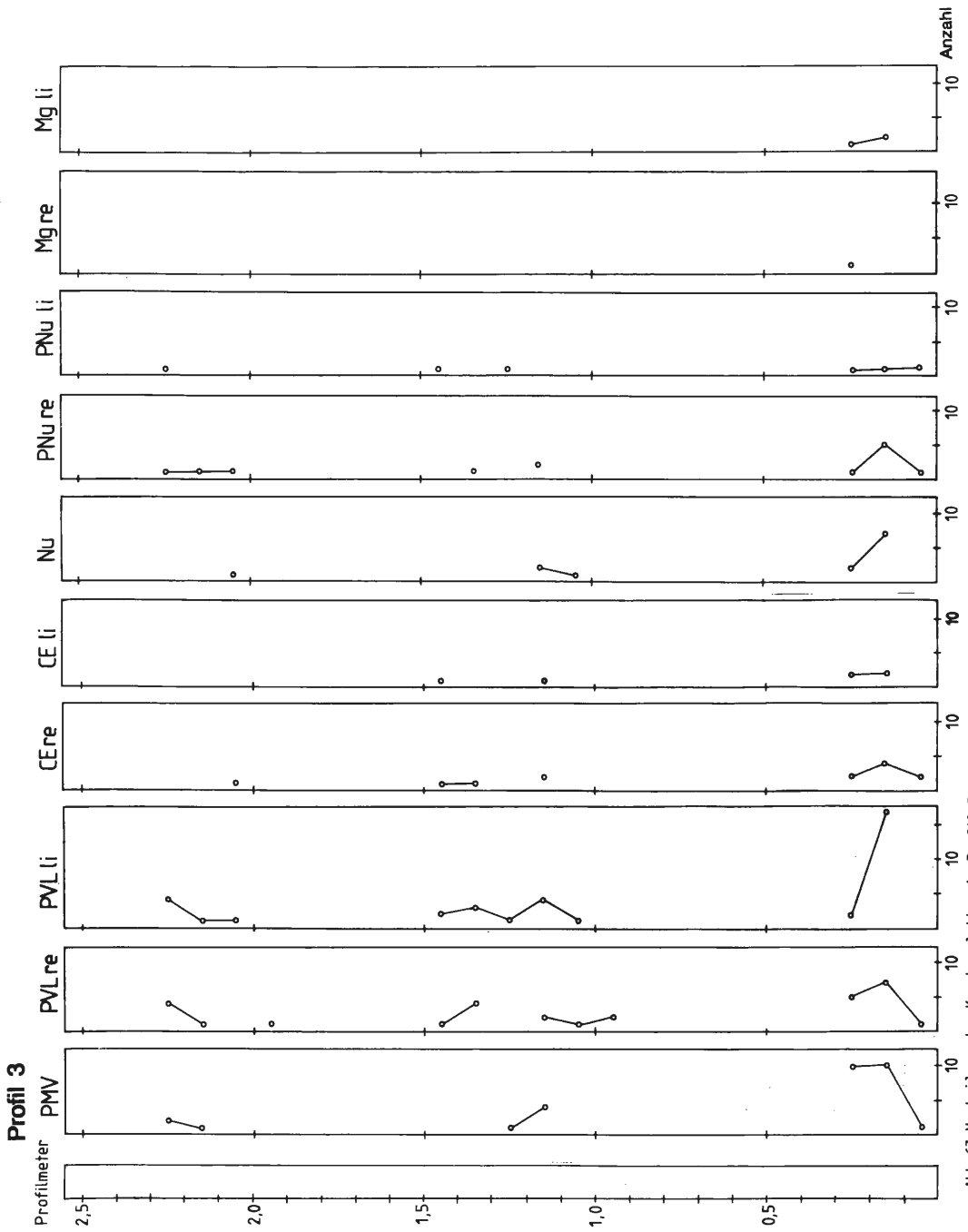


Abb.63 Verteilung der Knochenplatten im Profil 3

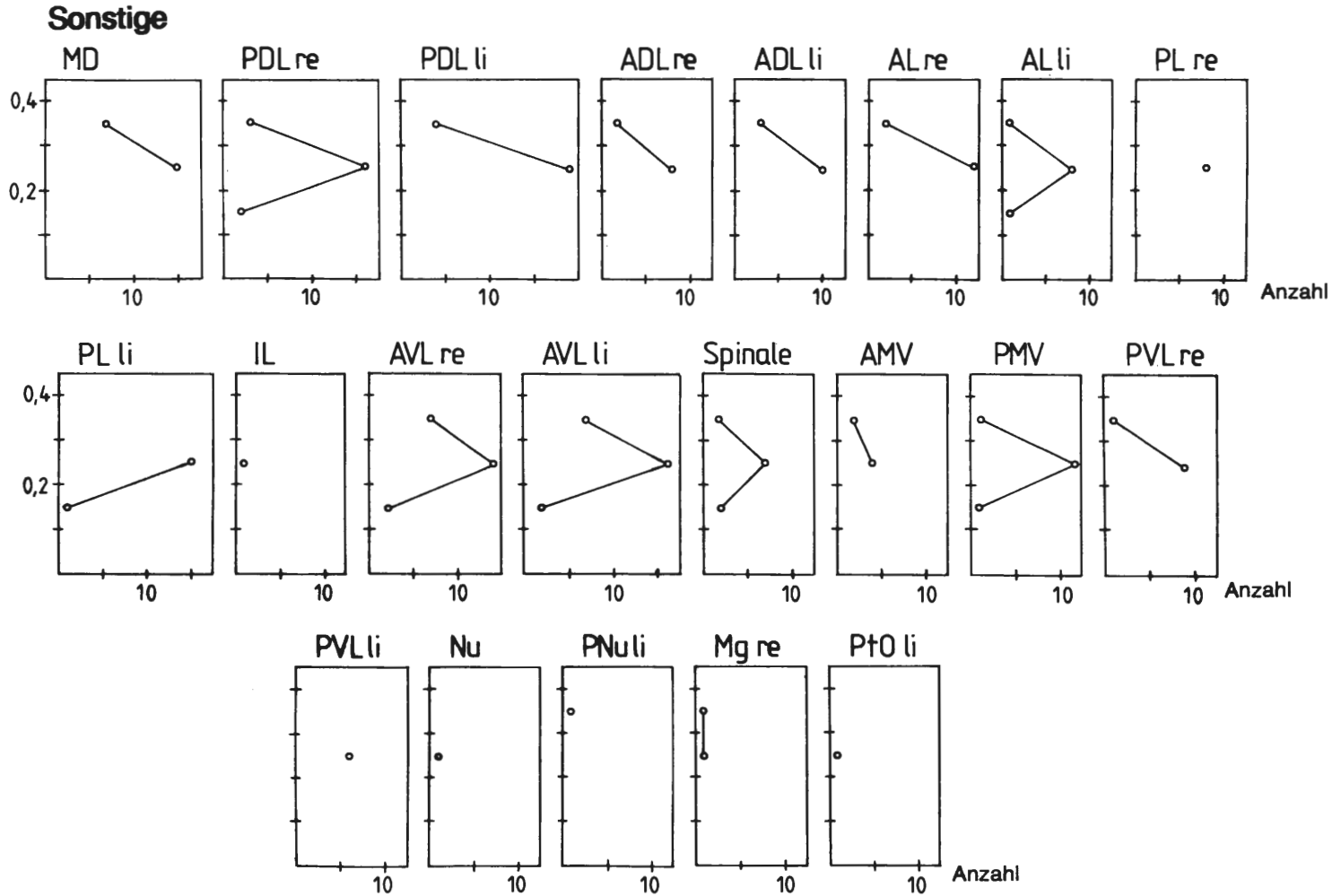


Abb.64 Verteilung der Knochenplatten (Sonstige)

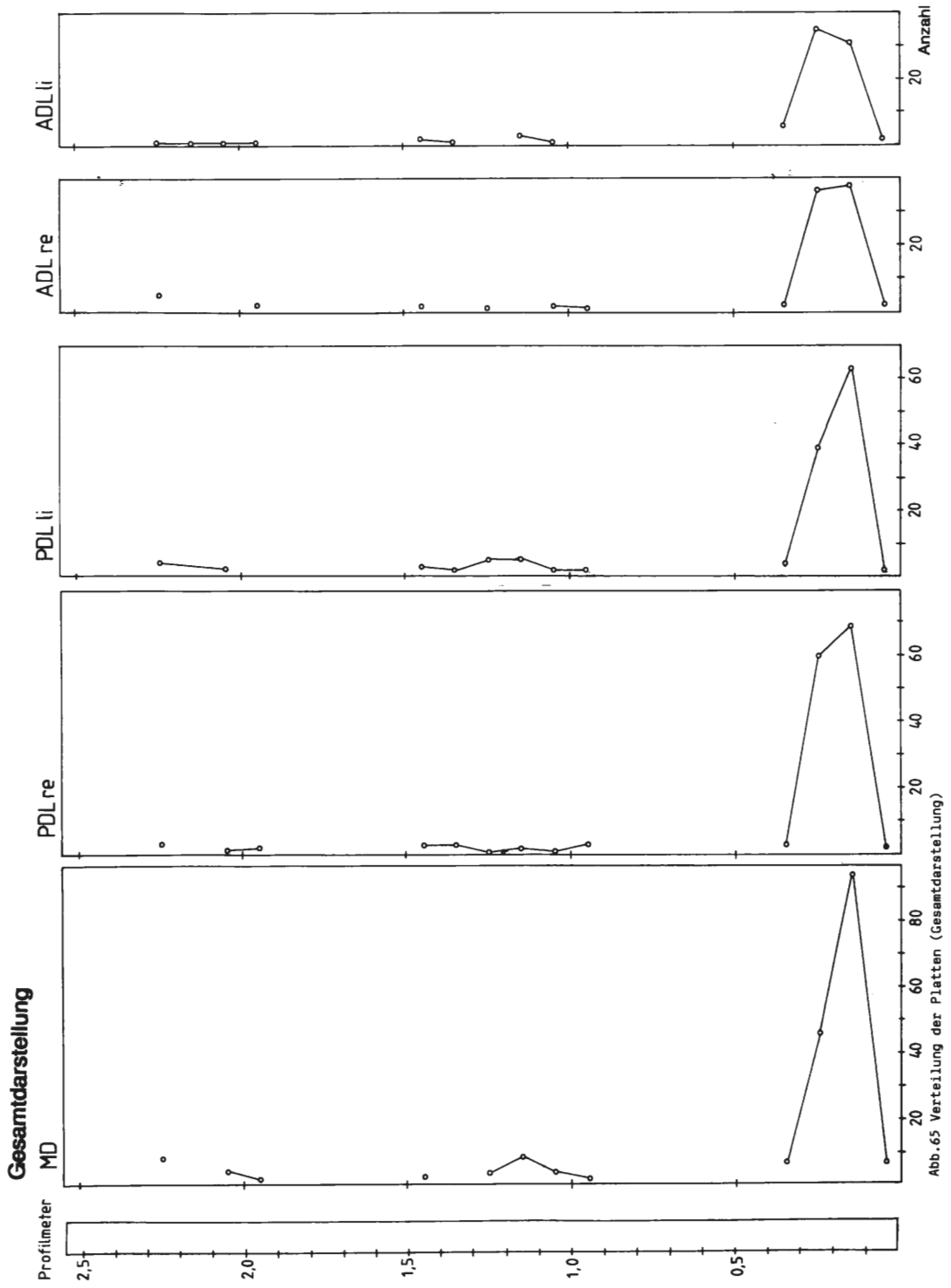


Abb. 65 Verteilung der Platten (Gesamtdarstellung)

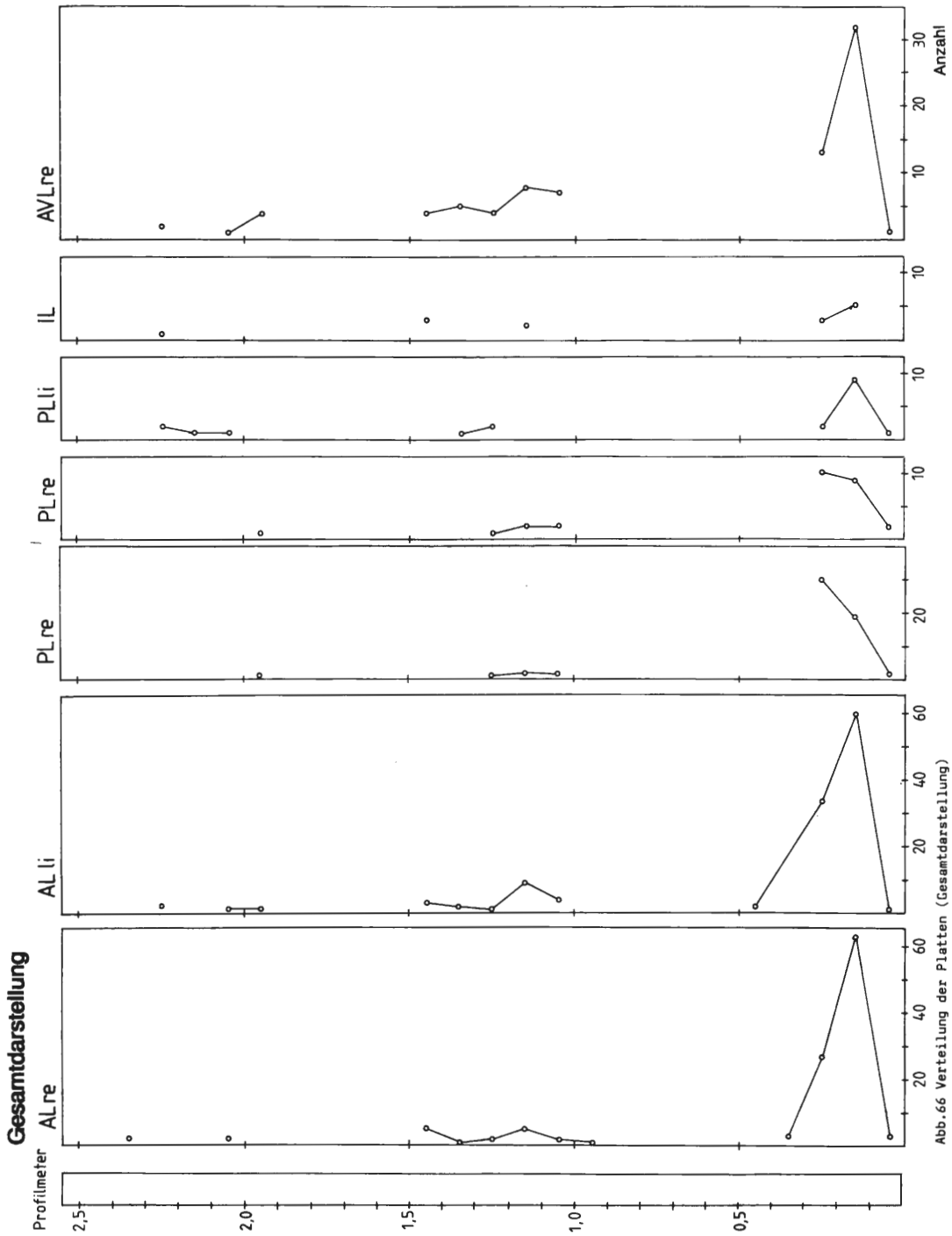


Abb.66 Verteilung der Platten (Gesamtdarstellung)

Gesamtdarstellung

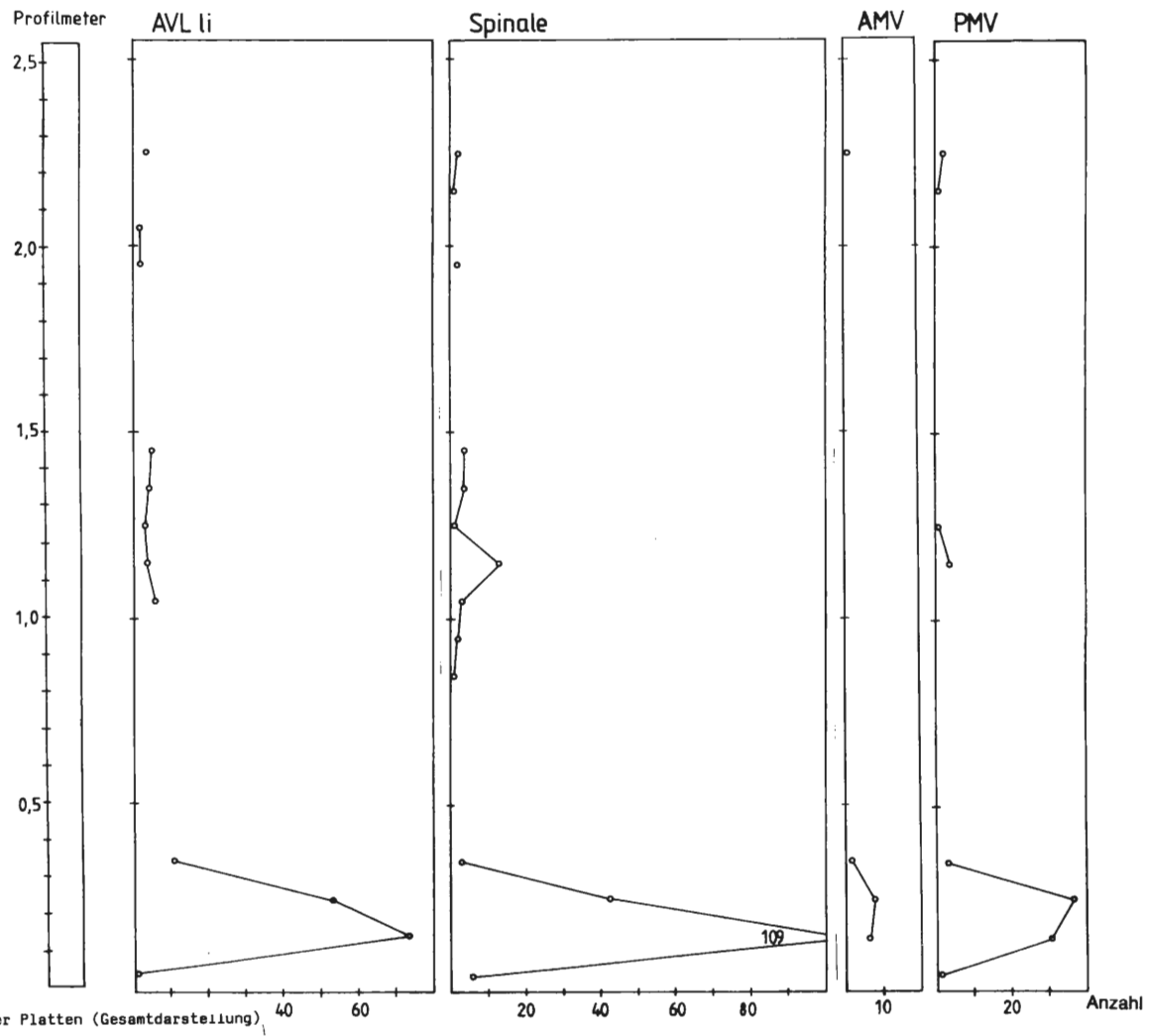


Abb.67 Verteilung der Platten (Gesamtdarstellung)

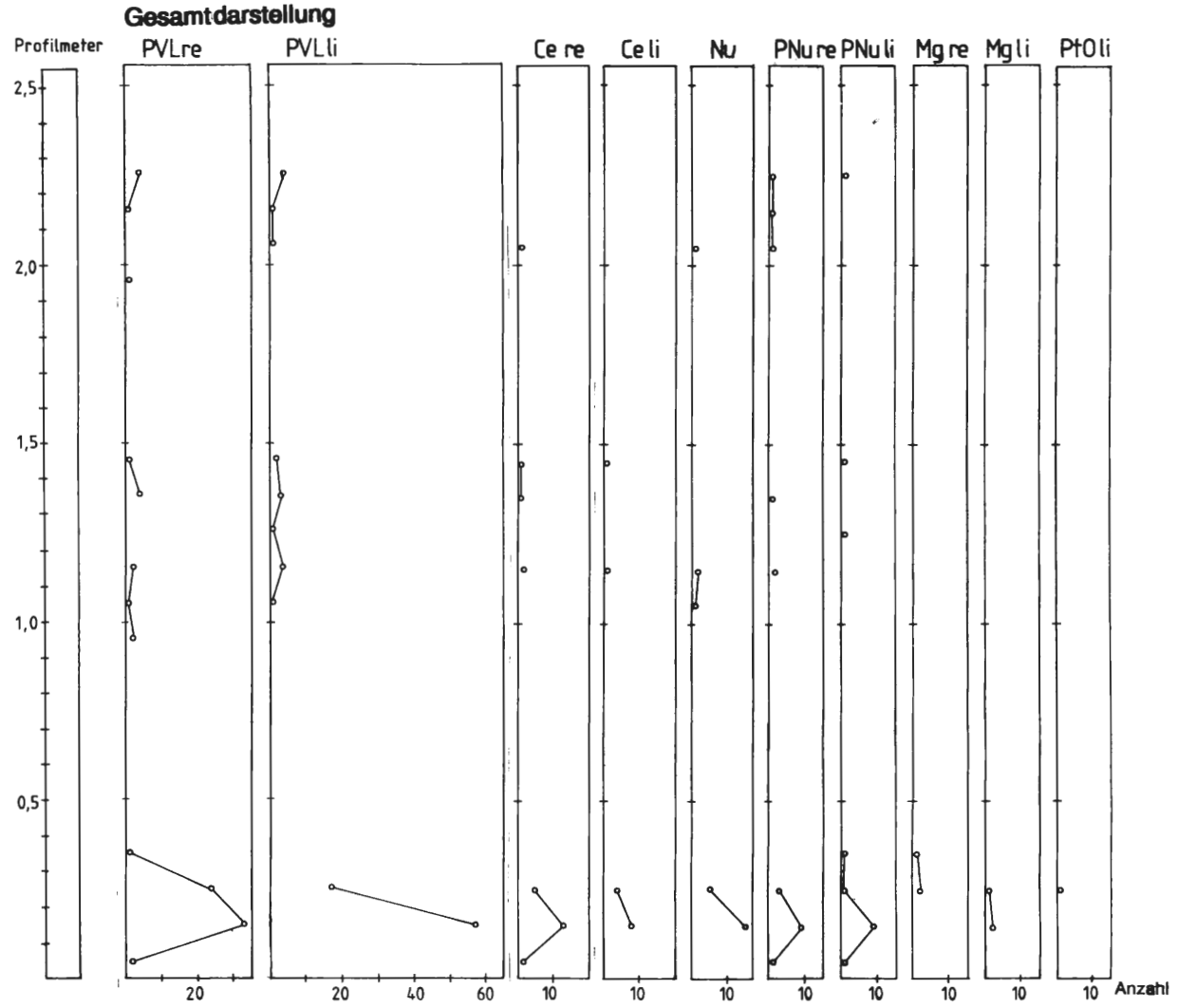


Abb.68 Verteilung der Platten (Gesamtdarstellung)

STEM	LEAF	
36	62	2
34	0157466778	10
32	00113334466777890334568	23
30	33701467	8
28	8559	4
26		
24	3	1
22		
20		
18	1	1

BOXPLOT

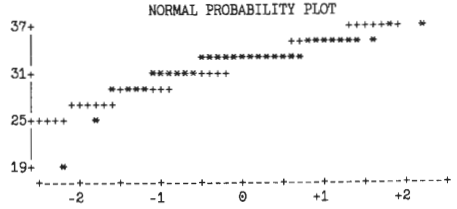


Abb.70 Statistische Parameter des Si der Datei Tonsteine

STEM	LEAF	
10	33	2
9	57	2
9	3	1
8	6	1
8	01233	5
7	567789	6
7	022234444	9
6	7778	4
6	0001122344	10
5	678	3
5	123	3
4	7	1
4	13	2

BOXPLOT

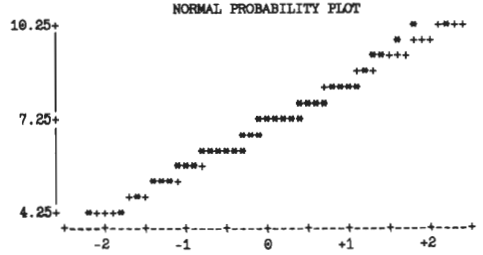


Abb.71 Statistische Parameter des Al der Datei Tonsteine

STEM	LEAF	
10	2	1
9	9	1
9		
8		
8		
7	5	1
7	01	2
6		
6	0	1
5	58	2
5	2	1
4	5788	5
4	122344	7
3	55667777899	12
3	0112222344	11
2	788	3
2	2	1
1	9	1

BOXPLOT

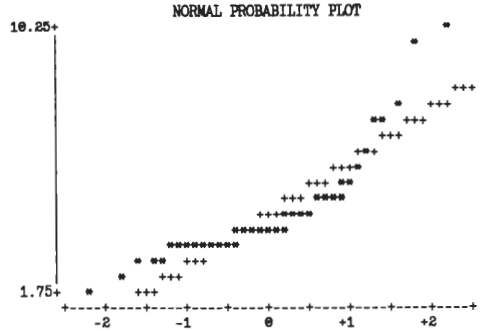


Abb.72 Statistische Parameter des Fe der Datei Tonsteine

STEM	LEAF	
38	4	1
36		
34		
32		
30	2657	4
28	567	3
26	0366016	7
24	0123679357	10
22	25778345668	11
20	0341378	7
18	76	2
16	2	1
14		
12		
10		
8	6	1
6		
4	78	2

MULTIPLY STEM.LEAF BY 10**+01

BOXPLOT

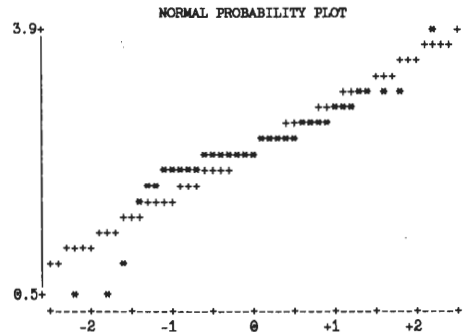


Abb.73 Statistische Parameter des K der Datei Tonsteine

STEM	LEAF	
19	6	1
18		
17		
16		
15	3	1
14		
13		
12		
11	6	1
10	4	1
9	58	2
8	09	2
7	011223344445589	15
6	14566667888999	15
5	5	1
4	14	2
3	3477899	7
2		
1		
0	6	1

MULTIPLY STEM.LEAF BY 10**-.01

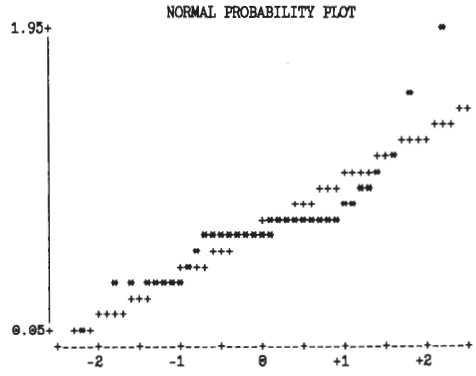
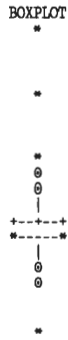


Abb.74 Statistische Parameter des Mg der Datei Tonsteine

STEM	LEAF	
13	4	1
12	0	1
11	69	2
10		
9	09	2
8	0005	4
7	3466	4
6	0478	4
5	02699	5
4	001223455679	12
3	024555566788	12
2	9	1
1	6	1

MULTIPLY STEM.LEAF BY 10**-.01

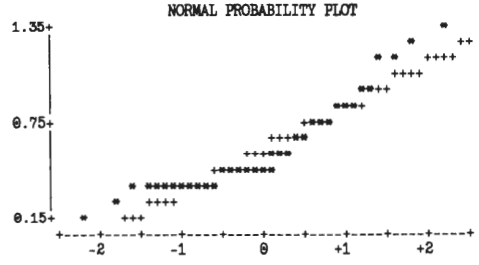


Abb.75 Statistische Parameter des Na der Datei Tonsteine

STEM	LEAF	
11	1	1
10		
10		
9		
9		
8		
8		
7		
7		
6	5	1
6	3	1
5	55	2
5	0012	4
4	56678	5
4	11	2
3	5	1
3	12234	5
2	5556678889	11
2	122233344444	12
1	9	1
1	022	3

MULTIPLY STEM.LEAF BY 10**-.01

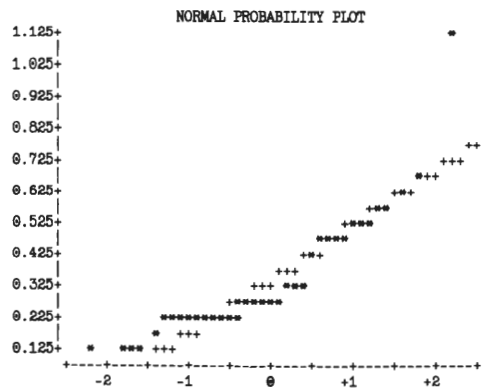


Abb.76 Statistische Parameter des Ti der Datei Tonsteine

STEM	LEAF	
28	6	1
26		
24		
22	3	1
20	4	1
18		
16	24	2
14	02570246	8
12	235999	6
10	7377	4
8	3689	4
6		
4	133454	6
2	001114912469	12
0	347	3

MULTIPLY STEM.LEAF BY 10**-.02

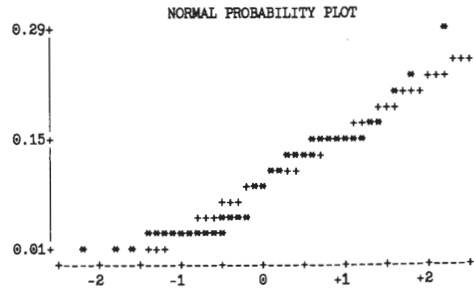


Abb.77 Statistische Parameter des Ca der Datei Tonsteine. Die Probe 54 wurde aus dieser Darstellung herausgenommen, da der Wert (8.75 Gew.%) als Ausreißer kenntlich und eine Darstellung nicht möglich war.

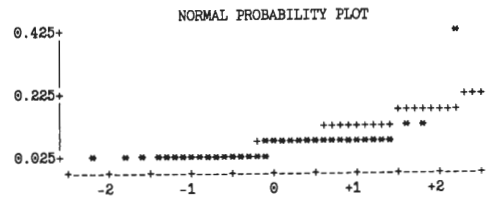
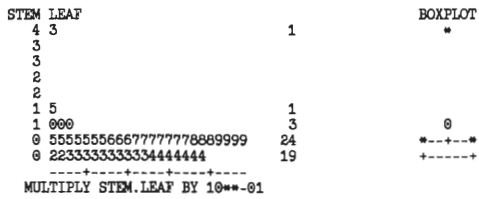


Abb.78 Statistische Parameter des P der Datei Tonsteine. Die Probe 54 wurde aus dieser Darstellung herausgenommen, da der Wert (4.5 Gew.%) als Ausreißer kenntlich und eine Darstellung nicht möglich war

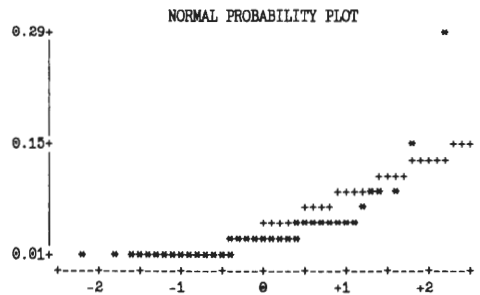
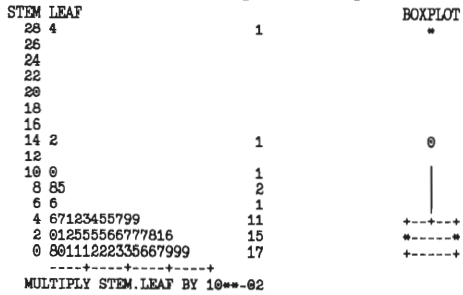


Abb.79 Statistische Parameter des Mn der Datei Tonsteine

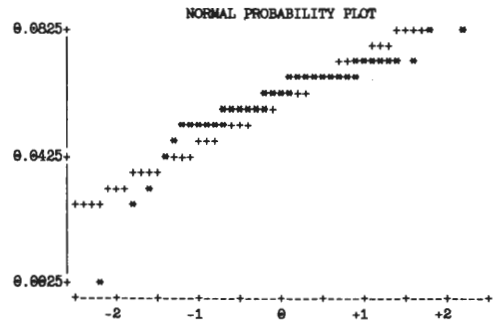
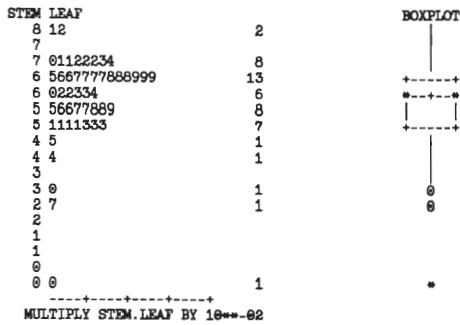


Abb.80 Statistische Parameter des Ba der Datei Tonsteine

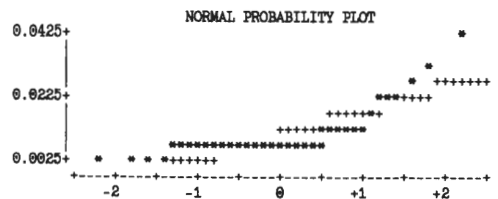
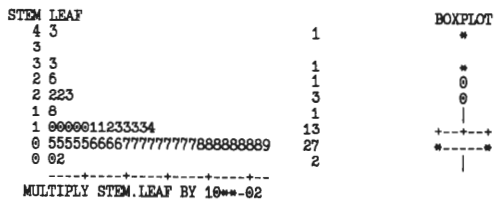


Abb.81 Statistische Parameter des Zn der Datei Tonsteine

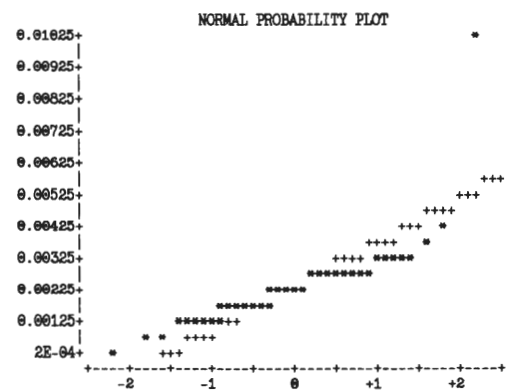
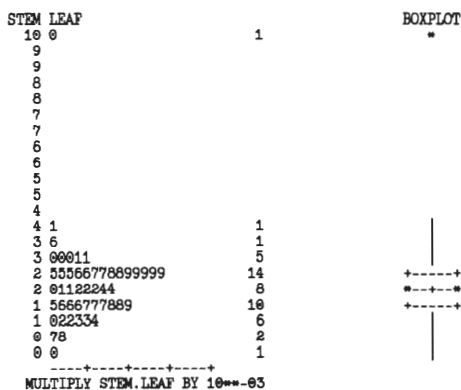


Abb.82 Statistische Parameter des Co der Datei Tonsteine

```

STEM LEAF
6 01 2
5 58 2
5 13 2
4 5 1
4 0123 4
3 777789 6
3 02344 5
2 55667 5
2 0001234 7
1 6677788899 10
1 44 2
0 8 1
0 00 2
-----+-----
MULTIPLY STEM.LEAF BY 10**-03

```

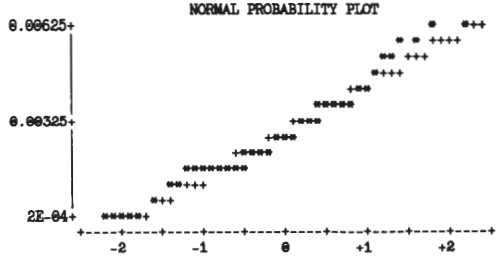


Abb.83 Statistische Parameter des Ni der Datei Tonsteine

```

STEM LEAF
11 24 2
10 1289 4
9 34 2
8 1245788 7
7 46 2
6 135 2
5 01559 5
4 000478999 9
3 0233477699 10
2 69 2
1 67 2
0 0 1
-----+-----
MULTIPLY STEM.LEAF BY 10**-03

```

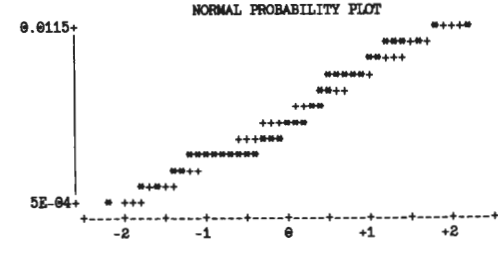


Abb.84 Statistische Parameter des Cr der Datei Tonsteine

```

STEM LEAF
11 0138 4
10 0288 4
8 34457 5
7 8 1
6 58 2
5 19 2
4 01335 5
3 02345678899 11
2 0224445689 10
1 46 2
0 006 3
-----+-----
MULTIPLY STEM.LEAF BY 10**-03

```

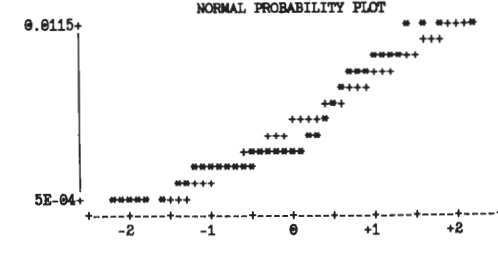


Abb.85 Statistische Parameter des V der Datei Tonsteine

```

STEM LEAF
10 5 1
10 0 1
9 0 1
9 0 1
8 0 1
8 0 1
7 0 1
7 0 1
6 0 1
6 2 1
5 89 2
5 2 1
4 6 1
4 0 1
3 79 2
3 0 1
2 568 3
2 0122333 7
1 566668899 9
1 013 3
0 567889 6
0 000000003444 13
-----+-----
MULTIPLY STEM.LEAF BY 10**-03

```

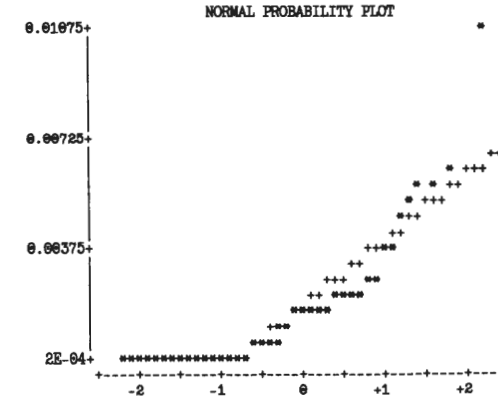


Abb.86 Statistische Parameter des Cu der Datei Tonsteine

```

STEM LEAF
42 0          1
40
38 00        2
36 0         1
34
32
30 00        2
28 000       3
26 000000   7
24 000000   6
22 000000   7
20 00000    5
18 0000     4
16 00       2
14
12
10
8
6
4
2
0 00000000  9
-----+-----
MULTIPLY STEM.LEAF BY 10**-04

```

BOXPLOT

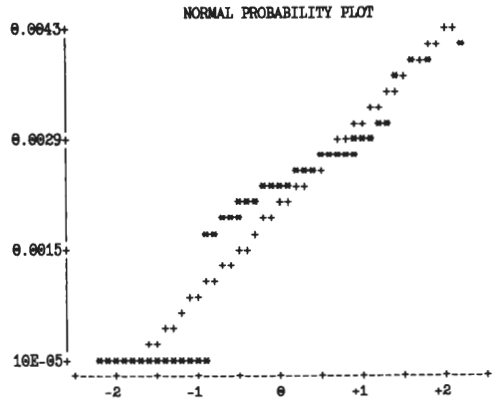


Abb.87 Statistische Parameter des Th der Datei Tonsteine

```

STEM LEAF
28 8          1
26
24 0257      4
22 2446671   7
20 144660400  9
18 0112713555899 14
16 590579    6
14 13        2
12 40        2
10 9         1
8
6
4
2
0 000        3
-----+-----
MULTIPLY STEM.LEAF BY 10**-03

```

BOXPLOT

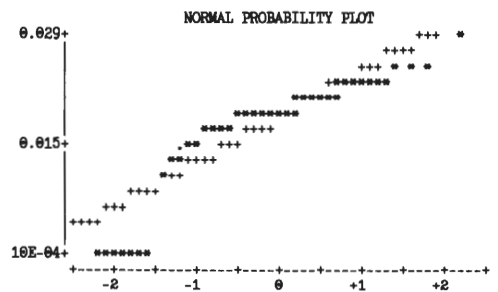


Abb.88 Statistische Parameter des Zr der Datei Tonsteine

```

STEM LEAF
11 9          1
10
9
8 4          1
7 0001189   7
6 015699    6
5 01345     5
4 11233     5
3 00011123344669 14
2 4777889   7
1
0 000        3
-----+-----
MULTIPLY STEM.LEAF BY 10**-03

```

BOXPLOT

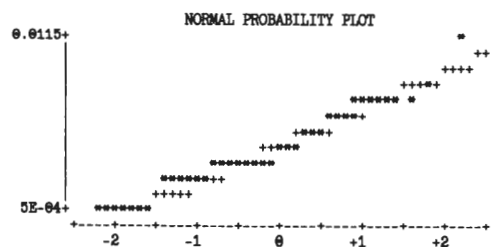


Abb.89 Statistische Parameter des Sr der Datei Tonsteine

```

STEM LEAF
18 0222      4
17
16 001112257  9
15 234457    6
14 122347    6
13 7         1
12 709       3
11 3599      4
10 0         1
9 57         2
8
7 15         2
6 40         2
5 139        3
4 0          1
3
2
1 17         2
0 000        3
-----+-----
MULTIPLY STEM.LEAF BY 10**-03

```

BOXPLOT

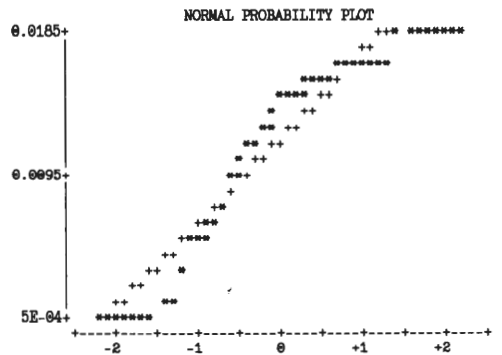


Abb.90 Statistische Parameter des Rb der Datei Tonsteine

STEM	LEAF	
39	14	2
38		
37	13	2
36	66	2
35	46677888	8
34	01357	5
33	03345678	8
32	00113334467789	14
31	011346679	9
30	22367	5
29	5569	4
28	48	2
27	3	1
26		
25	3	1
24		
23		
22		
21		
20		
19	1	1

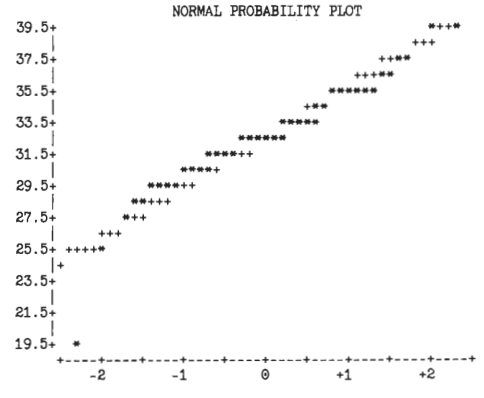


Abb.91 Statistische Parameter des Si der Datei Sedimentgesteine

STEM	LEAF	
10	33	2
9	578	3
9	34	2
8	579	3
8	0123344	7
7	5677889	8
7	00223444	9
6	7789	5
6	000112233444	12
5	06678	5
5	123	3
4	99	2
4	13	2
3		
3	0	1

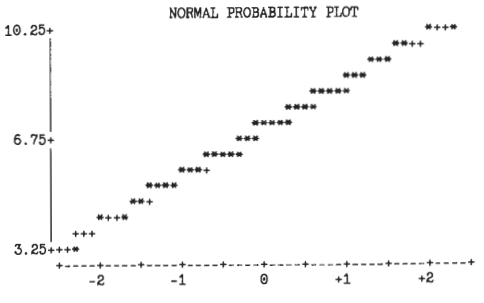
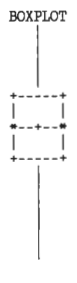


Abb.92 Statistische Parameter des Al der Datei Sedimentgesteine

STEM	LEAF	
10	2	1
9	9	1
9		
8	9	1
8	3	1
7		
7	01	2
6		
6		
5	58	2
5	12	2
4	57788899	8
4	01222223344	12
3	555667778999	13
3	0011222223344	13
2	788	3
2	0223	4
1	9	1

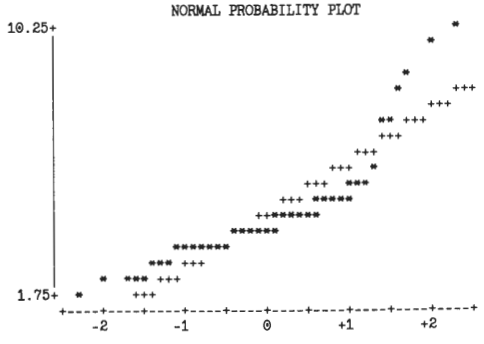


Abb.93 Statistische Parameter des Fe der Datei Sedimentgesteine

STEM	LEAF	
6	6	1
6		
5		
5		
4		
4		
3	8	1
3	0001112	7
2	5555566666677889	18
2	00001112222333333444444444	28
1	6899	4
1	013	3
0	6	1
0	3	1

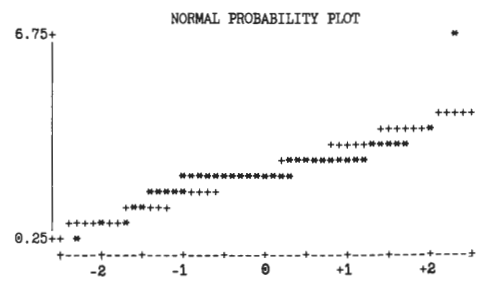


Abb.94 Statistische Parameter des K der Datei Sedimentgesteine

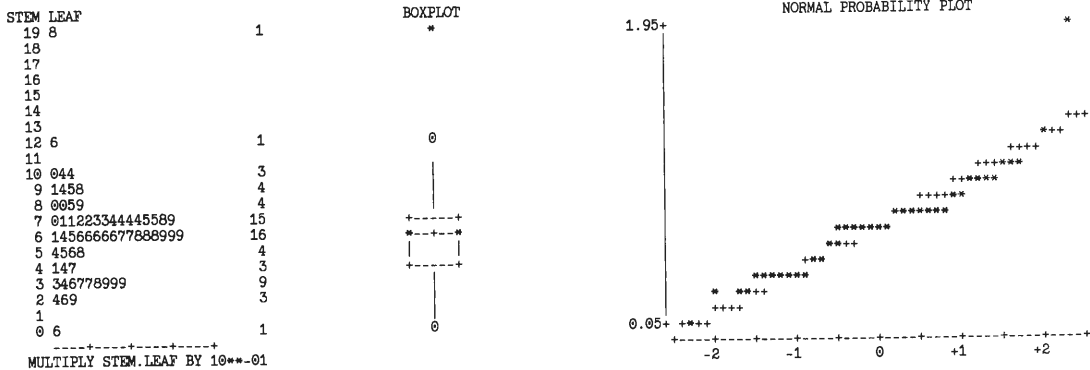


Abb.95 Statistische Parameter des Mg der Datei Sedimentgesteine

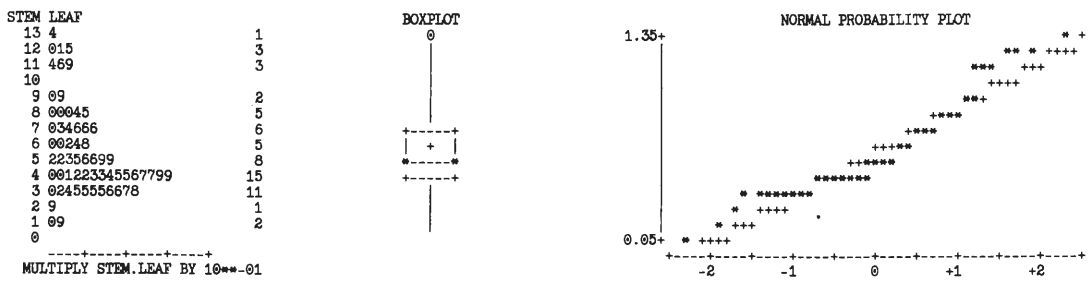


Abb.96 Statistische Parameter des Na der Datei Sedimentgesteine

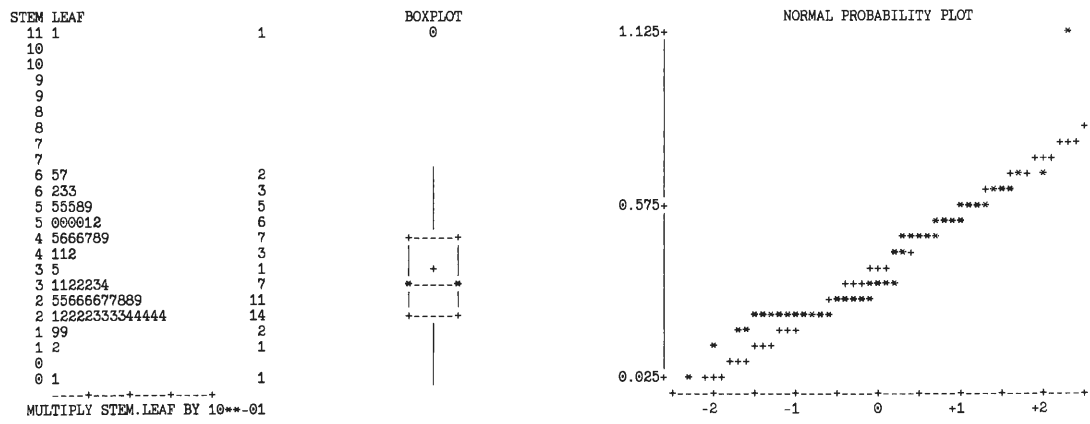


Abb.97 Statistische Parameter des Ti der Datei Sedimentgesteine

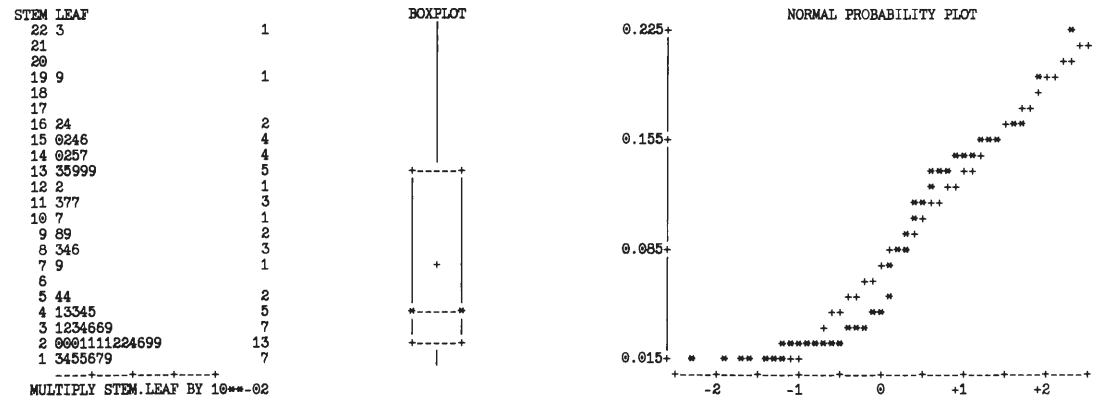
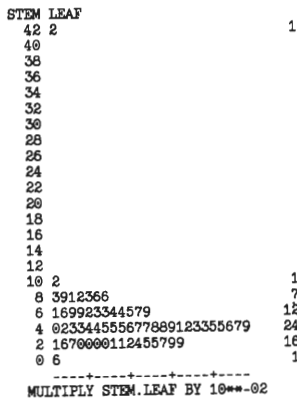


Abb.98 Statistische Parameter des Ca der Datei Sedimentgesteine. Die Probe 54 wurde aus dieser Darstellung herausgenommen, da der Wert (8.75 Gew.%) als Ausreißer kenntlich und eine Darstellung nicht möglich war.



BOXPLOT



NORMAL PROBABILITY PLOT

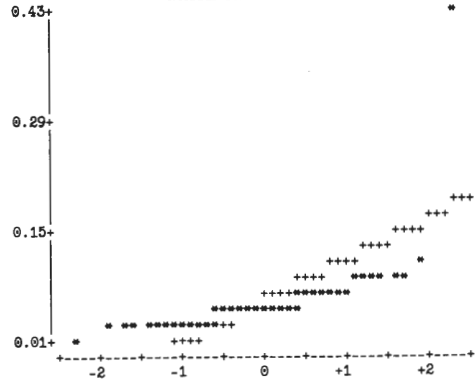
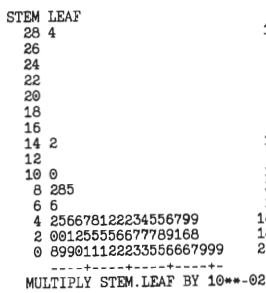


Abb.99 Statistische Parameter des P der Datei Sedimentgesteine. Die Probe 54 wurde aus dieser Darstellung herausgenommen, da der Wert (4.5 Gew. %) als Ausreißer kenntlich und eine Darstellung nicht möglich war.



BOXPLOT



NORMAL PROBABILITY PLOT

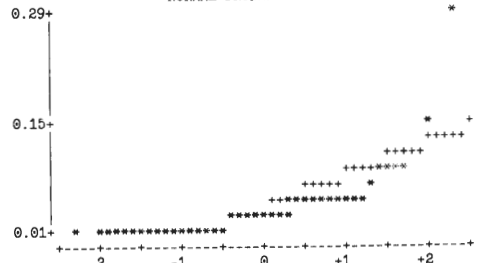
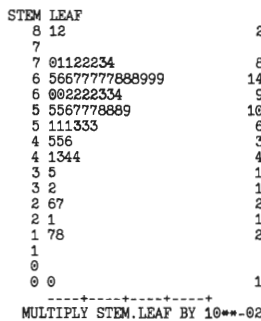


Abb.100 Statistische Parameter des Mn der Datei Sedimentgesteine



BOXPLOT



NORMAL PROBABILITY PLOT

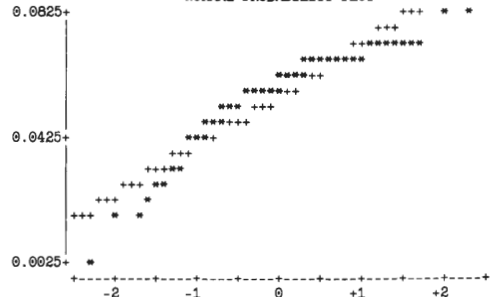
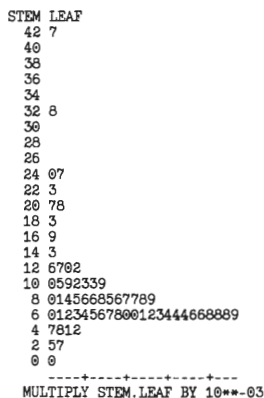


Abb.101 Statistische Parameter des Ba der Datei Sedimentgesteine



BOXPLOT



NORMAL PROBABILITY PLOT

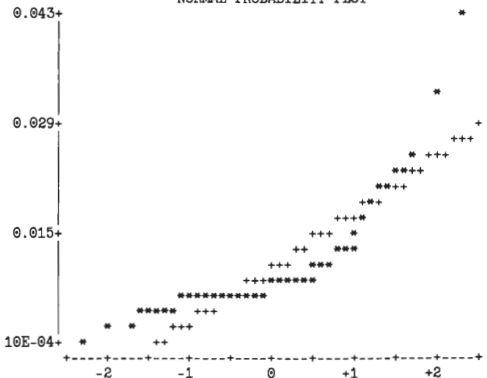


Abb.102 Statistische Parameter des Zn der Datei Sedimentgesteine

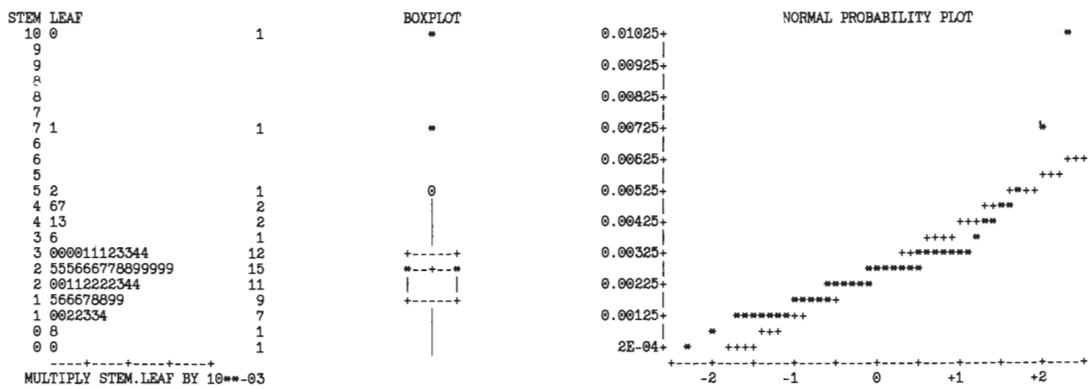


Abb.103 Statistische Parameter des Co der Datei Sedimentgesteine

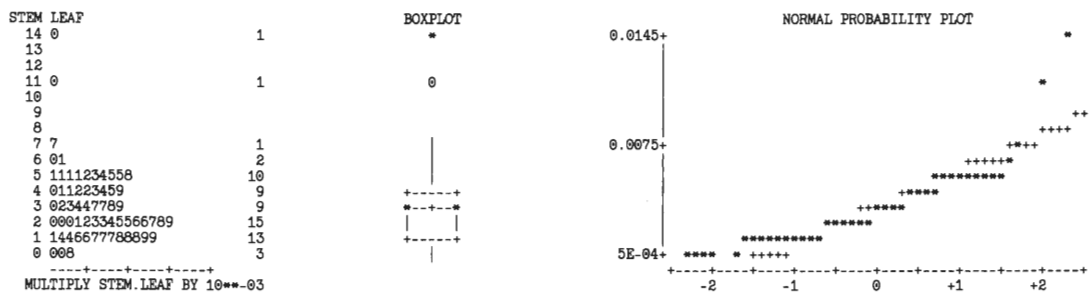


Abb.104 Statistische Parameter des Ni der Datei Sedimentgesteine

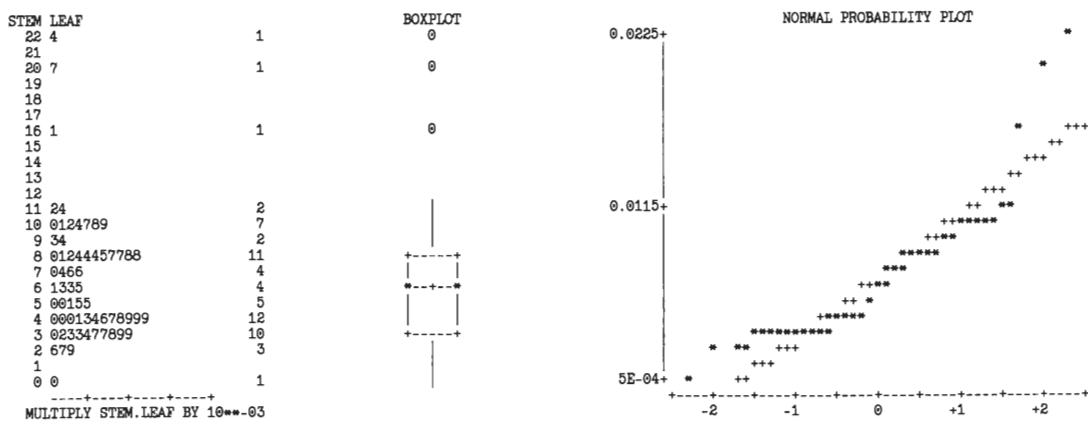


Abb.105 Statistische Parameter des Cr der Datei Sedimentgesteine

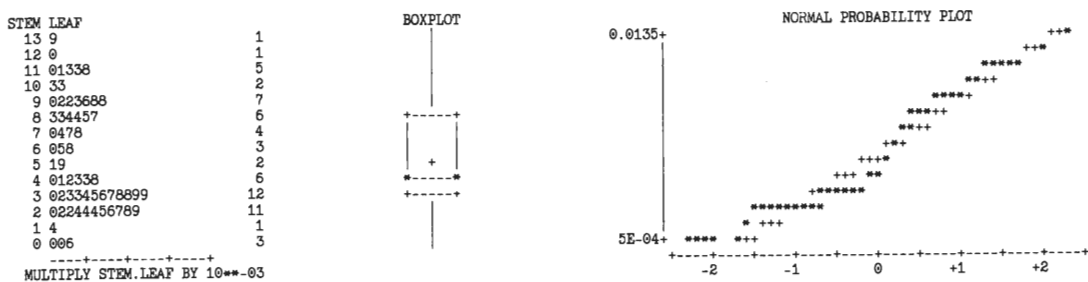


Abb.106 Statistische Parameter des V der Datei Sedimentgesteine

```

STEM LEAF          2
10 57
10
9
9
8
8
7
7
6
6 2                1
5 89                2
5 22                2
4 6                 1
4 1                 1
3 7                 1
3 4                 1
2 5689             4
2 00112333         8
1 56668899         9
1 0013              4
0 556777889        10
0 0000000000003444 18
-----+-----+
MULTIPLY STEM.LEAF BY 10**-03

```

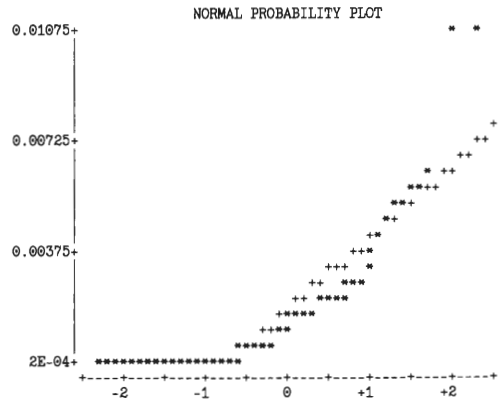


Abb.107 Statistische Parameter des Cu der Datei Sedimentgesteine

```

STEM LEAF          1
5 8
5
4
4 2                1
3 689              3
3 011              3
2 55666777778899 15
2 00000012223333334444 22
1 77788899         9
1 4                1
0 8                1
0 00000000         8
-----+-----+
MULTIPLY STEM.LEAF BY 10**-03

```

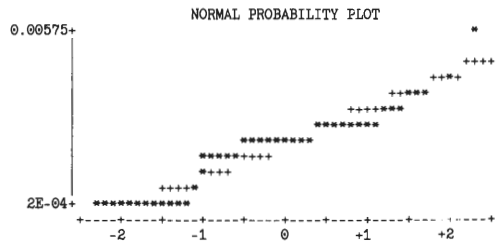


Abb.108 Statistische Parameter des Th der Datei Sedimentgesteine

```

STEM LEAF          1
28 8
26
24 025             3
22 24466711        8
20 012446668488   12
18 0112571233555899 17
16 3345905679      10
14 144             3
12 148             3
10 92              2
8 9                1
6 2                1
4
2
0 000              3
-----+-----+
MULTIPLY STEM.LEAF BY 10**-03

```

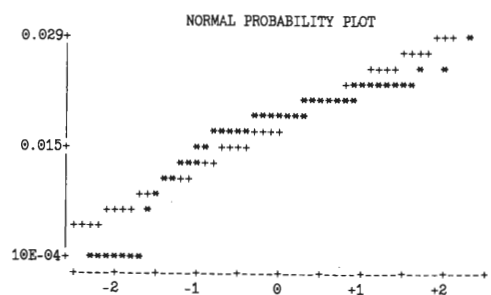
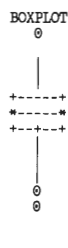


Abb.109 Statistische Parameter des Zr der Datei Sedimentgesteine

```

STEM LEAF
11 9 1
10
9 0 1
8 4 1
7 000001112489 12
6 00133556699 11
5 034459 6
4 113336 6
3 0119 4
2 7 1
1
0 000233333333333344445 21
-----+-----+
MULTIPLY STEM.LEAF BY 10**-03

```

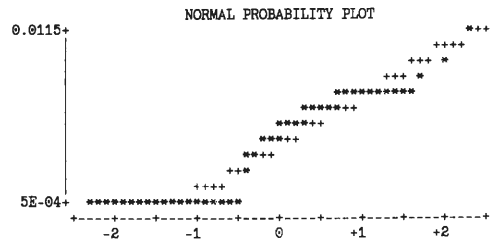


Abb.110 Statistische Parameter des Sr der Datei Sedimentgesteine

```

STEM LEAF
18 0222 4
17 6 1
16 00112257 8
15 1234457 7
14 122347 6
13 07 2
12 0789 4
11 0355799 7
10 03 2
9 57 2
8 279 3
7 135 3
6 48 2
5 239 3
4 016 3
3 5 1
2 9 1
1 17 2
0 000 3
-----+-----+
MULTIPLY STEM.LEAF BY 10**-03

```

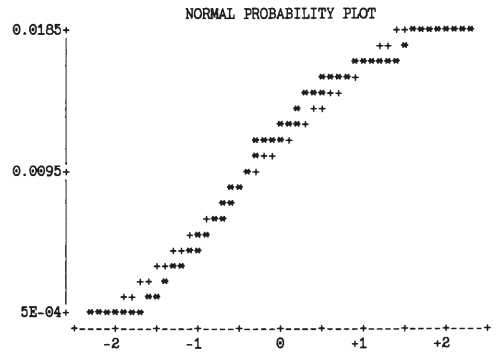


Abb.111 Statistische Parameter des Rb der Datei Sedimentgesteine

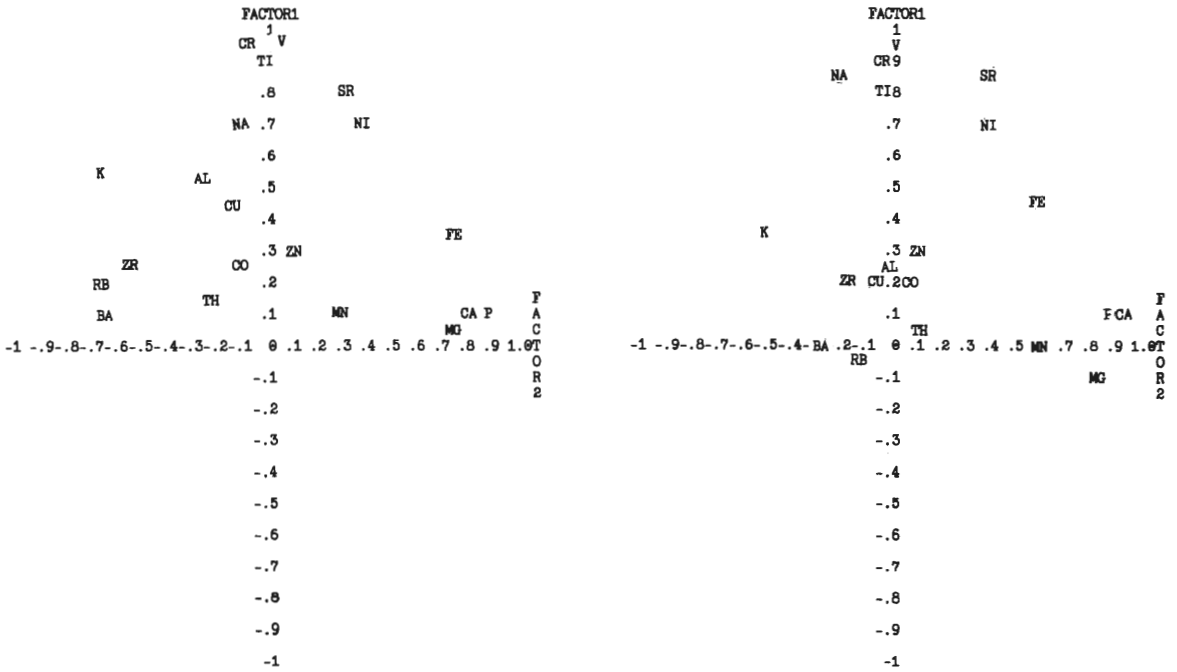


Abb.118 Faktorenräume (Faktor 1 u. 2) der Datei Tonsteine. Links unrotiert, rechts rotiert (Varimax)

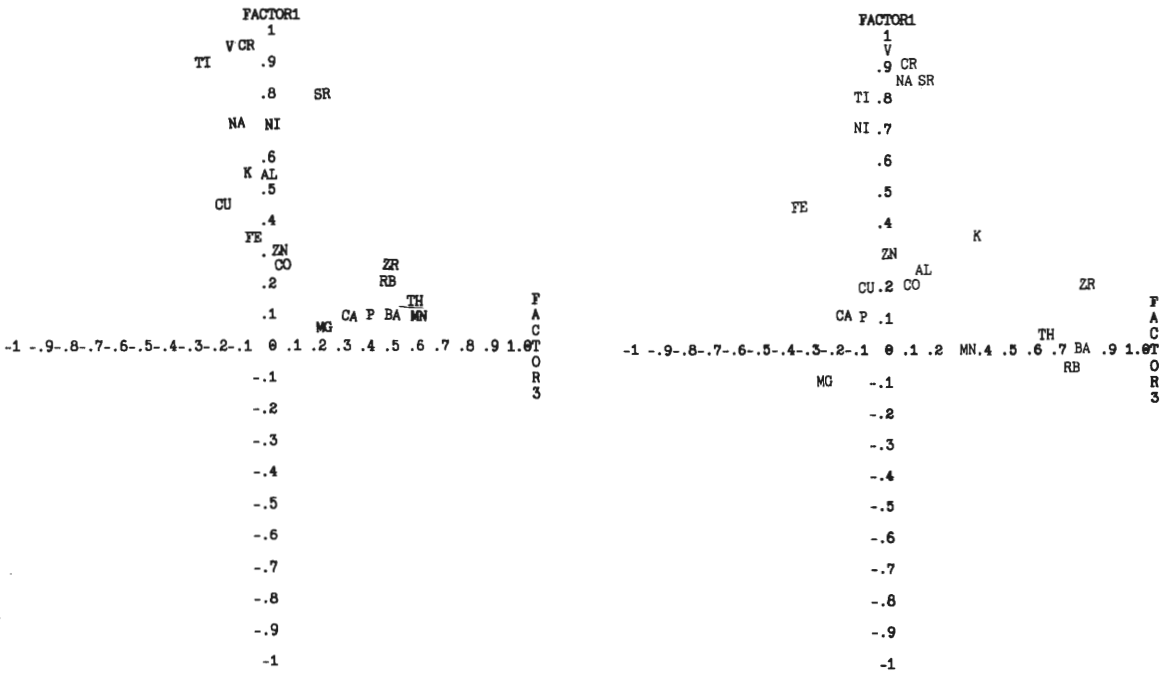


Abb.119 Faktorenräume (Faktor 1 u. 3) der Datei Tonsteine. Links unrotiert, rechts rotiert (Varimax)

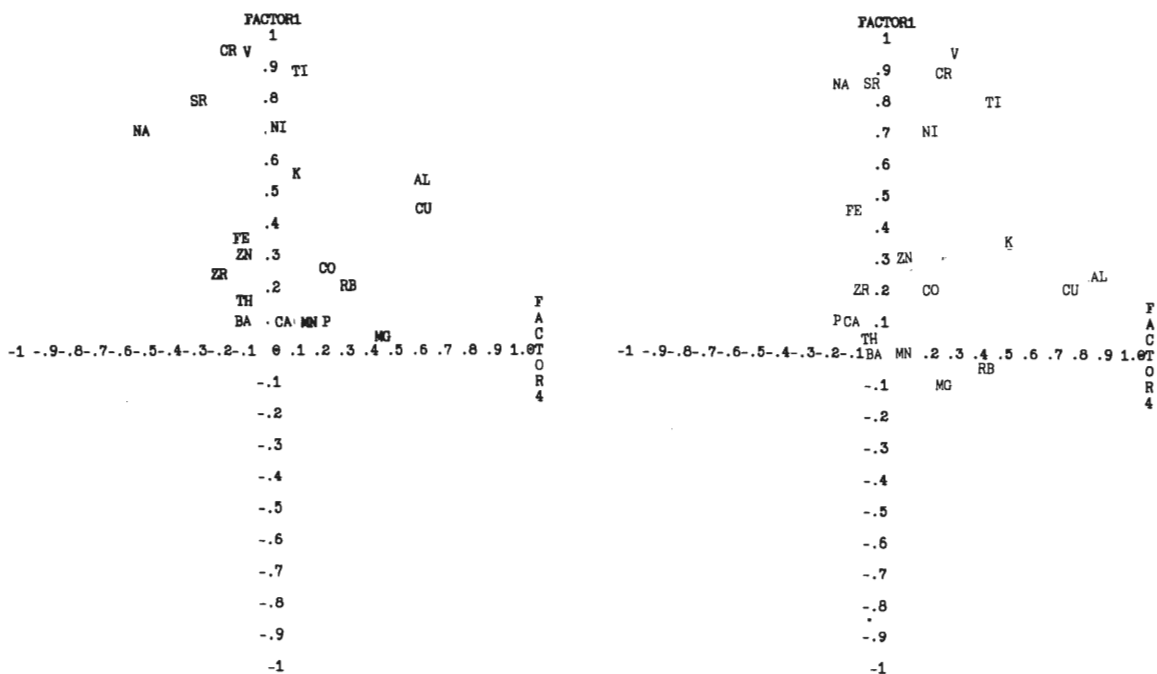


Abb.120 Faktorenräume (Faktor 1 u. 4) der Datei Tonsteine. Links unrotiert, rechts rotiert (Varimax)

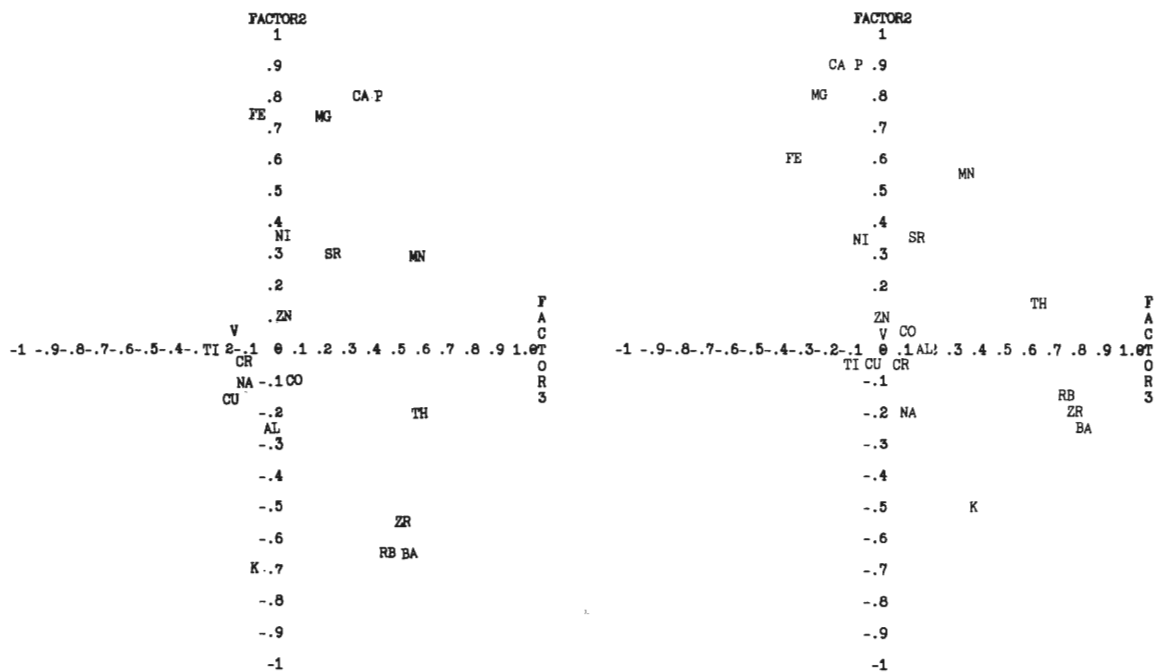


Abb.121 Faktorenräume (Faktor 2 u. 3) der Datei Tonsteine. Links unrotiert, rechts rotiert (Varimax)

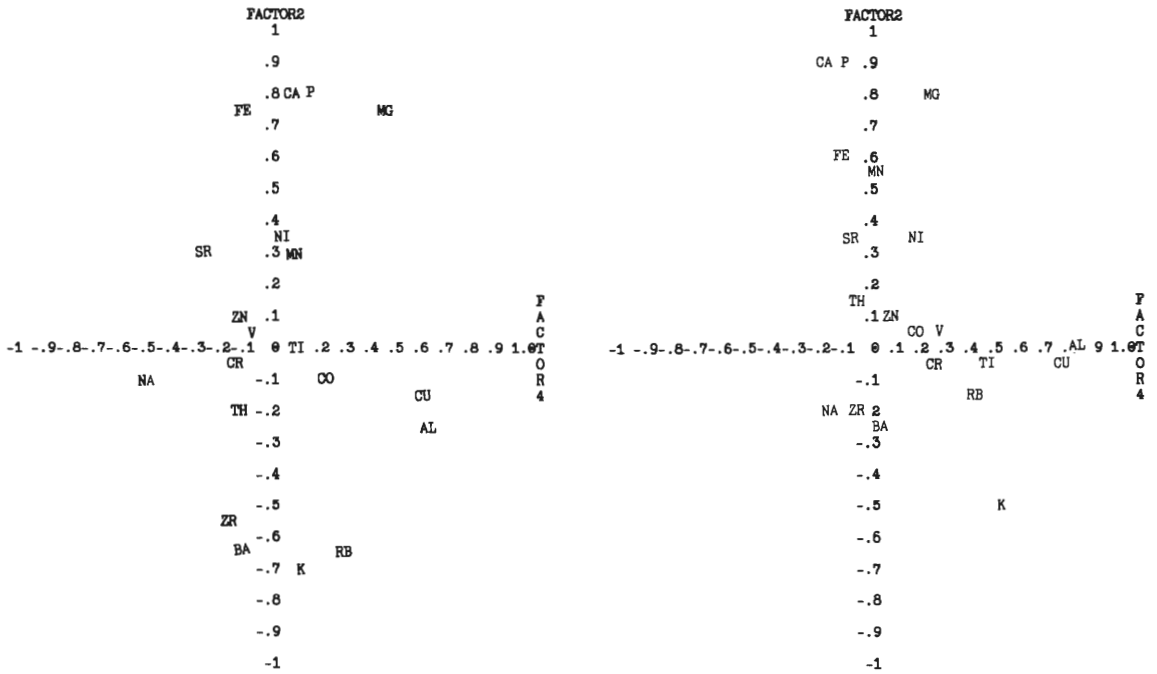


Abb.122 Faktorenräume (Faktor 2 u. 4) der Datei Tonsteine. Links unrotiert, rechts rotiert (Varimax)

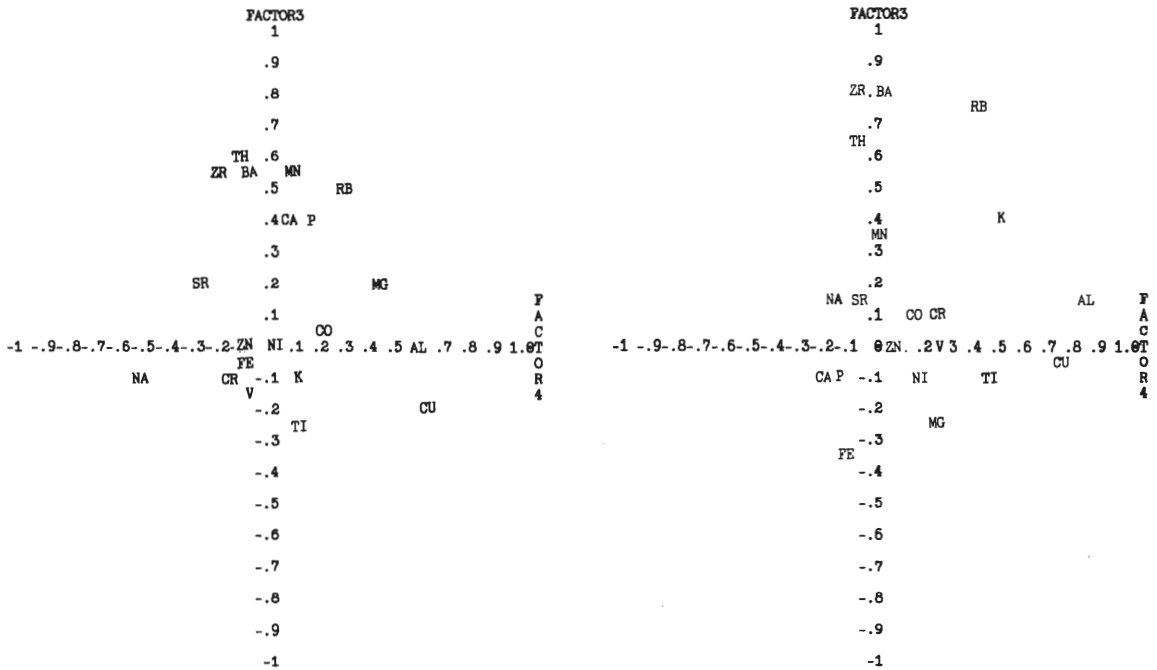


Abb.123 Faktorenräume (Faktor 3 u. 4) der Datei Tonsteine. Links unrotiert, rechts rotiert (Varimax)

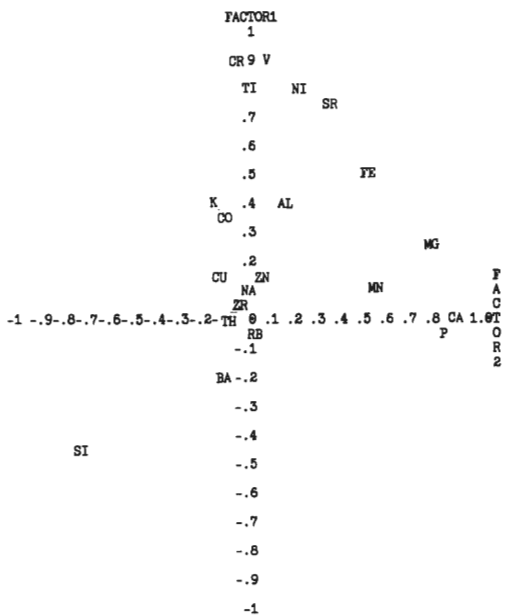
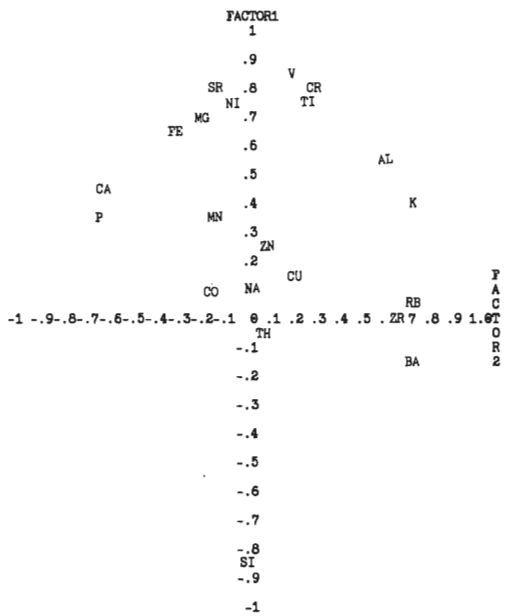


Abb.124 Faktorenräume (Faktor 1 u. 2) der Datei Sedimentgesteine. Links unrotiert, rechts rotiert (Varimax)

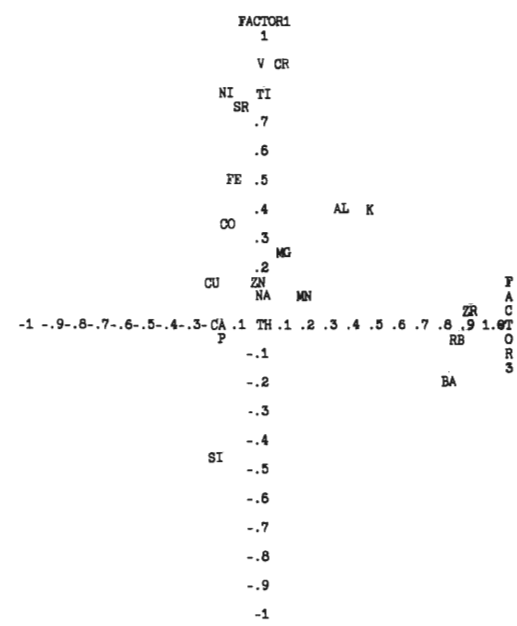
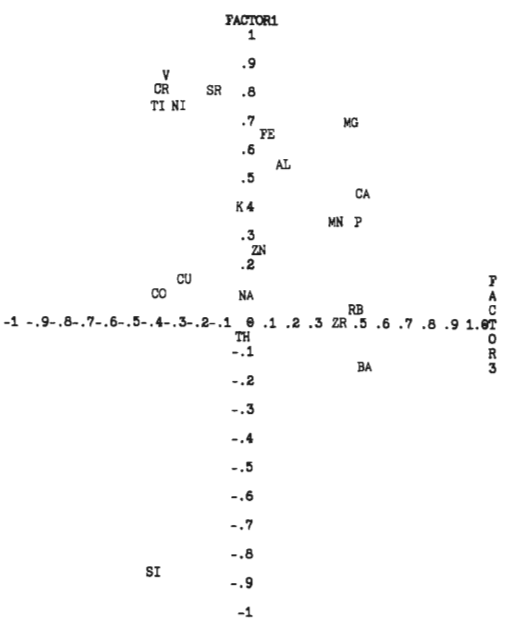


Abb.125 Faktorenräume (Faktor 1 u. 3) der Datei Sedimentgesteine. Links unrotiert, rechts rotiert (Varimax)

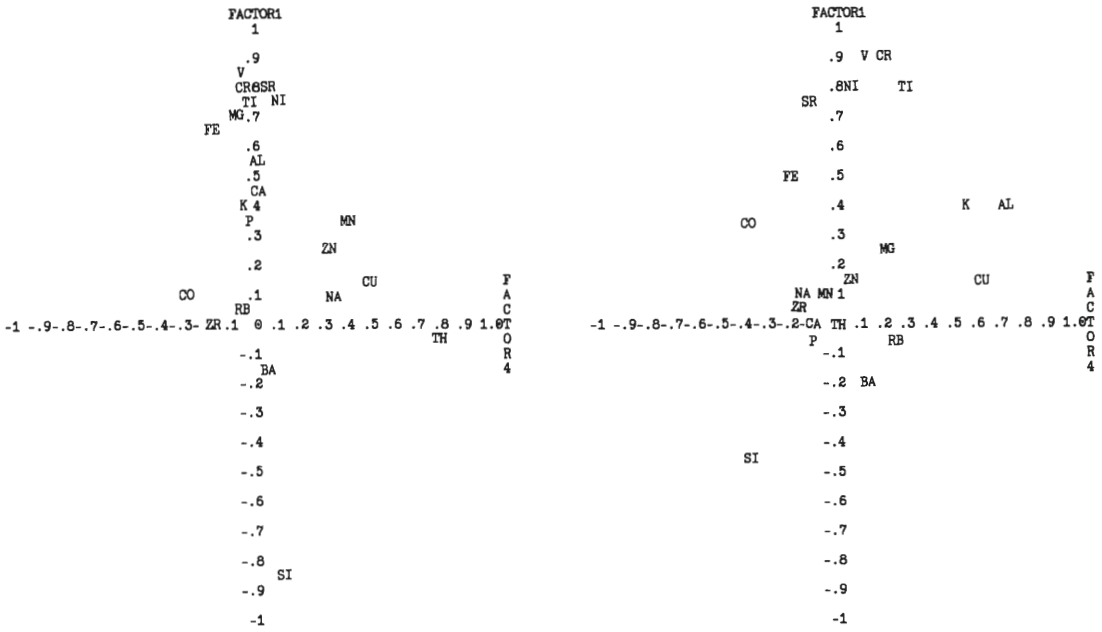


Abb.126 Faktorenräume (Faktor 1 u. 4) der Datei Sedimentgesteine. Links unrotiert, rechts rotiert (Varimax)

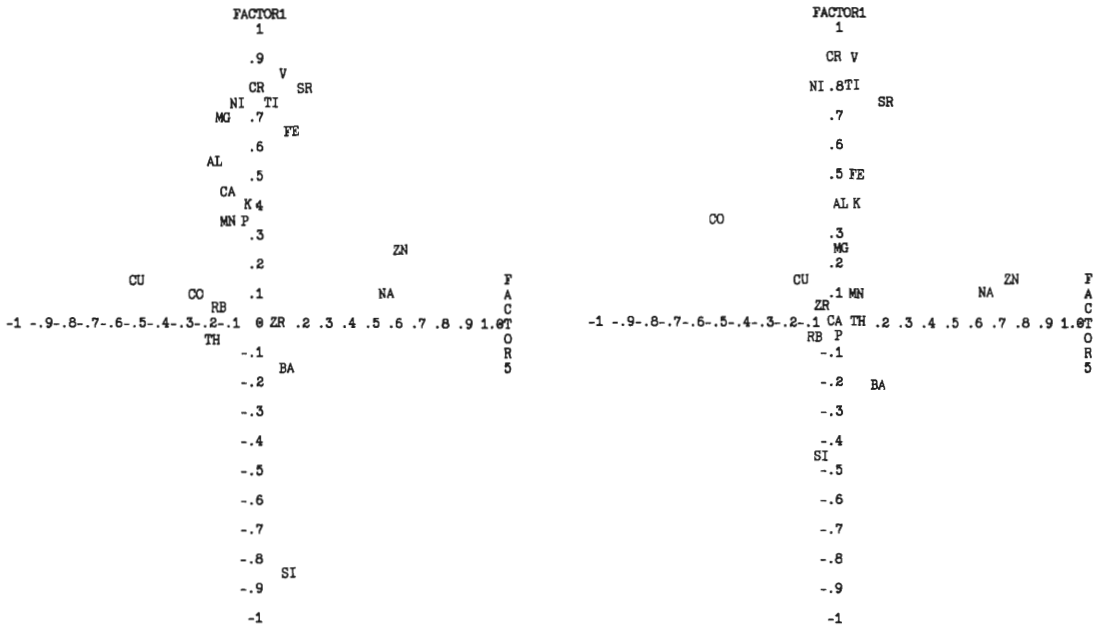


Abb.127 Faktorenräume (Faktor 1 u. 5) der Datei Sedimentgesteine. Links unrotiert, rechts rotiert (Varimax)

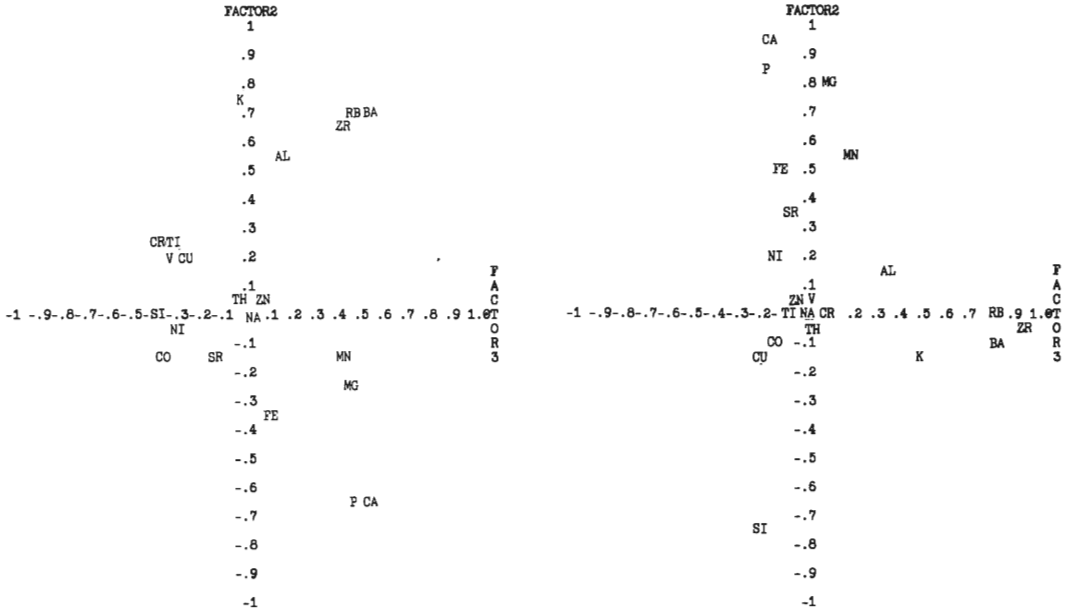


Abb.128 Faktorenräume (Faktor 2 u. 3) der Datei Sedimentgesteine. Links unrotiert, rechts rotiert (Varimax)

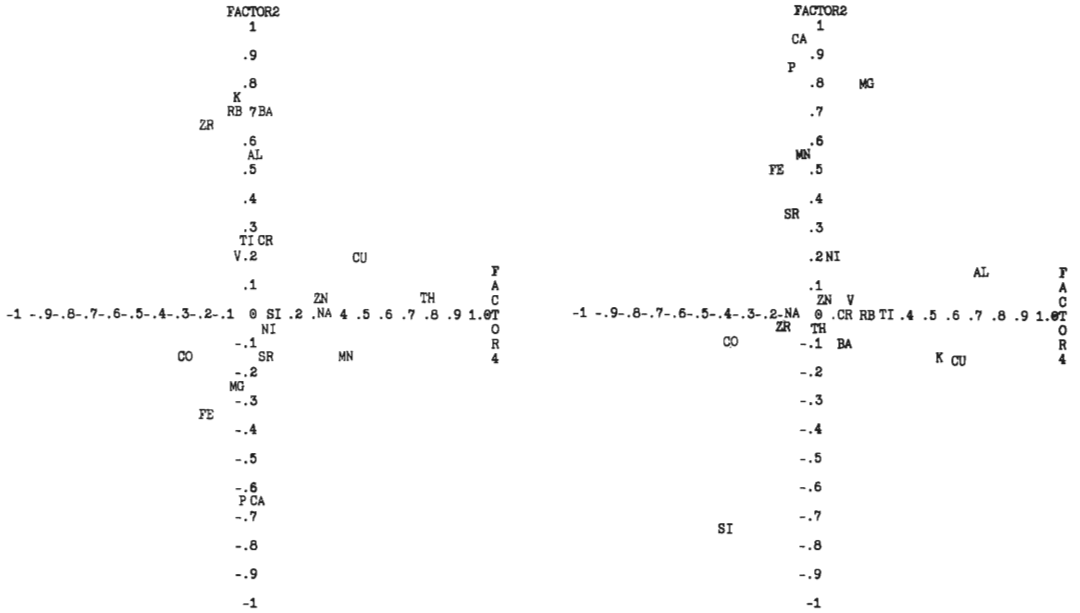


Abb.129 Faktorenräume (Faktor 2 u. 4) der Datei Sedimentgesteine. Links unrotiert, rechts rotiert (Varimax)

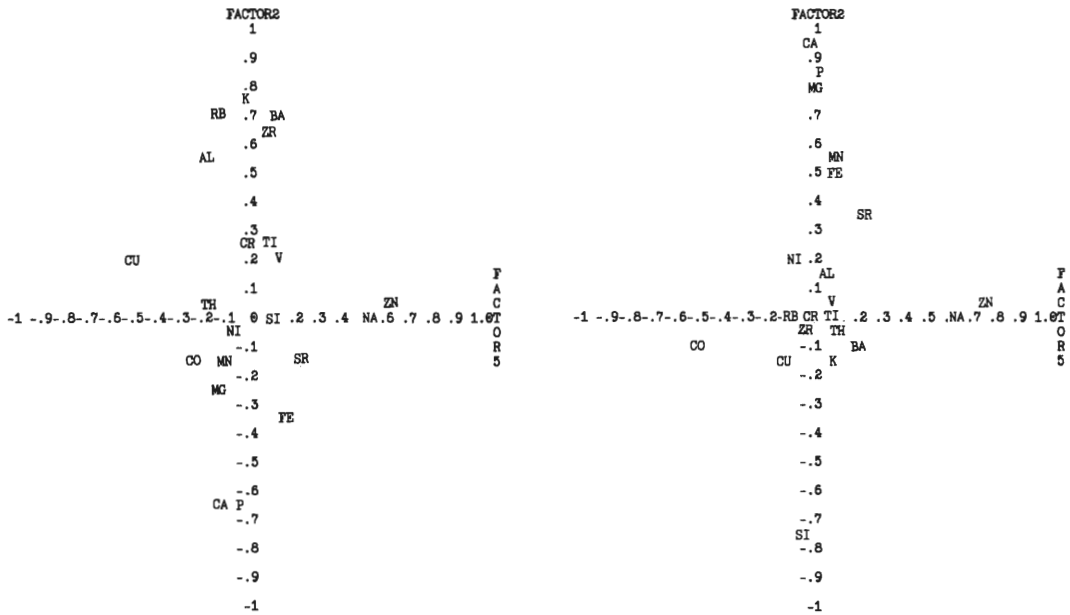


Abb.130 Faktorenräume (Faktor 2 u. 5) der Datei Sedimentgesteine. Links unrotiert, rechts rotiert (Varimax)

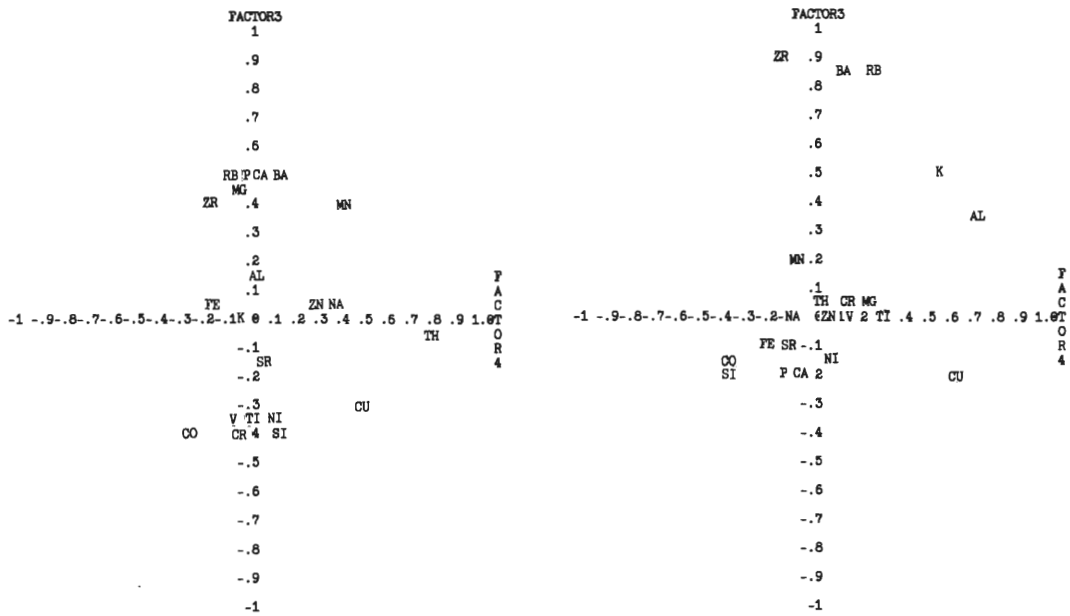


Abb.131 Faktorenräume (Faktor 3 u. 4) der Datei Sedimentgesteine. Links unrotiert, rechts rotiert (Varimax)

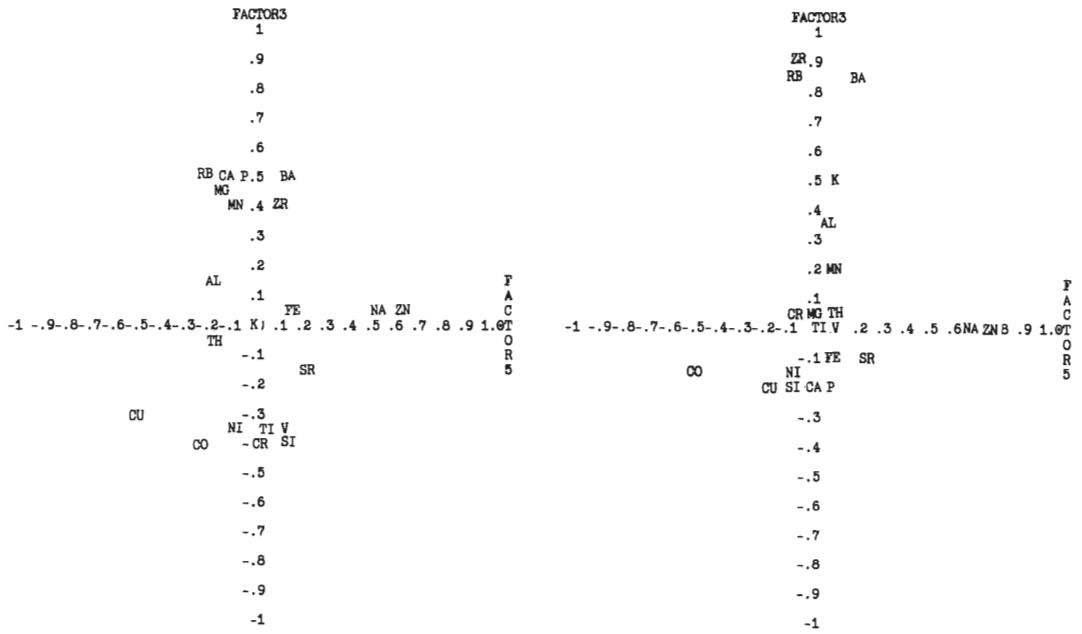


Abb.132 Faktorenräume (Faktor 3 u. 5) der Datei Sedimentgesteine. Links unrotiert, rechts rotiert (Varimax)

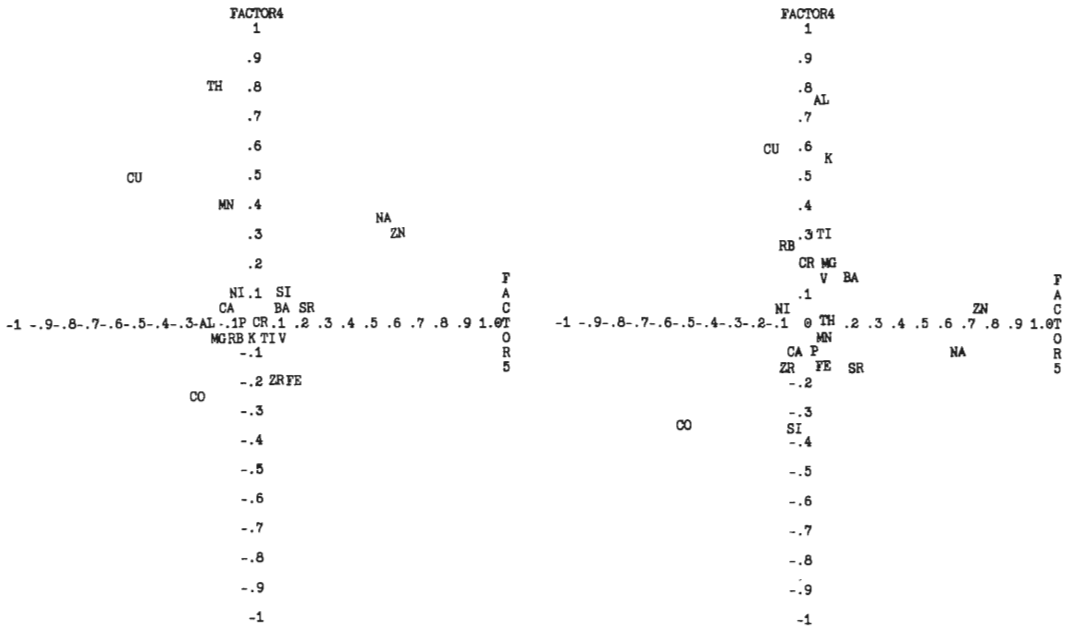


Abb.133 Faktorenräume (Faktor 4 u. 5) der Datei Sedimentgesteine. Links unrotiert, rechts rotiert (Varimax)

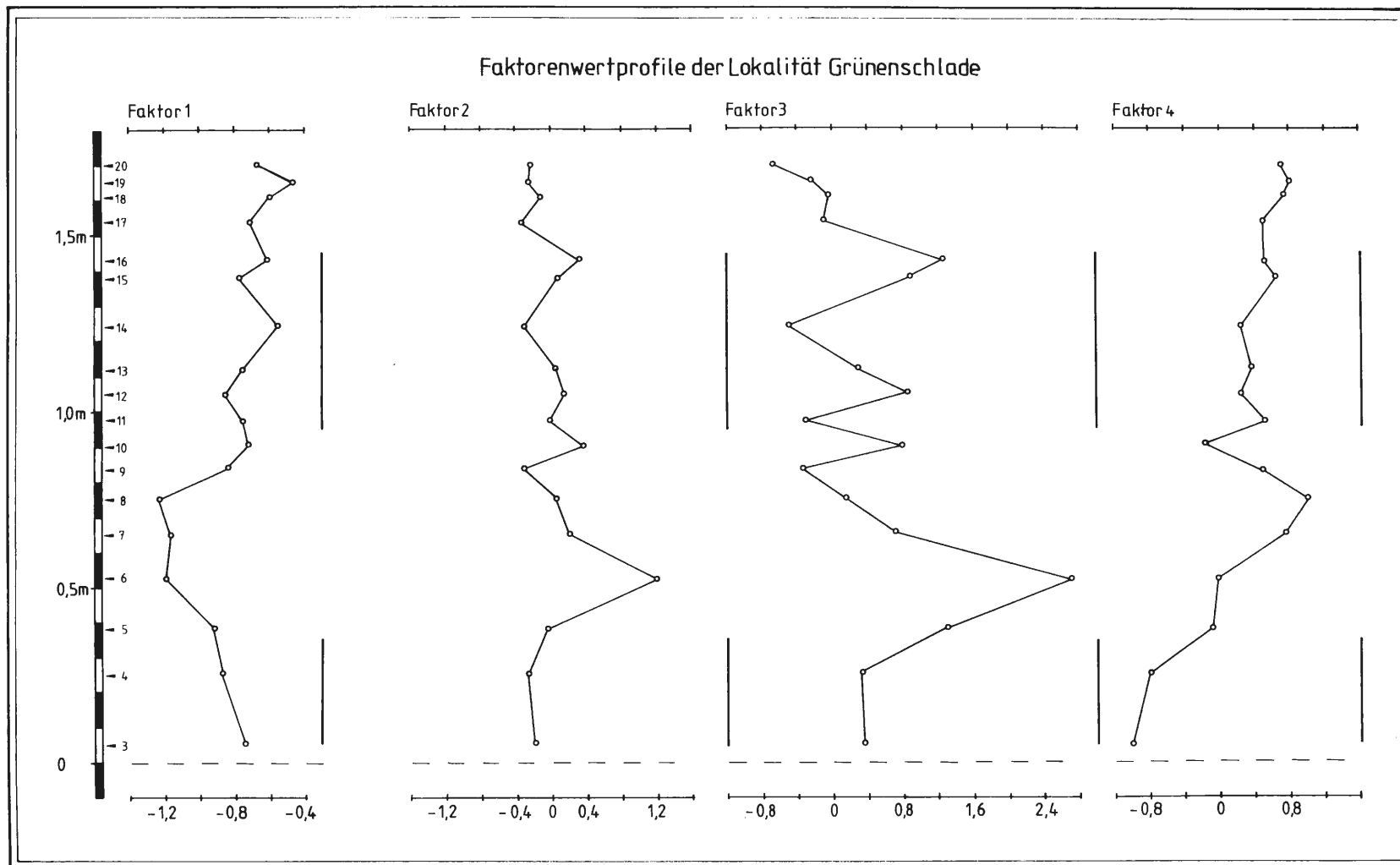


Abb.136 Faktorenwertprofile (Grünenschlade)

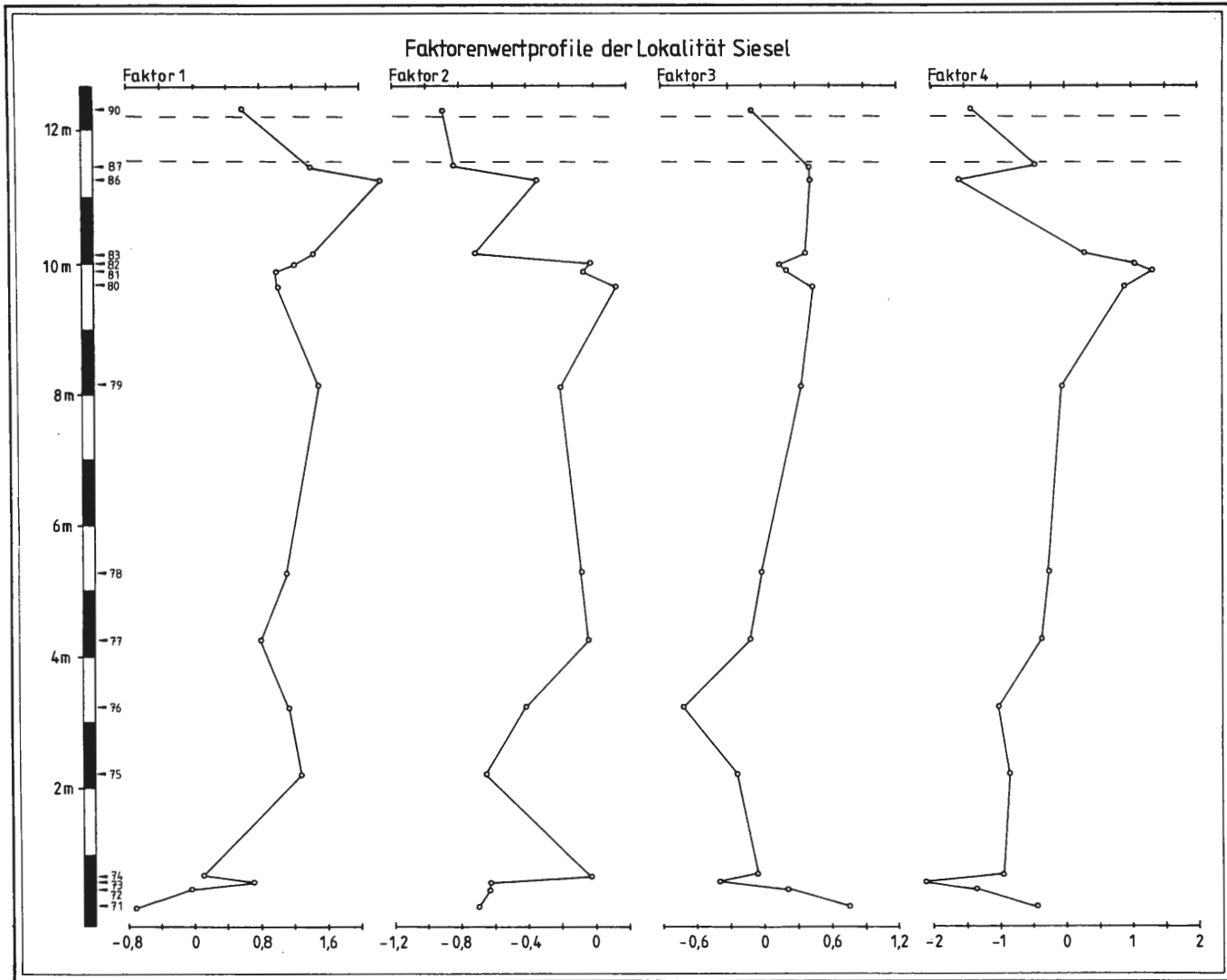


Abb.137 | Faktorenwertprofile (Siesel)

Probennr.	Lithologie	Farbe	Lokalität	Bemerkungen
1	Aschentuff	grau	Grünenschlade	atyp. akk. Lapilli
2	Aschentuff	grau	Grünenschlade	atyp. akk. Lapilli
3	Tonstein (siltig)	schwarz	Grünenschlade	
4	Tonstein (siltig)	schwarz	Grünenschlade	
5	Tonstein (siltig)	schwarz	Grünenschlade	
6	Tonstein (siltig)	schwarz	Grünenschlade	
7	Tonstein (siltig)	schwarz	Grünenschlade	
8	Tonstein (siltig)	schwarz	Grünenschlade	
9	Tonstein (siltig)	schwarz	Grünenschlade	
10	Tonstein (siltig)	schwarz	Grünenschlade	
11	Tonstein (siltig)	schwarz	Grünenschlade	
12	Tonstein (siltig)	schwarz	Grünenschlade	
13	Tonstein (siltig)	schwarz	Grünenschlade	
14	Tonstein (siltig)	schwarz	Grünenschlade	
15	Tonstein (siltig)	schwarz	Grünenschlade	
16	Tonstein (siltig)	schwarz	Grünenschlade	
17	Tonstein (siltig)	schwarz	Grünenschlade	
18	Tonstein (siltig)	schwarz	Grünenschlade	
19	Tonstein (siltig)	schwarz	Grünenschlade	
20	Tonstein (siltig)	schwarz	Grünenschlade	
21	Konkretion	schwarz	Grünenschlade	
22	Aschentuff	graubraun	Grünenschlade	
23	Tonstein	grau	Grünenschlade	
24	Tonstein	schwarz	Grünenschlade	
30	Tonstein (siltig)	gelb	Grünenschlade	
33	Aschentuff	graubraun	Vorth	akk. Lapilli
34	Aschentuff	graubraun	Vorth	
35	Tonstein (siltig)	grau	Vorth	
36	Tonstein (siltig)	schwarz	Vorth	
37	Tonstein (siltig)	schwarz	Vorth	
38	Tonstein (siltig)	schwarz	Vorth	
39	Aschentuff	gelb	Grünenschlade	
40	Aschentuff	gelb	Grünenschlade	
41	Aschentuff	grau	Grünenschlade	accret. Lapilli
42	Aschentuff	grau	Grünenschlade	
43	Aschentuff	gelb	Grünenschlade	
44	Aschentuff	gelb	Grünenschlade	
45	Tonstein	rot	Grünenschlade	
46	Konkretion	schwarz	Grünenschlade	
47	Konkretion	schwarz	Grünenschlade	
48	Tonstein (siltig)	schwarz	Grünenschlade	Pflanzenreste
50	Sandstein	hellgrau	Berken	durchwurzelt
51	Siltstein	braungrau	Berken	
52	Siltstein	braungrau	Berken	
53	Siltstein	braungrau	Berken	
54	Tonstein (siltig)	dunkelgrau	Berken	
55	Sandstein	braun	Berken	Tongeröfle
56	Sandstein	graubraun	Berken	Pflanzenreste
57	Siltstein	grauschwarz	Berken	
58	Tonstein (stark siltig)	grau	Berken	durchwurzelt
59	Tonstein (stark siltig)	grau	Berken	durchwurzelt
60	Tonstein (stark siltig)	grau	Berken	durchwurzelt
61	Siltstein	grau	Berken	
62	Siltschiefer	grau	Siesel	
63	Siltschiefer	dunkelgrau	Siesel	
64	Siltstein	graubraun	Siesel	
65	Siltschiefer	grau	Siesel	
66	Schmelztuff	bläBrosa	Siesel	
67	Siltschiefer	grau	Siesel	
68	Tonstein (siltig)	schwarz	Siesel	
69	Keratophyr	graubraun	Siesel	
70	Aufarbeitungen	grau	Siesel	
71	Tonstein (siltig)	grau	Siesel	
72	Tonstein (siltig)	grau	Siesel	
73	Tonstein (siltig)	schwarz	Siesel	
74	Tonstein (siltig)	schwarz	Siesel	
75	Tonstein (siltig)	schwarz	Siesel	
76	Tonstein (siltig)	schwarz	Siesel	
77	Tonstein (siltig)	schwarz	Siesel	
78	Tonstein (siltig)	schwarz	Siesel	
79	Tonstein (siltig)	schwarz	Siesel	
80	Tonstein (siltig)	schwarz	Siesel	
81	Tonstein (siltig)	schwarz	Siesel	
82	Tonstein (siltig)	grau	Siesel	
83	Tonstein (siltig)	dunkelgrau	Siesel	
84	Siltschiefer	graubraun	Siesel	
85	Siltschiefer	graubraun	Siesel	
86	Tonstein (siltig)	graubraun	Siesel	
87	Tonstein (siltig)	grau	Siesel	
88	Konglomerat	ocker	Siesel	
89	Aufarbeitungen	graubraun	Siesel	
90	Tonstein (siltig)	grau	Siesel	

Tab. 6 Verzeichnis der Geochemischen Proben

Probe	Si	Al	Fe	K	Mg	Na	Ti	Ca	P	Mn
1	36.56	5.29	2.39	2.09	0.66	0.39	0.193	0.097	0.022	0.024
2	36.83	4.85	2.42	1.96	0.65	0.34	0.194	0.104	0.018	0.016
3	35.66	5.07	3.09	1.96	0.78	0.35	0.212	0.145	0.021	0.015
4	35.39	5.32	2.75	2.27	0.66	0.36	0.227	0.117	0.031	0.021
5	33.99	6.25	2.77	2.57	0.71	0.37	0.238	0.135	0.030	0.025
6	32.29	8.17	2.77	2.63	0.68	0.42	0.259	0.133	0.039	0.284
7	32.27	7.66	3.40	2.49	0.74	0.35	0.240	0.139	0.044	0.055
8	34.06	6.21	3.20	2.04	0.66	0.30	0.230	0.117	0.048	0.028
9	33.01	7.05	3.22	2.22	0.69	0.44	0.349	0.150	0.030	0.011
10	33.33	6.69	3.59	2.03	0.73	0.40	0.216	0.113	0.030	0.100
11	31.41	7.39	4.39	2.27	0.79	0.49	0.243	0.139	0.035	0.025
12	32.04	7.71	3.50	2.41	0.74	0.32	0.264	0.223	0.053	0.013
13	32.15	7.41	3.35	2.35	0.68	0.36	0.269	0.142	0.432	0.011
14	32.69	7.18	3.23	2.36	0.67	0.41	0.283	0.139	0.043	0.012
15	30.97	8.15	3.24	2.55	0.69	0.46	0.263	0.122	0.074	0.012
16	31.15	8.02	3.71	2.47	0.80	0.45	0.320	0.156	0.016	0.020
17	32.61	7.38	3.03	2.34	0.61	0.40	0.324	0.099	0.061	0.010
18	31.61	7.94	3.67	2.36	0.71	0.42	0.288	0.098	0.066	0.012
19	31.69	7.77	3.69	2.43	0.65	0.47	0.314	0.083	0.079	0.013
20	32.03	7.51	3.91	2.17	0.66	0.34	0.333	0.031	0.092	0.016
21	37.21	4.69	6.00	0.47	1.18	0.16	0.103	0.286	0.148	0.047
22	34.57	6.18	1.47	1.85	0.48	0.68	0.116	0.087	0.039	0.204
23	32.06	8.33	3.10	2.60	0.74	0.29	0.237	0.162	0.043	0.017
24	32.38	7.56	3.60	2.53	0.75	0.35	0.231	0.154	0.052	0.019
30	39.37	5.18	2.25	0.97	0.24	0.43	0.226	0.084	0.044	0.016
33	36.80	5.30	2.79	1.84	0.60	0.33	0.120	0.021	0.043	0.105
34	35.84	6.72	1.49	2.58	0.42	0.69	0.252	0.029	0.022	0.022
35	36.57	6.08	1.94	2.28	0.39	0.35	0.119	0.020	0.045	0.088
36	33.61	7.20	3.17	2.46	0.74	0.59	0.258	0.043	0.069	0.026
37	32.69	7.34	3.68	2.40	0.72	0.76	0.276	0.107	0.072	0.027
38	34.48	6.05	3.43	2.42	0.06	0.43	0.252	0.086	0.073	0.026
39	36.40	5.40	2.10	2.13	0.39	0.44	0.119	0.028	0.048	0.081
40	38.24	5.18	0.98	2.15	0.37	0.19	0.114	0.024	0.038	0.134
41	38.93	4.42	1.45	1.69	0.33	0.38	0.108	0.019	0.035	0.061
42	37.92	4.96	1.71	1.68	0.47	0.88	0.108	0.014	0.035	0.129
43	36.97	5.99	1.36	1.98	0.44	1.02	0.118	0.021	0.020	0.100
44	36.53	4.85	1.32	1.80	0.47	0.83	0.108	1.603	0.017	0.174
45	30.21	8.88	4.95	3.11	0.94	0.84	0.630	0.015	0.055	0.056
46	32.62	5.16	7.50	0.96	1.53	0.50	0.119	0.214	0.047	0.095
47	32.66	7.38	3.49	2.70	0.68	0.67	0.282	0.014	0.051	0.019
48	34.70	6.10	3.55	2.25	0.66	0.38	0.222	0.044	0.049	0.059
49	26.61	6.88	4.24	2.76	2.31	1.06	0.414	3.967	0.047	0.180
50	36.63	5.48	3.00	1.35	0.26	0.60	0.312	0.054	0.046	0.038
51	37.12	4.89	3.53	1.10	0.39	0.47	0.270	0.021	0.045	0.048
52	34.35	6.37	4.20	1.90	0.56	0.49	0.498	0.020	0.047	0.052
53	35.80	4.88	3.87	2.15	0.29	0.53	0.546	0.022	0.040	0.042
54	19.09	5.97	10.16	0.58	1.98	0.38	0.342	8.990	4.409	0.142
55	31.07	8.41	4.92	2.38	0.91	0.55	0.576	0.036	0.047	0.052
56	30.58	9.44	4.04	2.81	0.67	0.62	0.624	0.014	0.045	0.047
57	31.32	8.40	4.20	2.63	0.58	0.70	0.006	0.015	0.048	0.046
58	29.48	9.31	5.19	2.66	0.98	0.68	0.630	0.021	0.096	0.057
59	28.80	10.27	4.81	2.97	0.95	0.76	1.106	0.020	0.055	0.055
60	25.32	10.32	9.88	2.95	1.04	0.64	0.654	0.036	0.057	0.051
61	28.41	8.73	8.32	2.52	0.85	0.56	0.594	0.019	0.051	0.045
62	29.56	7.05	8.95	2.28	1.26	1.25	0.504	0.026	0.059	0.020
63	27.26	9.80	3.34	6.59	1.04	1.21	0.671	0.029	0.074	0.015
64	33.69	6.95	4.22	1.78	1.00	0.10	0.318	0.199	0.032	0.029
65	35.77	6.27	2.26	2.29	0.54	0.76	0.420	0.022	0.035	0.009
66	32.85	9.42	0.75	4.23	0.28	1.02	0.228	0.028	0.038	0.016
67	37.27	5.61	2.03	2.56	0.36	0.19	0.186	0.016	0.037	0.019
68	33.55	6.30	4.29	2.38	0.70	0.80	0.498	0.034	0.073	0.027
69	37.38	4.92	3.04	1.03	0.32	2.24	0.096	0.039	0.032	0.057
70	38.79	3.79	2.74	1.19	0.30	1.33	0.072	0.035	0.033	0.040
71	35.63	6.75	2.23	3.02	0.37	0.45	0.192	0.017	0.027	0.008
72	35.65	5.57	4.06	2.00	0.39	0.60	0.246	0.013	0.026	0.011
73	35.80	4.33	5.48	1.62	0.41	0.85	0.216	0.021	0.030	0.016
74	32.37	6.37	7.01	2.11	0.66	0.80	0.240	0.041	0.042	0.019
75	33.81	5.78	4.32	2.66	0.34	0.59	0.456	0.152	0.077	0.025
76	33.38	6.00	4.41	1.87	0.55	0.73	0.455	0.164	0.096	0.027
77	33.32	6.36	4.50	2.33	0.75	0.52	0.414	0.147	0.091	0.036
78	30.32	6.75	4.67	2.71	0.64	0.74	0.456	0.039	0.083	0.031
79	30.25	8.35	4.85	2.96	0.68	1.20	0.474	0.045	0.075	0.046
80	29.90	9.71	3.82	3.06	0.89	0.99	0.476	0.032	0.093	0.053
81	29.50	9.48	4.22	3.84	0.73	0.90	0.552	0.140	0.089	0.052
82	30.69	8.58	4.76	3.17	0.72	0.80	0.516	0.029	0.102	0.059
83	32.93	6.76	3.90	3.15	0.33	1.16	0.510	0.024	0.056	0.054
84	31.59	7.82	5.12	2.37	0.80	1.05	0.458	0.026	0.057	0.095
85	31.94	7.61	4.67	2.60	0.69	1.14	0.492	0.033	0.069	0.082
86	32.29	5.74	7.07	2.18	0.44	1.34	0.504	0.054	0.039	0.076
87	32.84	7.22	4.21	2.76	0.38	1.19	0.552	0.043	0.034	0.022
88	39.08	3.01	4.25	0.26	0.47	0.52	0.216	0.079	0.053	0.009
89	33.98	5.85	5.46	2.09	0.35	0.99	0.342	0.015	0.035	0.026
90	35.67	4.12	5.81	2.13	0.37	0.56	0.408	0.021	0.031	0.025

Tab. 7 Geochemischer Datensatz, Hauptelemente

Probe	Ba	Zn	Co	Ni	Cr	V	Cu	U	Th	Glühverlust
1	768	31	20	30	49	17	-	43	26	3.69
2	1502	37	6	14	39	23	-	-	-	4.16
3	684	66	10	17	33	28	-	35	29	4.94
4	535	63	16	14	26	24	-	-	30	5.34
5	696	52	19	18	37	34	15	24	37	6.06
6	711	47	17	14	34	22	-	39	42	5.85
7	819	50	21	19	37	24	37	-	26	6.16
8	733	25	100	24	40	14	59	-	36	6.15
9	559	67	41	16	39	25	16	-	-	6.30
10	583	68	22	26	36	25	28	57	24	6.02
11	578	96	22	27	40	26	23	-	-	6.15
12	720	113	16	20	39	32	19	-	31	6.44
13	660	76	18	20	50	39	22	-	20	6.34
14	725	78	28	26	51	37	18	-	-	6.60
15	675	71	25	20	47	35	18	-	27	7.07
16	625	75	27	22	49	41	23	-	39	7.01
17	712	81	30	17	49	38	16	-	-	6.76
18	807	73	30	26	55	51	16	-	-	6.77
19	691	129	26	30	63	40	25	-	-	6.76
20	725	70	29	25	55	43	21	-	25	6.69
21	599	83	7	37	16	-	39	106	-	4.88
22	741	123	7	9	11	-	6	-	-	2.92
24	690	218	8	17	32	24	20	33	27	5.79
30	260	95	10	5	50	-	107	214	58	-
33	675	69	14	11	14	5	3	-	20	3.19
34	690	95	14	12	35	36	5	-	22	3.19
35	691	68	12	23	33	6	4	-	28	3.19
36	721	217	13	21	48	39	23	-	26	4.30
37	664	328	14	32	53	42	24	-	26	5.00
38	675	70	12	60	94	38	19	-	23	4.68
39	425	175	20	38	59	3	4	-	32	4.66
40	594	154	20	4	4	2	2	-	23	3.05
41	430	85	29	8	12	7	2	-	22	2.83
42	578	124	23	5	7	3	3	-	24	2.62
43	556	86	19	-	5	2	2	-	24	2.77
44	573	127	15	7	13	4	4	-	22	4.06
45	576	79	31	51	100	103	-	-	18	3.78
46	506	98	17	34	17	16	-	-	17	4.64
47	564	54	17	37	59	44	22	-	23	5.18
48	591	183	13	19	37	30	13	-	26	4.21
49	356	103	27	84	92	92	26	-	15	8.85
50	215	61	53	29	46	60	29	-	20	3.40
51	182	62	46	28	41	48	5	-	17	3.03
52	298	100	43	52	80	83	7	28	-	3.53
53	348	74	34	54	84	93	-	-	26	3.77
54	273	143	24	61	61	68	-	-	20	5.29
55	411	86	33	140	207	103	34	-	29	4.29
56	460	74	30	55	107	120	52	-	23	4.41
57	441	76	32	51	102	113	41	-	27	4.46
58	438	98	31	58	109	111	4	-	23	4.80
59	508	132	29	53	112	118	105	-	22	4.59
60	506	126	25	51	108	113	52	-	25	4.73
61	438	105	32	49	87	96	-	-	22	4.44
62	416	87	43	95	140	90	-	-	17	3.29
63	619	86	26	77	224	139	21	-	18	4.67
64	600	97	33	34	63	33	-	-	27	3.89
65	619	173	19	23	70	70	-	-	14	2.91
66	584	22	13	3	10	8	12	-	33	3.41
67	552	34	23	10	26	27	2	-	23	2.41
68	575	74	22	45	82	84	11	-	18	3.98
69	304	204	38	-	8	4	11	-	20	1.61
70	460	36	65	4	6	2	30	-	15	1.89
71	617	60	26	8	30	20	4	-	28	2.57
72	570	48	18	17	44	34	7	-	19	3.03
73	515	88	18	34	49	33	-	-	20	3.15
74	635	85	15	16	29	10	-	-	19	3.41
75	570	257	30	37	84	84	8	-	23	4.92
76	532	97	29	38	81	83	6	-	20	5.21
77	527	427	29	33	74	78	5	-	14	4.35
78	684	113	29	41	87	87	8	-	22	5.04
79	663	127	22	40	85	90	3	-	17	3.91
80	650	233	36	42	88	92	9	-	23	4.61
81	585	99	25	39	101	110	58	-	25	4.50
82	677	119	31	55	114	98	46	-	25	4.02
83	638	84	21	37	93	98	62	-	24	4.19
84	573	240	20	44	76	74	20	-	23	3.64
85	675	112	22	42	84	77	10	-	22	3.68
86	635	72	28	43	88	65	-	-	21	3.72
87	661	64	23	18	102	82	-	-	16	3.46
88	170	78	71	41	43	42	8	-	8	2.25
89	584	61	31	29	60	35	25	-	18	3.32
90	453	22	1	5	6	-	-	-	3	2.85

Tab. 8 Geochemischer Datensatz, Spurenelemente I

Probe	Zr	Sr	Rb	Be	Ga	V/Cr
1	185	21	131			0.34
2	161	29	126			0.60
3	177	30	127			0.83
4	195	28	143			0.92
5	216	27	163			0.90
6	231	31	180			0.66
7	206	28	160			0.65
8	181	24	129			0.34
9	214	33	147			0.64
10	188	51	132			0.55
11	201	30	142			0.65
12	224	34	155			0.82
13	199	34	153			0.78
14	208	32	97			0.73
15	245	33	167			0.75
16	227	42	165			0.84
17	199	36	152			0.78
18	198	36	161			0.93
19	224	30	162			0.63
20	191	27	144			0.78
33	199	22	85	3	17	0.36
34	209	45	166	5	21	1.03
35	216	26	106	3	20	0.18
36	218	41	182	5		0.81
37	222	40	154	4		0.66
38	179	31	137	4		0.40
39	225	18	99	2		0.05
40	212	31	93	2	23	0.50
41	166	21	74	2		0.58
42	191	57	82	2		0.43
43	241	45	113	3	13	0.40
44	180	95	86	3		0.31
45	206	71	176	2		1.03
46	143	29	51	3		0.94
47	235	31	161	3		0.89
48	194	27	100	4	16	0.81
49	124	140	150	3		1.00
50	112	46	41	2		1.30
51	89	43	46	2		1.17
52	144	51	48	2		1.07
53	154	60	35	2	13	1.11
54	109	119	17	3		1.12
55	164	59	117	3		0.50
56	163	72	73	3		1.12
57	185	67	89	3		1.09
58	181	71	113	3		1.02
59	195	69	119	3	25	1.05
60	170	70	162	3		1.04
61	176	66	120	2		1.10
62	142	72	103	2		0.61
63	193	90	130	3		0.62
64	231	63	115	4		0.52
65	131	63	110	4		1.00
66	374	74	206	6	-	0.80
67	200	30	151	4	15	0.98
68	134	70	64	3		1.02
69	176	122	52	2		0.50
70	160	81	69	2		0.33
71	242	39	115	3		0.68
72	215	43	57	3		0.86
73	180	53	53	3	14	0.67
74	226	54	95	3		1.00
75	169	65	71	3		1.00
76	165	66	40	3		1.03
77	126	56	61	2	14	1.05
78	187	61	75	3		1.00
79	206	79	119	3	26	1.06
80	182	71	160	3		1.05
81	204	78	154	4		1.09
82	177	68	128	3	20	0.92
83	204	84	142	4		1.05
84	200	65	87	3		0.97
85	192	70	82	3		0.92
86	288	50	59	3		0.74
87	185	62	148	3		0.83
88	62	31	29			0.98
89	265	54	45	3	28	0.58
90	138	55	11	2		0.91

Tab. 9 Geochemischer Datensatz, Spurenelemente II

SI	1.00000 0.00000																										
AL	-0.57190 0.0001	1.00000 0.0000																									
FE	-0.59281 0.0001	-0.04118 0.7787	1.00000 0.0000																								
K	-0.06515 0.5607	0.66880 0.0001	-0.38831 0.0058	1.00000 0.0000																							
MG	-0.64418 0.0001	0.16799 0.2486	0.57211 0.0001	-0.47188 0.0006	1.00000 0.0000																						
NA	-0.17478 0.2297	0.18214 0.2104	0.27987 0.0515	0.40824 0.0036	-0.23095 0.1104	1.00000 0.0000																					
TI	-0.47214 0.0006	0.55154 0.0001	0.29816 0.0374	0.48894 0.0004	0.03140 0.8304	0.58174 0.0001	1.00000 0.0000																				
CA	-0.65972 0.0001	-0.11702 0.4233	0.50935 0.0002	-0.46369 0.0008	0.64015 0.0001	-0.13314 0.3618	-0.02208 0.8803	1.00000 0.0000																			
P	-0.67184 0.0001	-0.09632 0.5103	0.51196 0.0002	-0.44365 0.0014	0.62997 0.0001	-0.11305 0.4393	0.00245 0.9866	0.99488 0.0001	1.00000 0.0000																		
MN	-0.28799 0.0448	0.08839 0.5459	0.22087 0.1272	-0.12458 0.3937	0.33465 0.0188	0.01949 0.8942	0.03180 0.8283	0.32906 0.0210	0.31808 0.0259	1.00000 0.0000																	
BA	0.18935 0.1926	0.11790 0.4198	-0.41065 0.0034	0.34746 0.0144	-0.38114 0.0069	0.12430 0.3948	-0.09853 0.5006	-0.34883 0.0140	-0.34612 0.0148	0.04310 0.7687	1.00000 0.0000																
ZN	-0.13690 0.3412	0.09078 0.5351	0.12243 0.4020	0.07533 0.6069	0.13422 0.3578	0.14381 0.3242	-0.17000 0.2211	0.06984 0.6335	0.07872 0.5908	-0.02932 0.8415	0.06163 0.6740	1.00000 0.0000															
CO	-0.12681 0.3862	0.10591 0.4689	0.00002 0.9999	0.09363 0.5222	-0.02412 0.8693	0.06987 0.6333	0.23635 0.1021	0.00109 0.9940	0.00389 0.9789	-0.08065 0.5817	0.06303 0.6670	-0.05121 0.7267	1.00000 0.0000														
NI	-0.52494 0.0001	0.25586 0.0760	0.51170 0.0002	0.01192 0.9352	0.31062 0.0290	0.39456 0.0050	0.53590 0.0001	0.30601 0.0325	0.33094 0.0202	0.18710 0.1900	-0.11892 0.4157	0.24643 0.0878	0.12975 0.3743	1.00000 0.0000													
CR	-0.41244 0.0032	0.42535 0.0023	0.28985 0.0434	0.49925 0.0003	-0.12938 0.3756	0.68628 0.0001	0.83135 0.0001	-0.01304 0.9291	0.02375 0.8713	0.00421 0.9771	0.09943 0.4967	0.28764 0.0451	0.24211 0.0937	0.72107 0.0001	1.00000 0.0000												
V	-0.51370 0.0002	0.46796 0.0007	0.37483 0.0000	0.49446 0.0003	0.04130 0.7781	0.68052 0.0001	0.88808 0.0001	0.05888 0.6878	0.09223 0.5285	0.02544 0.8999	-0.01844 0.0301	0.31016 0.1638	0.20208 0.0001	0.65629 0.0001	0.93022 0.0001	1.00000 0.0000											
CU	-0.19215 0.1859	0.44564 0.0013	0.03730 0.7991	0.31619 0.0269	0.06316 0.6664	0.04844 0.7410	0.49385 0.0003	-0.13725 0.3470	-0.12452 0.3940	0.05894 0.6875	0.02836 0.8466	0.00261 0.9858	0.29373 0.0405	0.28126 0.0503	0.34544 0.0151	0.31671 0.0266	1.00000 0.0000										
TH	0.03008 0.8375	0.00258 0.9860	-0.11032 0.4505	0.24091 0.0954	-0.08952 0.5407	0.08806 0.5474	0.02443 0.8677	-0.01119 0.9392	-0.01710 0.9071	0.32244 0.0229	0.39488 0.0050	0.09809 0.5025	0.06136 0.6754	0.02063 0.8881	0.09459 0.5180	0.09215 0.5289	0.04507 0.7585	1.00000 0.0000									
ZR	0.03733 0.7990	0.13162 0.3673	-0.22796 0.1152	0.36062 0.0109	-0.35194 0.0131	0.30242 0.0347	0.08892 0.5435	-0.21211 0.1434	-0.20352 0.1607	0.01755 0.9047	0.65428 0.0001	-0.12749 0.3827	0.21634 0.1354	-0.02389 0.8706	0.20381 0.1681	0.10860 0.4576	0.01202 0.9347	0.29101 0.0425	1.00000 0.0000								
SR	-0.57904 0.0001	0.19334 0.1832	0.49722 0.0003	0.19952 0.1693	0.17410 0.2315	0.63518 0.0001	0.63548 0.0001	0.43906 0.0016	0.46264 0.0008	0.21911 0.1304	-0.03267 0.8236	0.24006 0.0966	0.18257 0.2093	0.59745 0.0001	0.72797 0.0001	0.80808 0.0001	0.09501 0.5161	0.16649 0.2529	0.19419 0.1812	1.00000 0.0000							
RB	-0.01885 0.8977	0.44973 0.0012	-0.43765 0.0017	0.50119 0.0002	-0.20504 0.1576	0.00638 0.9653	0.04528 0.7573	-0.27991 0.0514	-0.26824 0.0624	0.03306 0.8216	0.63261 0.0001	0.04296 0.7694	0.15180 0.2978	-0.05396 0.7127	0.15234 0.2960	0.06214 0.6714	0.20567 0.1563	0.25968 0.0716	0.68414 0.0001	0.01284 0.9302	1.00000 0.0000						

Tab. 15 Korrelationsmatrix der Datei Tonsteine

SI	1.00000																																																					
AL	-0.69421	1.00000																																																				
FE	-0.65009	0.15887	1.00000																																																			
K	-0.37404	0.66461	-0.10077	1.00000																																																		
MG	-0.81734	0.47346	0.55957	0.11703	1.00000																																																	
NA	-0.04115	0.06302	0.06833	-0.00399	0.05970	1.00000																																																
TI	-0.47481	0.50882	0.41270	0.42018	0.28553	0.06183	1.00000																																															
CA	-0.54021	-0.09293	0.43645	-0.29868	0.60445	-0.02168	-0.04048	1.00000																																														
P	-0.55575	-0.07404	0.44818	-0.28145	0.60444	-0.01672	-0.01612	0.99473	1.00000																																													
MN	-0.29222	0.17289	0.18162	-0.02346	0.25538	0.17261	0.09604	0.31522	0.31101	1.00000																																												
BA	-0.09332	0.25117	-0.22209	0.39645	-0.01691	0.00699	-0.10023	-0.21461	-0.21670	0.08250	1.00000																																											
ZN	-0.14438	0.10148	0.13269	0.04821	0.18304	0.24030	0.15284	0.06974	0.07845	0.01007	0.13148	1.00000																																										
CO	0.05925	-0.12457	0.10341	-0.20014	0.00638	-0.05849	0.13170	-0.02966	-0.02727	-0.08221	-0.31558	-0.13725	1.00000																																									
NI	-0.38914	0.27765	0.45492	0.14937	0.35653	0.04867	0.51896	0.12341	0.14547	0.10837	-0.26483	0.09691	0.22346	1.00000																																								
CR	-0.45100	0.45297	0.37328	0.53853	0.27778	0.02232	0.68959	-0.04745	-0.01743	0.03045	-0.05372	0.14079	0.15992	0.85250	1.00000																																							
V	-0.51911	0.49075	0.45147	0.47688	0.27039	0.05673	0.79765	0.00919	0.04454	0.08858	-0.12695	0.21023	0.19629	0.64311	0.83586	1.00000																																						
CU	-0.06793	0.31279	-0.08295	0.11891	-0.05035	0.00564	0.25454	-0.10001	-0.10103	-0.04404	-0.04835	-0.00918	0.08894	0.18196	0.18377	0.14356	1.00000																																					
TH	0.15139	-0.06393	-0.10185	-0.02123	-0.08503	0.01710	-0.05614	-0.01651	-0.02646	0.29891	0.11496	0.06471	-0.08146	0.10958	0.02903	-0.04051	0.29147	1.00000																																				
ZR	-0.16100	0.23359	-0.01191	0.33871	0.02508	0.04809	0.03999	-0.15782	0.11500	0.70194	-0.07178	-0.04734	-0.10033	0.07213	0.04806	-0.13672	-0.00167	1.00000																																				
SR	-0.42785	0.18907	0.55447	0.23555	0.27554	0.09713	0.60126	0.28791	0.31523	0.18856	-0.22315	0.27245	0.10610	0.54165	0.64941	0.79973	-0.04567	0.04457	-0.00806	1.00000																																		
RB	-0.17826	0.44745	-0.20872	0.41929	0.12881	-0.05874	-0.00018	-0.22212	-0.21618	0.07731	0.67388	0.05841	-0.09237	-0.10871	0.04668	-0.02258	0.03024	0.01353	0.69449	-0.21134	1.00000																																	
	0.1588	0.0002	0.0979	0.0006	0.3104	0.6447	0.9989	0.0777	0.0862	0.5437	0.0001	0.6466	0.4679	0.3925	0.7142	0.8594	0.8125	0.9155	0.0001	0.0937	0.0000																																	
		SI	AL	FE	K	MG	NA	TI	CA	P	MN	BA	ZN	CO	NI	CR	V	CU	TH	ZR	SR	RB																																

Tab. 16 Korrelationsmatrix der Datei Sedimentgesteine