



DECKBLATT

	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
	N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
EU 039.1	9 K	3174.32	-	G B	RB	0002	00

Titel der Unterlage: Felsmechanische Gesteinsparameter: Auswertung der felsmechanischen Laboruntersuchungen	Seite:
	I.
	Stand: 30.11.85

Ersteller: GSF	Textnummer:
--------------------------	--------------------

Stempelfeld:

PSP-Element TP.....9 K/2122414	zu Plan-Kapitel: 3.1.9.7
--------------------------------	--------------------------

	PL 21  Freigabe für Behörden	PL 21.04.86  Freigabe im Projekt
--	--	---

Diese Unterlage unterliegt samt Inhalt dem Schutz des Urheberrechts sowie der Pflicht zur vertraulichen Behandlung auch bei Beförderung und Vernichtung und darf vom Empfänger nur auftragsbezogen genutzt, vervielfältigt und Dritten zugänglich gemacht werden. Eine andere Verwendung und Weitergabe bedarf der ausdrücklichen Zustimmung der PTB.

39.1

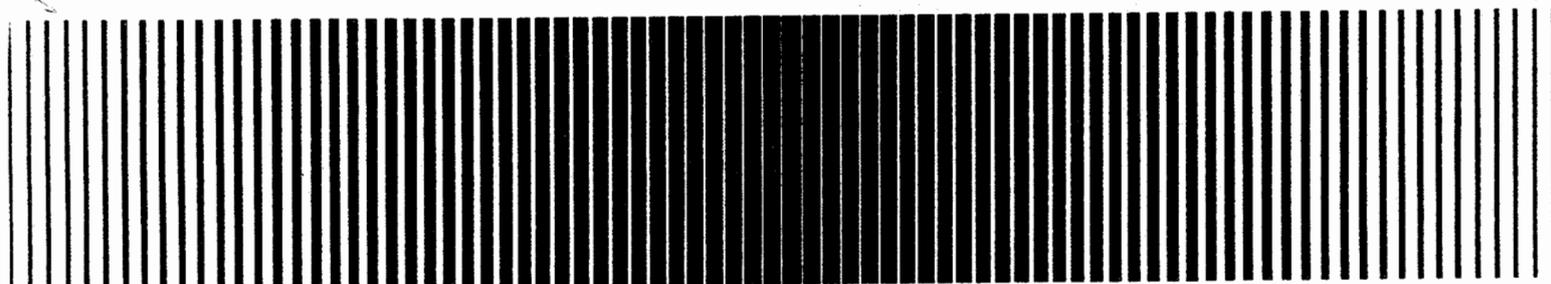
LV-Nr. 2219.12

AP-Nr. 3

20

LV-Nr. 2219.12

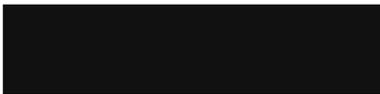
AP-Nr. 3



Gesellschaft für
Strahlen- und
Umweltforschung
München

Auftragnehmer: Gesellschaft für Strahlen- und
Umweltforschung mbH (GSF), München
Institut für Tieflagerung

Titel: Felsmechanische Gesteinsparameter
Teilaufgabe 2219.12, Arbeitspaket Nr. 3:
Auswertung der felsmechanischen Labor-
untersuchungen

Verfasser: 

Braunschweig, den 30.11.1985

Der Bericht wurde im Auftrag der Physikalisch-Technischen
Bundesanstalt (PTB) erstellt. Die PTB behält sich alle Rechte
vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit Zustimmung der
PTB zitiert, ganz oder teilweise vervielfältigt bzw. Dritten
zugänglich gemacht werden.

Inhaltsverzeichnis

0. Einleitung

1. Auswertung aller Meßdaten mit Bestimmung der Bruchhüllkurven und der elastischen Gesteinskennwerte für die verschiedenen untersuchten Gesteinseinheiten
2. Untersuchungsergebnisse zur Bestimmung des Kriechverhaltens ausgewählter Gesteinsproben
3. Begleitende mineralogische Untersuchungen
4. Tabellarische Zusammenstellung von früher ermittelten Gesteinsparametern und Vergleich mit neuen Ergebnissen
5. Versuch einer Gebirgsklassifizierung
6. Anmerkungen zur Standsicherheitsberechnung

0. Einleitung

Im Rahmen des Projektes Konrad wird von der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH, Institut für Tieflagerung, die Teilaufgabe 2219.12 "Felsmechanische Gesteinsparameter" in drei Arbeitspaketen bearbeitet.

Die Berichte zum AP 1 (Probenahme für felsmechanische Untersuchungen) und zum AP 2 (Durchführung felsmechanischer Laboruntersuchungen) liegen der PTB vor.

Dieser Bericht stellt die Bearbeitung des Arbeitspaketes Nr. 3 "Auswertung der felsmechanischen Laboruntersuchungen" dar.

1. Auswertung aller Meßdaten mit Bestimmung der Bruchhüllkurven und der elastischen Gesteinskennwerte für die verschiedenen untersuchten Gesteinseinheiten

Die im Labor ermittelten Kenndaten an Gesteinsproben sind im Einzelnen im Bericht zum Arbeitspaket Nr. 2 enthalten. Er enthält eine tabellarische Zusammenstellung aller Einzelergebnisse und eine tabellarische Zusammenfassung der Meßergebnisse für die verschiedenen Probenahmepunkte.

Auf der Grundlage dieser tabellarischen Zusammenstellung wurden - soweit aufgrund vorliegender Meßergebnisse der einaxial/biaxial durchgeführten Laborversuche möglich - die Mohr-Coulomb'schen Bruchgeraden aus den Mittelwerten der einaxialen Druckversuche, Spaltzugversuche und Torsionsversuche für verschiedene Probenahmepunkte ermittelt und zeichnerisch dargestellt (Anlagen 1 bis 21).

In nachfolgender Tabelle 1.1 sind die Ergebnisse dieser Auswertungen nach stratigraphisch/petrographischen Gesichtspunkten zusammengestellt.

Weiterhin wurde versucht, die für die verschiedenen Probenahmepunkte ermittelten elastischen Gesteinskennwerte unter Berücksichtigung der Stratigraphie in Gruppen von petrographischen Einheiten weiter zusammenzufassen.

Die Zusammenfassung erfolgte für die vorliegenden und ausgewerteten Versuchsergebnisse auf den Anlagen 22 bis 29 getrennt für die beprobten Bohrungen 3/137 + 138, 3/139 + 140, 5/95 und 5/96.

Stratigraphische Einheit	Petrographische Einheit	Probenahme-punkt	Bruchgerade [kN/cm ²]	Reibungs-winkel
Unteres	Mergelstein-Kalkstein	3/137/003	1,196 • σ + 1,067	50°
			1,346 • σ + 0,973	53°
Kimmeridge	Kalkstein-Mergelstein	3/138/002	1,259 • σ + 0,974	51°
			1,716 • σ + 0,755	59°
Oberer Korallenoolith	Kalkstein-Mergelstein	5/96/006	1,316 • σ + 1,633	52°
Oberes	Kalkstein, erzführend	5/96/005	1,499 • σ + 1,668	56°
Lager	" "	3/138/003	0,997 • σ + 0,853	44,8°
Lager	" "	3/138/004	1,650 • σ + 0,752	58°
Lager	" "	3/138/005	0,989 • σ + 0,877	44°
Lager	" "	5/96/004	1,458 • σ + 1,936	55°
Zwischen-	Mergelstein, erzführend	3/138/006	1,160 • σ + 0,538	49°
			2,107 • σ + 0,327	64°
mittel	Kalkstein, tonig	5/96/002	1,361 • σ + 0,88	54°
mittel	Kalkstein	5/96/003	1,122 • σ + 1,302	48°
Unteres	Kalkstein, erzführend	3/138/008	1,421 • σ + 0,886	54°
Unteres	" "	3/138/009	0,989 • σ + 0,974	44°
Lager	Eisenoolith, mergelig	3/138/010	1,452 • σ + 0,934	55°
			1,759 • σ + 0,794	60°

Mittlerer Korallenoolith

Stratigraphische Einheit	Petrographische Einheit	Probenahme- punkt	Bruchgerade [kN/cm ²]	Reibungs- winkel	
Unterer Korallenoolith	Erzkalk- serie	Kalkstein, erzführend	5/95/004	1,438·σ+0,733	55°
	Fladenton- steinserie	Mergelstein	5/95/007	1,503·σ0,678	56°
	Trümmer- kalkserie	Kalkstein	3/139/005	0,837·σ+1,692	39°
		"	3/139/006	1,262·σ+1,148	51°
		"	3/139/007	1,440·σ+1,675	55°
	Callovium	Tonstein, kalkig	3/139/008	1,176·σ+0,775	49°
			3/139/009	1,087·σ+0,911	47°

Tab. 1.1: Zusammenstellung der ermittelten Bruchgeraden nach Mohr-Coulomb für die untersuchten Probenahmepunkte

2. Untersuchungsergebnisse zur Bestimmung des Kriechverhaltens ausgewählter Gesteinsproben

Die einaxial/biaxialen Laboruntersuchungen (einaxiale Druckversuche mit unterschiedlichen Weggeschwindigkeiten, Spaltzugversuche, Torsionsversuche) haben anhand der beobachteten Bruchfiguren (überwiegend Sprödbbruch und Scherbruch) und der sich einstellenden Bruchwege zwischen 0,394 mm und 1,026 mm (siehe Anlage 25 und 24) kein Kriechverhalten der untersuchten Gesteinsproben erkennen lassen. Bei Probenlängen von 100 mm entsprechen diese Bruchwege Verformungen zwischen 0,394 und 1,026 %.

Auch die Einzelergebnisse der einaxialen Druckversuche (siehe AP 2, Anlage 3) ergeben wegen der Streubreite keine eindeutigen Hinweise auf evtl. Kriecheigenschaften (höhere Geschwindigkeit ergibt höhere Festigkeit bzw. geringere Geschwindigkeit ergibt kleinere Festigkeit).

Da jedoch ein Kriechverhalten nicht eindeutig ausgeschlossen werden konnte, wurden zunächst zwei Gesteinsproben einaxialen Druckkriechversuchen zur Bestimmung der zeitabhängigen Materialverformung unterzogen. Die Proben stammen aus der Bohrung 3/139 und sind stratigraphisch dem Callovium zuzuordnen. Petrographisch handelt es sich um einen Ton-Mergelstein (3/139/007a) bzw. um einen kalkigen Tonstein (3/139/010). Die Versuche wurden in einem Prüfstand der Firma Freundl (siehe Bericht zu AP 2 dieser Teilaufgabe) bei einer konstanten Temperatur von 28°C durchgeführt. Dabei wurden die Probekörper axial mit einer konstanten Kraft von 45 kN belastet (dies entspricht einer Spannung von 22,9 MPa bei einem Probendurchmesser von 50 mm).

Die Messungen wurden bisher über einen Zeitraum von ca. 100 Tagen ausgeführt. Das Verformungsverhalten der beiden Proben wurde in Fig. 2.1 in einem Axialstauchungs-Zeit-Diagramm dargestellt.

Zur Beurteilung der bisherigen Versuchsergebnisse wurde für beide Proben ein Ausgleich der Axialstauchung ϵ_1 [%] = f (t[d]) nach dem linearen Ansatz $y = m \cdot x + b$ (mit $y = \epsilon_1$ [%] und $x =$ Zeit t [d]) vorgenommen und die mittlere sekundäre Kriechrate bestimmt.

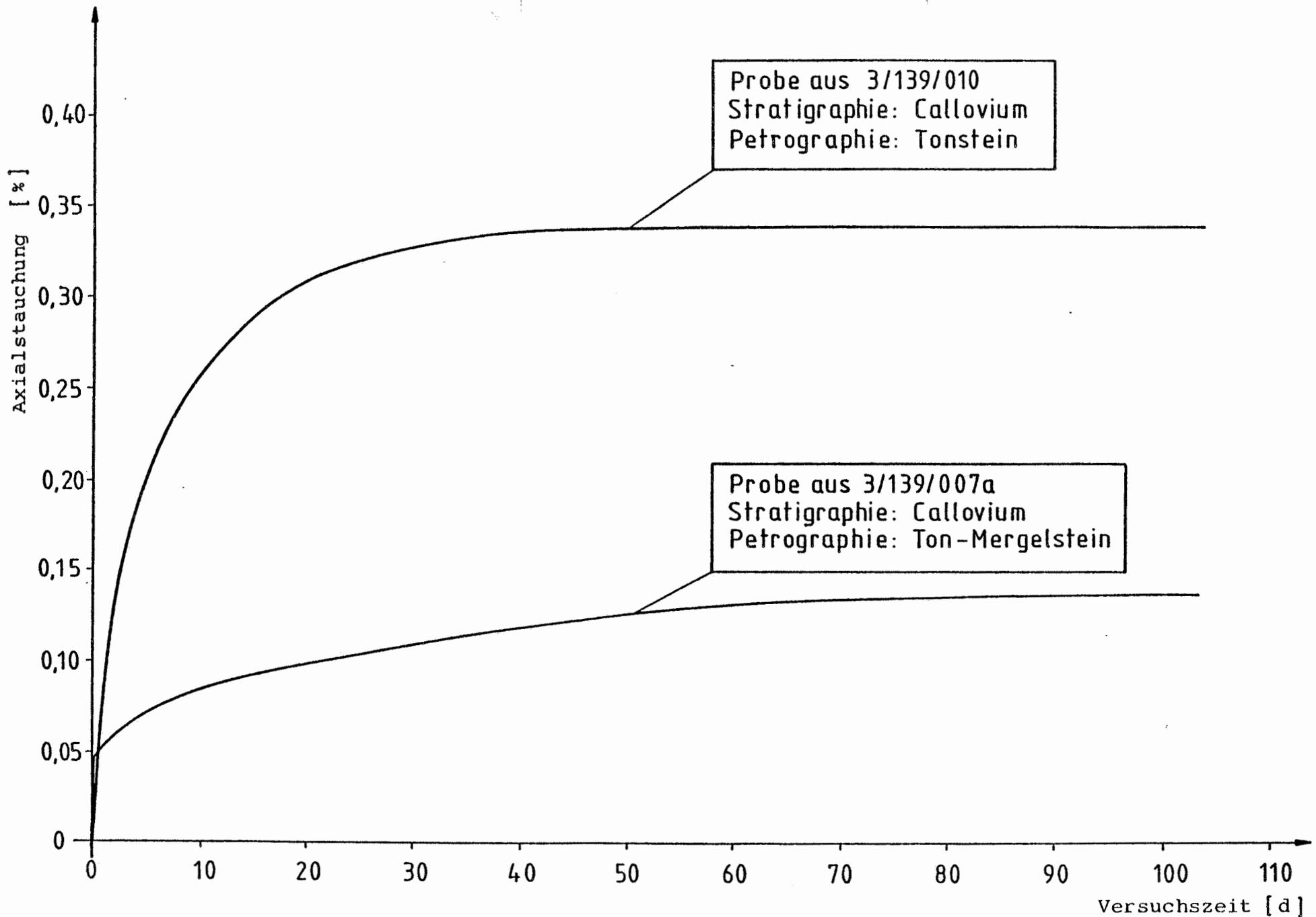


Fig. 2.1 : Einaxiale Druckkriechversuche an Konradproben bei konstanter Belastung von $\sigma = 23$ MPa (Erste Versuchsergebnisse)

Für die Ton-Mergelstein-Probe (3/139/007a) ergeben sich für den Zeitabschnitt $50 \leq t \leq 103$ [d] die Regressionskoeffizienten zu

$$m = \epsilon_1 = 6,583 \cdot 10^{-4} \quad [\%/d]$$

und

$$b = 8,17 \cdot 10^{-2} \quad [\%]$$

bei einem Korrelationskoeffizienten von $r = 0,8605$. Damit erhält man die mittlere sekundäre Kriechrate für diese Probe zu

$$\epsilon_1 = 6,58 \cdot 10^{-4} \quad [\%/d]$$

bzw.

$$\epsilon_1 = 6,58 \cdot 10^{-6} \quad [d^{-1}]$$

Die Kriechrate für diese Probe ist somit als verhältnismäßig gering zu beurteilen.

Für die Tonstein-Probe (3/139/010) ergeben sich für den Zeitabschnitt $50 \leq t \leq 103$ [d] die Regressionskoeffizienten zu

$$m = \epsilon_1 = 2,863 \cdot 10^{-4} \quad [\%/d]$$

und

$$b = 0,312 \quad [\%]$$

bei einem Korrelationskoeffizienten von $r = 0,681$.

Damit erhält man die mittlere sekundäre Kriechrate für diese Probe zu

$$\epsilon_1 = 2,86 \cdot 10^{-4} \quad [\%/d]$$

bzw.

$$\epsilon_1 = 2,86 \cdot 10^{-6} \quad [d^{-1}]$$

Die Kriechrate für diese Probe ist ebenfalls als verhältnismäßig gering zu beurteilen.

In Anbetracht der verhältnismäßig niedrigen Versuchsspannung im Vergleich zur einaxialen Bruchfestigkeit, wegen der geringen zeitabhängigen Verformungsbeträge in dem angegebenen Zeitraum und der beobachteten Schwankungen der Meßwerte und Auflösungsvermögens der Meßeinrichtungen läßt sich aufgrund dieser Versuche nicht endgültig entscheiden, ob bei diesen beiden Proben ein zeitabhängiges Verformungsverhalten im Sinne eines echten sekundären Kriechens vorliegt.

Die bis zum 50. Versuchstag akkumulierte transiente Kriechverformung liegt allerdings in der Größenordnung von 0,11 % (3/139/007a) bzw. 0,33 % (3/139/010).

Die Kriechversuche werden z. Z. in Abstimmung mit BGR mit höheren Versuchsspannungen fortgesetzt. Die endgültigen Versuchsergebnisse können daher erst nach Abschluß der Untersuchungen mitgeteilt werden. Die vorliegenden Ergebnisse (siehe Fig. 2.1) können daher nur als vorläufig betrachtet werden.

3. BEGLEITENDE MINERALOGISCHE UNTERSUCHUNGEN AN
BOHRPROBEN UNTERSCHIEDLICHER PETROGRAPHISCHER
EINHEITEN AUS FELSMECHANISCHEN BOHRUNGEN IN
DER SCHACHTANLAGE KONRAD

3.1 Einleitung

Begleitend und ergänzend zu felsmechanischen Untersuchungen an Gesteinsproben aus der Schachtanlage Konrad wurde eine mineralogische Bearbeitung durchgeführt. Das Probenmaterial hierzu lieferten die für die felsmechanischen Laborversuche nicht verwendbaren Rest- bzw. Endstücke der Prüfkörper aus den Kernbohrungen 3/137, 3/138, 3/139, 5/95 und 5/96.

Insgesamt sind 40 Einzelproben bearbeitet worden, die, soweit möglich, einem repräsentativen Bereich entnommen sind. Von diesen Proben wurden Dünnschliffe zur mikroskopischen Bearbeitung, eine chemische Teilanalyse (Kohlendioxid, Kohlenstoff, Schwefel) sowie Präparate zu röntgenographischen Bestimmungen angefertigt. Die in diesem Bericht gegebenen Beschreibungen der Proben umfassen eine Gefügecharakterisierung sowie quantitative Angaben der Modalbestände (d.h. Anteile der verschiedenen Komponenten, z.B. Ooide, Matrix, usw.) und der Mineralbestände.

Die durchteuften stratigraphischen Einheiten sind mit Ausnahme der Heersumer Schichten jeweils mit mindestens drei Einzelproben bei der mineralogischen Bearbeitung beteiligt.

Die Verteilung der einzelnen Proben auf die durchteuften stratigraphischen Einheiten ist der folgenden Tabelle zu entnehmen.

Stratigraphische Einheit		Proben	
Unteres Kimmeridge		3/137/001/0 3/137/002/0 3/137/003/0 3/138/001/5a 3/138/002/3a 5/96/011/FM8a	
Oberer Korallenoolith		5/96/005/PP3a 5/96/006/FM6b 5/96/007/FM4a 5/96/008/PP2a 5/96/009/PP1a 5/96/010/PP1a	
Mittlerer Korallenoolith	Oberes Lager	3/138/003/0 3/138/004/5a 3/138/005/5a 5/96/004/FM6b	
	Zwischenmittel	3/138/006/5a 3/138/007/3a 5/96/002/FM3a 5/96/003/FM2a	
	Unteres Lager	3/138/008/3a 3/138/009/5a 3/138/010/5a 3/138/011/4a 5/96/001/FM3a	
	Erzkalk-Serie		3/139/001/PP1a 3/139/002/8.30 m 5/95/001/0 5/95/003/FM1a 5/95/004/FM1aa
	Unterer Korallenoolith	Fladentonstein-Serie	3/139/003/PP2b 3/139/004/F1a 5/95/005/PP1a 5/95/007/FM3b
		Trümmerkalk-Serie	3/139/005/PP2a 3/139/006/F4a 3/139/007/PP1a
Callovium		3/139/008/F5a 3/139/009/F3a 5/95/010/FM2b	

Tab. 3.1: Mineralogisch untersuchte Proben und zugehörige stratigraphische Einheiten

Bei den nachfolgenden zusammenfassenden mineralogischen Beschreibungen jeder stratigraphischen Einheit wurden graphisch mittlere Modal- und Mineralbestände dargestellt. Hier werden die folgenden Abkürzungen benutzt:

a) Modalbestand

Mik - Mikrit
Spa - Sparit
Lim - Limonit
Ton - Tonminerale
Oo - Kalkooide
Fe-Oo - Brauneisenoide
Onk - Onkoide
Litho - Lithoklasten
Pel - Peloide
Bio - Biogene
Qz - Quarz (+ Feldspat)
S - Sonstiges (Pyrit, Asphalt, etc.)

b) Mineralbestand

Karb - Karbonatminerale
Ton - Tonminerale
Qz - Quarz (+ Feldspat)
Goe - Goethit
S - Sonstiges (Pyrit, organisches Material, etc.)

c) Tonminerale

Chl - Chlorit
Ber - Berthierin
Ill - Illit
WL - Wechsellagerungsmineral Illit/Smectit
Smec - Smectit
Kao - Kaolinit

In den Balkendiagrammen ist jeweils links der Minimalwert, in der Mitte der durchschnittliche und rechts der Maximalwert aufgeführt.

3.2 Beschreibung der angewandten Untersuchungsmethoden

Die quantitative Mineralbestimmung erfordert die Kombination der mikroskopisch, röntgenographisch und chemisch ermittelten Daten, da keine dieser Methoden bei den vorliegenden Gesteinen allein zum Ziel führt. Bei bestimmten Gesteinszusammensetzungen ist neben der Kenntnis dieser Daten außerdem die Annahme gewisser Randbedingungen, z.B. die mineralogische Zusammensetzung eines bestimmten Partikels, erforderlich. Im folgenden werden die angewandten Methoden sowie ihre Anwendung bei den gefundenen Mineralen erläutert.

a) Dünnschliffauszählung

Die quantitative Auszählung der Komponenten im Dünnschliff liefert den Modalbestand, d.h. die quantitativen Anteile der Partikel und der Matrix. Der direkte Mineralgehalt ergibt sich jedoch nur bei bestimmten Mineralen (Quarz, Feldspat), die mineralogische Zusammensetzung anderer Partikel ist dagegen variabel, z.B. besteht die Matrix in den meisten Fällen aus verschiedenen Karbonat- und Tonmineralen. Sehr kleine Partikel (kleiner 20μ) wurden nicht durch Punktzählung, sondern mit Hilfe der von FLÜGEL (1978, Seite 154 ff.) wiedergegebenen Schätzbilder quantitativ bestimmt. Der Nachteil der mikroskopischen Ermittlung ist, daß die Inhomogenität des Gesteins im Dezimeterbereich nicht erfaßt werden kann. Auch sind die Partikel im Verhältnis zur Dünnschlifffläche teilweise so groß, daß keine befriedigende Statistik erreicht werden kann.

Die durch das Punktzählen erhaltenen Werte sind Volumenprozent, die unter Zugrundelegung mittlerer Dichten in Gewichtsprozent umgerechnet werden. Es werden die folgenden mittleren Dichten benutzt:

Calcit, Dolomit	2.8 g/cm ³
Limonit, Goethit	4 "
Quarz, Feldspäte	2.65 "
Pyrit	5 "

b) CO₂-, C-, S-Bestimmung

Die durchgeführten CO₂- und C-Bestimmungen erfolgten volumetrisch: In einem Trägergasstrom (Sauerstoff) wird eine eingewogene Gesteinsprobe bei 1300°C geglüht und das entstandene Gas in einer Bürette aufgefangen. Nach Absorption des CO₂ in NaOH wird die Volumendifferenz gemessen und in Gew.-% CO₂ umgerechnet. Dieser Gehalt entspricht dem karbonatisch gebundenen CO₂ plus dem organischen Kohlenstoff als CO₂ ausgedrückt. Nun wird der Versuch mit Stickstoff als Trägergas wiederholt. Der hierbei ermittelte CO₂-Gehalt ist nur das karbonatisch gebundene CO₂. Die Differenz zu dem obigen Wert entspricht dem organischen Kohlenstoff als CO₂ ausgedrückt.

Zur Schwefelbestimmung wird das Gas durch H₂O₂ geleitet und die entstehende Schwefelsäure gegen NaOH titriert.

Die CO₂-, C- und S-Gehalte werden in entsprechende Karbonat-, organischer Kohlenstoff- und Pyritgehalte umgerechnet. Es werden die folgenden Faktoren benutzt:

Gew.-% CO ₂	Calcit, Dolomit	2.27
Gew.-% C	organisches Material:	1.3
Gew.-% S	Pyrit	1.88

c) Röntgenographische Methoden

Neben der qualitativen Mineralansprache wurden röntgenographische Methoden auch für quantitative Zwecke benutzt. So wurden die Verhältnisse der Karbonatminerale durch die Eichkurve von ROYSE et al. (1971) bestimmt. Da jedoch hierbei die chemische Zusammensetzung der Dolomite (Ankerit-Gehalt) unberücksichtigt bleibt, ist ein gewisser Fehler einzukalkulieren. Auch Quarz kann mit Hilfe der Additionsmethode quantitativ bestimmt werden. Die Tonmineralverhältnisse werden nach Wichtung der Peakintensitäten entsprechend dem Vorschlag von THOREZ (1976, S. 2 ff.) bestimmt. Es wurden die folgenden Peaks benutzt:

- 12 - 10 Å: Wechsellagerungsmineral Illit/Smectit (Differenz der Peakhöhen zwischen Natur- und Glycolaufnahme)
- 10 Å: Illit (Peakhöhe über Untergrund der Glycolaufnahme)
- 7 Å: Chlorit + Berthierin + Kaolinit entspricht der Gesamthöhe des Peaks über Untergrund. Das Verhältnis Kaolinit/Berthierin ergibt sich durch die Reflexe bei 3.57 bzw. 3.52 Å. Der Anteil des Chlorits bei 7 Å entspricht der doppelten Höhe des Peaks bei 14 Å (Mittelwert der Reflexe 001/002 des Chlorits nach den ASTM-Karten: 0.5). Nach dieser Zuordnung wird der Kaolinitanteil noch entsprechend dem Vorschlag von THOREZ für schlecht kristallisierte Kaolinite (wie sich aus dem Intensitätsverhältnis der Basisreflexe ergibt) mit dem Faktor 0.5 versehen.

Nach Normierung der auf diese Weise erhaltenen Intensitäten auf 100 % ergibt sich der prozentuale Anteil der einzelnen Tonminerale an der Tonmineralgesamtfraktion. Diese Zahlen sind allerdings mit den von THOREZ (S. 2 ff.) geäußerten Vorbehalten zu versehen, müssen also als halbquantitativ betrachtet werden. Insbesondere vermutet THOREZ, daß die Anteile von unregelmäßigen Wechsellagerungsmineralen unterschätzt werden.

d) Verrechnung der Daten

Quantitativ lassen sich Pyrit, Quarz, Feldspat, Gesamtkarbonatanteil und der Anteil an organischem Material erfassen. Die Differenz der Summe dieser Anteile auf 100 % kann dann als Gesamttonmineralanteil betrachtet werden, sofern kein Goethit (z.B.

Eisenoide) vorhanden ist. Wenn dieses der Fall ist, dann werden die durch Dünnschliffauszählung ermittelten karbonatischen und limonitischen Anteile zusammengefaßt und unter Zugrundelegung mittlerer Dichten von Vol.-% in Gew.-% umgerechnet. Die Differenz des auf diese Weise ermittelten Karbonatanteils (in Gew.-%) zu dem aus der CO₂-Bestimmung errechneten entspricht dann dem Tonmineralanteil. Dazu kommt der in den Eisenooiden gebundene Berthierin, der 25 Gew.-% der Eisenoide ausmacht (25 ± 6 Gew.-%, Mittelwert von ca. 70 von GOLESTANEH 1968 gegebenen Werten).

e) Gefügemerkmale

Bei der makroskopischen Beschreibung wurden Verteilung, Größe und Art der Partikel, Schichtung, Bruchverhalten und Ausbildung der Bruchflächen, Farbe sowie Härte berücksichtigt. Die Beschreibung der Gefügemerkmale im Dünnschliff umfaßt - soweit angebracht - die folgenden Punkte:

1.) Beschreibung der Partikel

- Art und Verteilung
- mittlere und maximale Größe sowie Abschätzung der Korngrößenverteilung mit Vergleichstafeln nach FLÜGEL (1978)
- Abschätzung von Rundung und Sphärizität mit Vergleichstafeln nach FLÜGEL (1978)

2.) Beschreibung der Matrix der Partikel

3.) Packungsdichte der Partikel in der Matrix

4.) Ausbildung einer Schichtung

a) Einregelung von Partikeln:

Zur statistischen Auswertung wurde die Einregelung der Längsachsen der Partikel relativ zur Bohrachse eingemessen und in Gefügediagrammen dargestellt.

Da die Schnittlage des Dünnschliffs (bzw. des Bohrkerns) relativ zum Gesteinsverband nicht bekannt ist, sind aus dem Gefügediagramm keine absoluten Werte des Einfallens der (Schräg-) Schichtung des Gesteins relativ zur Bohrachse zu entnehmen, sondern dieses vermittelt nur das Ausmaß der Einregelung der Partikel (nicht eingeregelt bis sehr gut eingeregelt).

- b) Wenn die Minerale der Matrix eine Einregelung zeigen, ist dieses vermerkt. So sind teilweise die Tonminerale der Matrix, wie an der einheitlichen Auslöschung bei gekreuzten Polarisatoren zu erkennen ist, parallel eingeregelt, dagegen ist bei einer aus sparitischem Zement bestehenden Matrix natürlich keine Einregelung zu beobachten.

3.3 Auftretende Minerale

a) Quarz

Quarz ist in fast allen Proben enthalten, allerdings beträgt sein Anteil meist weniger als 10 %. Er kann im Röntgendiffraktogramm leicht und eindeutig mit Hilfe der Reflexe bei 4.26 und 3.343 Å identifiziert werden. Im Dünnschliff tritt er in bis zu 1 mm großen meist schlecht gerundeten Körnern auf. Seine Auslöschung ist bei gekreuzten Nicols häufig undulös, als Einschlüsse sind Rutil, Flüssigkeitströpfchen, Hellglimmer und Limonit zu beobachten. Durch diese Minerale und die klastischen Kornumrisse wird die terrigene Abkunft deutlich.

Die quantitative Bestimmung des Quarzgehaltes erfolgte durch Auszählen im Dünnschliff oder, wenn feinkörnige Ton-, Mergelsteine vorlagen, röntgenographisch durch Additionsmethode. Hierzu werden geeignete Mengen Quarz zur Probe zugemischt und die gemessenen Peakintensitäten des Reflexes bei 3.343 Å gegen die zugemischte Quarzmenge graphisch aufgetragen. Die Extrapolation auf die Intensität Null ergibt dann den gesuchten Quarzgehalt.

b) Feldspat

Dieses Mineral, das ebenfalls stets klastische Umrise zeigt, tritt nur sporadisch und dann in untergeordneter Menge auf. Sowohl Kalifeldspat als auch Plagioklas sind zu beobachten. Im Dünnschliff sind diese Minerale an ihren Verwilligungen, Entmischungen, Spaltrissen und Umwandlungen zu erkennen. Röntgenographisch tritt, wenn in ausreichender Menge vorhanden, der Hauptreflex bei 3.2 bis 3.3 Å auf. Die quantitative Bestimmung erfolgte durch Auszählung des Dünnschliffs.

c) Goethit

Dieses Mineral ist in den Eisenooïden sowie in unregelmäßigen Körnern - z.T. Lithoklasten, z.T. Anreicherungen entlang von Karbonatlösungsbahnen - vorhanden. Aufgrund wechselnden Wassergehaltes ist zumindest teilweise die allgemeine Bezeichnung "Brauneisen" oder "Limonit" gerechtfertigt (GOLESTANEH & URBAN 1973).

Die quantitative Bestimmung des Goethitanteils ergibt sich aus der Dünnschliffauszählung, die hieraus erhaltenen Vol.-% werden unter Zugrundelegung mittlerer Dichten in Gew.-% umgerechnet und die Eisenooïde werden auf den in ihnen enthaltenen Berthierin korrigiert.

d) Pyrit

Dieses Mineral tritt in staubartiger Form (vererzte Bakterien) oder fröhdiaogenetisch umkristallisiert in Form 5 - 20 μ großer Wörfel in fast allen Proben auf. Häufig sind Fossilreste von Pyrit pigmentiert oder umkrustet. Die quantitative Bestimmung erfolgt durch Umrechnung des Schwefelanteils oder aus dem Dünnschliff.

e) Karbonatminerale

Röntgenographisch können in wechselnden Mengenverhältnissen Calcit, Dolomit und Siderit nachgewiesen werden. Von wenigen Ausnahmen abgesehen ist der Calcit dominant. Die Mengenverhältnisse wurden entsprechend den Intensitätsverhältnissen der (211)-Reflexe ermittelt (ROYSE et al. 1971).

Dolomit tritt in Form von meist idiomorphen Rhomboedern mit einer mittleren Größe von 15 μ auf. Besonders ist er in den Kalk-, Mergelsteinen des unteren Kimmeridge vorhanden.

Seine Entstehung ist diagenetisch, d.h. nach der Sedimentation. Auch der Siderit tritt meist in Form von idiomorphen Kristallen, allerdings überwiegend in limonitisch-chloritischer Matrix auf. Daher ist auch für ihn eine diagenetische Entstehung anzunehmen. Calcit ist sowohl in den primär sedimentierten Komponenten (Kalkschalendetritus, Ooide, Mikrit) zu finden als auch durch diagenetische Prozesse entstanden. Zum letzteren gehören insbesondere der sparitische Zement, aber auch Umkristallisation der primären Komponenten treten auf.

Bei den primären karbonatischen Komponenten sind die folgenden Typen in den vorliegenden Gesteinen zu beobachten (Nomenklatur der Komponenten nach FÜCHTBAUER & MÜLLER 1970 und FLÜGEL 1978):

Biogene

Es treten fast ausschließlich Bioklasten, d.h. vor der Sedimentation aufgearbeitete, meist zerbrochene Partikel auf. Am häufigsten sind Zweischaler- und Echinodermendetritus vertreten.

Peloide

In einigen Gesteinen sind rundliche mikritische Partikel ohne Internstruktur zu beobachten. Teilweise ist hierin dunkelfärbendes organisches Material angereichert. Diese als Peloide bezeichneten Partikel sind unterschiedlicher Entstehung: Kotpillen, Algenpeloide, Pseudopeloide (z.T. kleine Intraklasten), Pelletooide (umkristallisierte Ooide).

Ooide

Diese Partikel weisen um einen Kern herum einen regelmäßigen konzentrischen Schalenbau auf. Dabei kann das Verhältnis Kern/Mantel sehr unterschiedlich sein. Die ursprünglich radialen oder tangentialen Anordnungen der Karbonatminerale der Ooide sind meist mikritisiert.

In den bearbeiteten Gesteinen treten Karbonat- und Eisenoide auf.

Onkoide

Bei diesen Partikeln ist ein unregelmäßiger Schalenbau um Kerne herum vorhanden. Teilweise sind die Kerne (z.B. Bioklasten) durch bohrende Organismen zerstört. Zu dieser Gruppe sind insbesondere die limonitisch umkrusteten Biogene des Zwischenmittels zu rechnen (z.B. 3/138/007/3a).

Auch bei den Eisenoiden tritt gelegentlich ein etwas unregelmäßiger Schalenbau auf. Aufgrund ihrer runden Umrisse werden diese jedoch zu den Ooiden gezählt.

Rindenkörner

Hierbei handelt es sich um dünne Mikritrinden und Biogene, die im Durchlicht schwarz erscheinen, aber ein hohes Reflexionsvermögen im Auflicht aufweisen. Sie treten in der Probe 3/138/003/0 auf.

Lithoklasten

- Intraklasten

Synsedimentäre Resedimente, teilweise mit Einschlüssen anderer Komponenten. Diese Partikel sind schlecht gerundet und schlecht korngößensortiert.

- Extraklasten

Postsedimentäre Resedimente, die sich meist deutlich von dem Hauptgesteinstyp unterscheiden.

Matrix

Hierbei handelt es sich, wie oben erwähnt, um diagenetisch entstandenen sparitischen (d.h. Kristallgröße mehr als 20 μ) Zement oder um ein Gemisch aus Tonmineralen und mikrokristallinem Calcit (= Mikrit, Kristallgröße in der Regel kleiner als 10 μ).

f) Tonminerale

Die Tonminerale werden durch Röntgenaufnahmen von Sedimentations-Texturpräparaten bestimmt. Hierzu werden die Karbonatminerale der Gesteine entfernt und von den verbleibenden Rückständen mit Atterbergzylindern die Fraktionen kleiner 2μ abgezogen. Durch Zentrifugieren wird eine tonmineralreiche Suspension hergestellt und diese mit einer Pipette auf einen Glas-träger (Deckglas, 0.1 mm stark) aufgebracht, wo sie an der Luft getrocknet wird. Dieses Präparat wird mit Fett auf den vorhandenen Plexiglas-Präparathaltern befestigt. Bei Bedarf werden Bedampfungen mit Glycol sowie Hitzebehandlungen ($400\text{ }^{\circ}\text{C}$, $550\text{ }^{\circ}\text{C}$) durchgeführt. Die Benennung erfolgt nach den Vorschlägen der Association Internationale Pour l'Etude des Argiles (AIPEA, BAILEY 1980, 1982). Es wurden die folgenden Tonmineralspezies in der bearbeiteten Gesteinsserie festgestellt:

Berthierin

Dieses eisenreiche 1:1 Schichtsilikat wird in der älteren Literatur als Septochlorit oder 7 Å-Chamasit benannt (z.B. GOLESTANEH 1968, GOLESTANEH & URBAN 1973). Es ist im Röntgendiffraktogramm durch seine Basisreflexe bei 7.04 und 3.52 Å gekennzeichnet. Die Unterscheidung von gleichzeitig vorhandenem Kaolinit ist bei 7 Å nur bei sehr günstigen Mischungsverhältnissen, bei 3.5 Å jedoch fast immer möglich. Gleichzeitig auftretender 14 Å-Chlorit, der ebenfalls zu den Reflexen bei 3.5 und 7 Å beiträgt, ist durch den (001)- Reflex bei 14 Å eindeutig gekennzeichnet. Das mittlere 001/002-Verhältnis der Chlorite beträgt nach den in der ASTM-Kartei gegebenen Daten 0.5, so daß also die doppelte Intensität des Reflexes bei 14 Å zu dem bei 7 Å beisteuert, ein u.U. verbleibender Rest kann dem Berthierin zugeordnet werden.

Auf Glycolbehandlung zeigt Berthierin keine Verschiebung der Reflexe, beim Heizen auf 400 und $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ ist teilweise eine Intensitätsabnahme zu beobachten.

Der Berthierin tritt im Eisenerz des unteren und oberen Lagers sowie im Zwischenmittel auf, fehlt jedoch weitgehend in den Gesteinen im Liegenden und Hangenden. Er kommt zusammen mit Goethit in den Eisenoolithen vor, in dichtgepackten und spärlich zementierten Eisenoolithen ist er zuweilen das einzige Tonmineral (z.B. 3/138/010/5a).

Chlorit

Dieses Mineral ist im Röntgendiffraktogramm leicht anhand seines Basisreflexes bei 14 Å zu erkennen.

Bei Glycolbehandlung ist keine Verschiebung zu bemerken, bei Erhitzung ist neben einer Änderung der Intensitätsverhältnisse der Basisreflexe auch teilweise eine Schwächung der Intensitäten zu beobachten, wie es für sedimentäre Chlorite typisch ist (JOHNS et al. 1954).

Chlorit tritt in fast allen untersuchten Gesteinen in Gehalten bis zu 10 Gew.-% auf. Die Anteile von Berthierin und Chlorit im Gesteinsprofil gibt die Tabelle 3.2 wieder (Gew.-%)

	Berthierin	Chlorit	
3/137/001		6	} Hangendes des Erzlagers
2		3	
3		3	
3/138/001		5	} oberes und unteres Lager, Zwischenmittel
2		4	
3	3	3	
4	20		
5	9	3	
6	10	7	
7	6	9	
8	10	1	
9	8	6	
10	17		
11	12	8	
3/139/001	20	2	} Liegendes des Erzlagers
2	25	3	
3			
4		6	
5		3	
6	7	1	
7		6	
8		9	
9		10	

Tab. 3.2: Anteil⁺⁾ von Berthierin und Chlorit in den untersuchten Proben

^{+) die Angaben sind rechnerische Mittelwerte und als halbquantitativ zu betrachten}

Kaolinit

Dieser kann im Röntgendiffraktogramm von Texturpräparaten anhand seiner Basisreflexe bei 7.15 und 3.57 Å identifiziert werden. Die häufig gleichzeitig auftretenden Minerale Chlorit und Berthierin zeigen einen deutlich abtrennbaren Reflex bei ca. 3.53 Å. Beim Aufheizen auf 550°C zerfällt der Kaolinit, dagegen ist beim Bedampfen mit Glycol keine Veränderung des Röntgendiffraktogramms zu beobachten.

Illit, Wechsellagerungsmineral Illit/Smectit

Der Illit ist im Röntgendiffraktogramm anhand seines Basisreflexes (002) bei 10 Å zu erkennen. Auch der allerdings schwache Reflex bei 5 Å tritt auf, der (006)-Reflex bei 3.3 Å dagegen wird teilweise von ebenfalls vorhandenem Quarz überlagert. Auch der Reflex bei 10 Å wird häufig von dem breiten Basisreflex des unregelmäßigen Wechsellagerungsminerals Illit/Smectit, der zwischen 12 und 10 Å auftritt, überlagert. Nach Bedampfung mit Glycol verschiebt sich der Reflex des Wechsellagerungsminerals allerdings ohne ein definiertes Maximum auszubilden nach höheren d-Werten, so daß nun der Illit bei 10 Å ohne Überlagerungen zu erkennen ist. Seine Kristallinität ist mäßig bis gut. Auf quantitative Messungen (z.B. nach WEBER 1972) wurde verzichtet, da das unregelmäßige Wechsellagerungsmineral Illit/Smectit fast immer für eine Ausschmierung des 10 Å-Reflexes des Illits nach höheren d-Werten hin verantwortlich ist. Außerdem sind in den Proben unterschiedliche Verhältnisse zwischen feinkristallinen "authigenen" und gröberen detritischen Hellglimmern vorhanden, die natürlich unterschiedliche Kristallisationsgrade aufweisen.

Der Anteil des Smectits an dem unregelmäßigen Wechsellagerungsmineral Illit/Smectit wird anhand der von MacEWAN et al. (1964) aufgestellten Diagramme abgeschätzt. Die hierzu erforderliche Kenntnis des Basisabstands des Wechsellagerungsminerals wird an der Stelle angenommen, an der die Natur und die Glycolaufnahme die maximale Differenz zeigen.

Bei den im Kleinstwinkelbereich ($1 - 4^\circ 2\theta$ bei Cu-Strahlung) auftretenden Reflexen handelt es sich um Überstrukturreflexe des unregelmäßigen Wechsellagerungsminerals (LIPPMANN & ZIMMERMANN 1983).

g) Organisches Material

Neben den braunen Konkretionen ("Asphaltit") tritt organisches Material in feinverteilter staubförmiger (kleiner 2μ) Ausbildung auf und färbt die von ihm durchstäubten Bereiche dunkel. Besonders die rundlichen Pelloide zeigen diese Dunkelfärbung (Kotpillen). Quantitativ wird dieses organische Material mit durch den C-Gehalt erfaßt.

h) Braune Konkretionen

Diese in vielen Proben auftretenden Partikel haben eine gelbe bis braune Farbe und zeigen im Dünnschliff längliche, teilweise zerfaserte Umrisse. Makroskopisch ist ihre blättchenförmige Gestalt erkennbar.

Da die C-Bestimmung der an diesen braunen Konkretionen sehr reichen Probe 3/139/004/PP2a sehr hohe Werte ergibt, kann davon ausgegangen werden, daß es sich um organisches Material handelt. Die Lichtbrechung beträgt $n = 1.50$, die Doppelbrechung bei gekreuzten Polarisatoren ist Null oder sehr niedrig. Da auch im Röntgendiffraktogramm keine diesem Material zuzusprechenden Reflexe auftreten, kann angenommen werden, daß keine geordnete Kristallstruktur vorliegt bzw. in den doppelbrechenden Bereichen der Kristallisationsgrad sehr gering ist. Dieses überwiegend amorphe Material kann vorläufig als Asphaltit angesprochen werden.

i) Coelestin, Zinkblende

Diese beiden Minerale wurden nur in einer der bearbeiteten Gesteinsproben beobachtet: auf einem Harnisch der Probe 5/96/009/PP1b sind idiomorphe Coelestin-Kristalle und schwarze, überwiegend xenomorphe Zinkblende zu beobachten. Die Ansprache der beiden Minerale erfolgte röntgenographisch.

3.4 Petrographische Beschreibungen der stratigraphischen Einheiten

Aus folgenden stratigraphischen Einheiten wurden jeweils drei bis sechs Proben bearbeitet:

- Unteres Kimmeridge
- Oberer Korallenoolith
- Oberes Lager (mittlerer Korallenoolith)
- Zwischenmittel (mittlerer Korallenoolith)
- Unteres Lager (mittlerer Korallenoolith)
- Erzkalk-Serie (unterer Korallenoolith)
- Fladentonstein-Serie (unterer Korallenoolith)
- Trümmerkalk-Serie (unterer Korallenoolith)
- Callovium

3.4.1 Unteres Kimmeridge

Das untere Kimmeridge wurde mit den Bohrungen 3/137, 3/138 und 5/96 erreicht. Insgesamt sind sechs Einzelproben mineralogisch bearbeitet worden (Einzelergebnisse siehe Tab. 3.3):

3/137/001/0
3/137/002/0
3/137/003/0
3/138/001/5a
3/138/002/3a
5/96/011/FM8a

Alle diese Proben sind "Knollenkalke", d.h. sie bestehen aus hellgrauen zentimetergroßen karbonatreicheren Knollen in einer dunkleren tonmineralreicheren Matrix. Sowohl diese als auch die "Knollen" bestehen aus Mikritkalk mit darin eingebetteten Partikeln.

Die aus Calcit, z.T. auch mit Dolomit und Tonmineralen bestehende mikritische Matrix der Partikel hat einen Anteil von 53 bis 89 % am Gestein, im Mittel sind es ca. 75 %.

Die durchschnittlich verbleibenden 25 % werden von in der Matrix locker eingebetteten Partikeln eingenommen: In verschiedenen Mengenverhältnissen sind Biogene (Kalkschalendetritus), klastische Quarzkörner, Pyrit und aus organischem Material bestehende braune Konkretionen ("Asphalt") zu beobachten. Nur in der Probe 5/96/011/FM8a treten auch Kalkooide und Gerölle auf. Charakteristisch für alle Proben ist, daß der Kalkschalendetritus zu meist aus grobspätigem Calcit besteht, also nicht mehr die ursprüngliche Schalenstruktur zeigt. Die schlecht korngrößen sortierten Partikel sind maximal wenige Millimeter groß.

Zumeist sind die Partikel homogen in der Matrix verteilt, eine Einregelung ihrer Längsachsen ist schlecht ausgebildet oder nicht vorhanden. Dieses gilt nicht für die Grenzbereiche zwischen den "Knollen" und ihrer dunkleren Matrix. Hier sind Pyrit, Quarz und braune Konkretionen angereichert und teilweise straff eingeregelt.

In den Proben aus den Bohrungen 3/137 und 3/138 ist vom Hangenden zum Liegenden eine Zunahme der Biogene zu beobachten.

Bei den röntgenographisch ermittelten Tonmineralen überwiegen Illit und ein unregelmäßiges Wechsellagerungsmineral Illit/Smectit, in geringeren Mengen können Chlorit, Smectit und Kaolinit auftreten. Berthierin ist hier nicht zu beobachten. Insgesamt beträgt der durchschnittliche Tonmineralanteil 25 %, den verbleibenden Rest machen die Karbonatminerale Calcit und Dolomit aus. Quarz und andere Minerale treten nur untergeordnet auf.

Die Proben 3/138/002/3a und 5/96/011/FM8a sind tonige Kalke, die anderen stark karbonatische Mergelsteine.

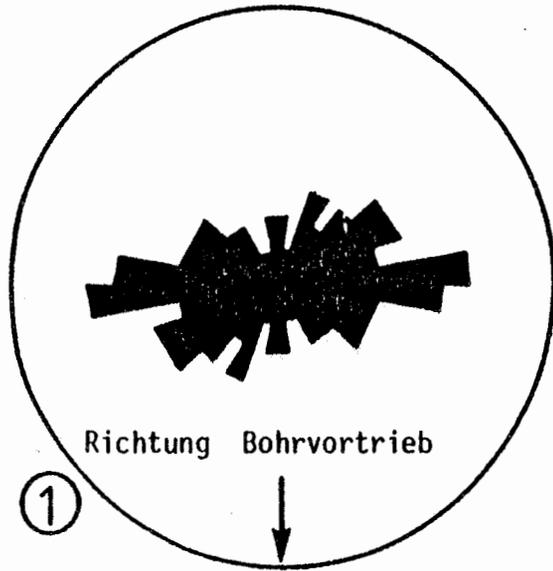
	3/137		3/138		5/96	
	001/0	002/0	003/0	001/5a	002/3a	011/FM8a
Modalbestand (Vol.-%)						
Matrix: Mikrit	89	80	80	58	65	53
Sparit	+	+	-	2	5	-
Limonit	-	-	-	-	-	-
Partikel: Kalkooide	-	-	-	-	-	10
Brauneisenoide	-	-	-	-	-	-
Lithoklasten	-	-	-	-	-	18
Biogene	3	7	8	30	20	12
Quarz	5	3	4	3	3	2
Feldspat	+	-	+	-	-	-
opakes Material	3	5	5	5	4	4
braune Konkretionen	-	5	3	-	3	1
Einregelung der Partikel	mäßig	gut	gut	keine	keine	keine
Korngrößensortierung der Partikel						
	gut	schlecht	mäßig	mäßig	schlecht	mäßig
Mineralbestand (Gew.-%) +)						
Calcit	54	58	43	62	71	74
Dolomit	11	+	24	-	-	-
Siderit	-	-	-	-	-	-
Quarz	5	3	4	3	3	6
Feldspat	+	-	+	-	-	-
Pyrit	1	2	3	3	2	5
organisches Material	1	3	1	2	1	1
Chlorit	6	3	3	5	4	2
Berthierin	-	-	-	-	-	-
Illit	17	13	13	9	10	3
Wechsellagerung						
Illit/Smectit	5	16	3	8	6	-
Smectit	-	-	-	-	-	4
Kaolinit	-	2	6	7	3	4
Goethit	-	-	-	-	-	-
Chemische Analyse (Gew.-%)						
CO ₂	28.4	25.0	29.5	27.1	31.8	32.5
C	0.7	2.2	0.7	1.7	0.9	0.7
S	0.49	1.20	1.74	1.4	0.9	2.56

Tab. 3.3: Mineralogische Untersuchungsergebnisse^{+) der Proben aus dem unteren Kimmeridge}

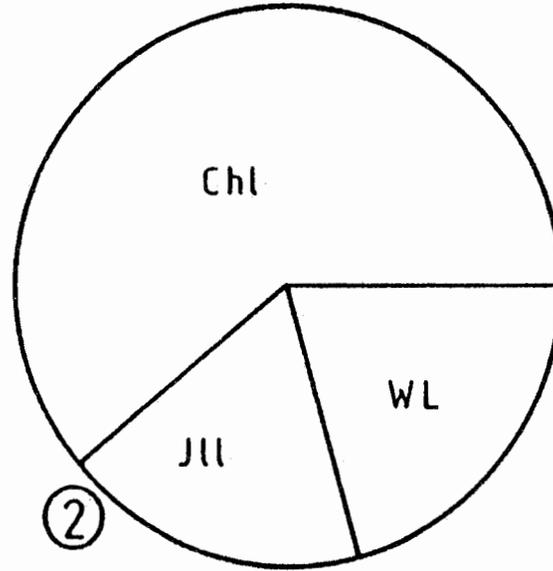
+) die Daten (Mittelwerte) sind über Standards rechnerisch ermittelt, daher nur als halbquantitativ zu betrachten

Die Ergebnisse der Untersuchungen an den Einzelproben sind in nachfolgenden Abbildungen 3.1 bis 3.6, die aus den Einzelergebnissen berechnete durchschnittliche Zusammensetzung in Abbildung 3.7 graphisch dargestellt. Die auf 100 % normierten drei Hauptkomponenten des Mineralbestandes der Einzelproben sind in Abbildung 3.8 im Dreieck Ton, Karbonat und Sand dargestellt.

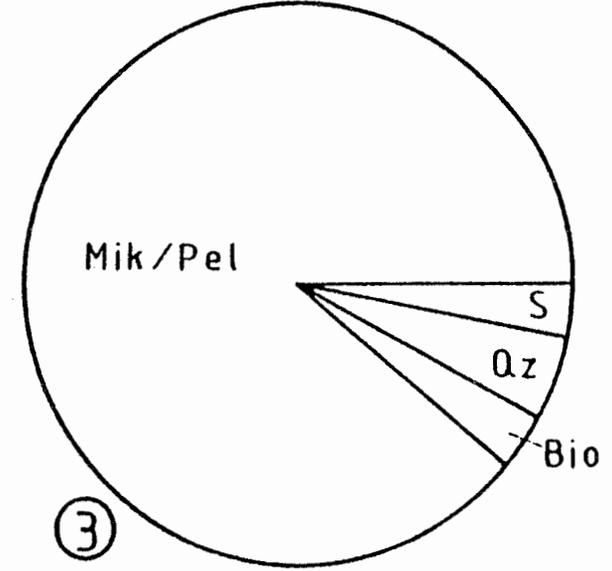
50 Meßwerte



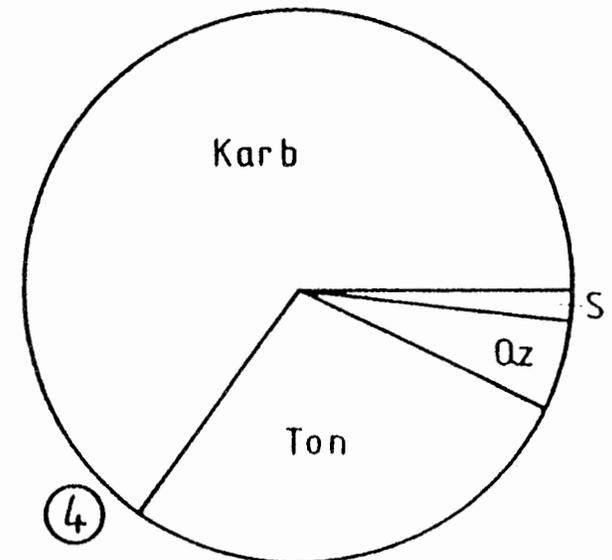
29% Tonminerale



Modalbestand



Mineralbestand



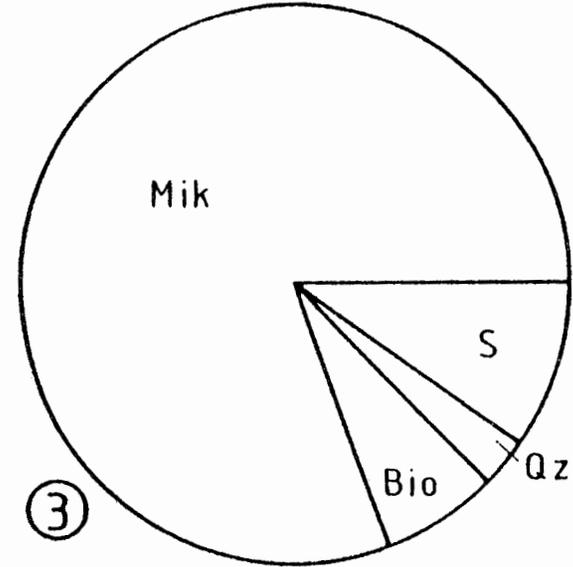
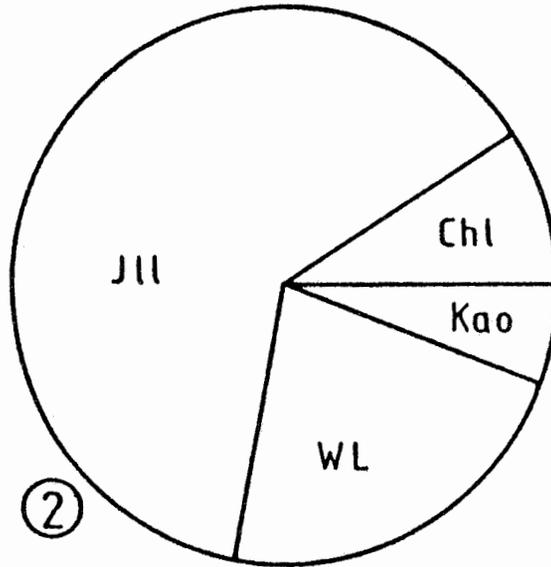
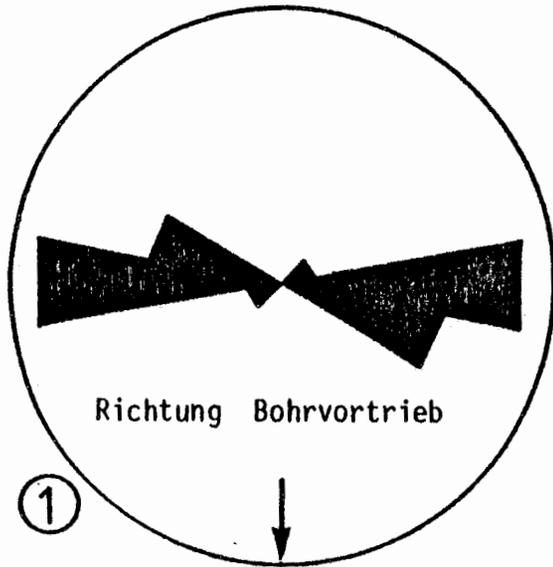
- ① Einregelung der Längsachsen von Muschelschill
- ② Tonmineralanteile am Tonanteil
- ③ Anteil der Einzelkomponenten
- ④ Quantitativer Mineralbestand

Abb. 3.1: Untersuchungsergebnisse für die Probe 3/137/001/0 (Unteres Kimmeridge)

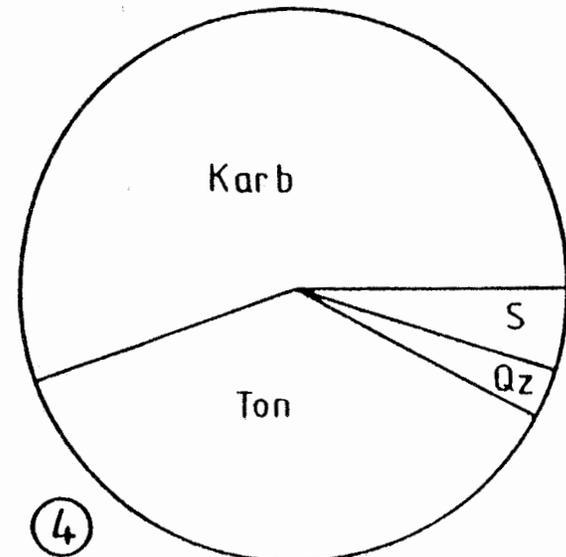
29 Meßwerte

34% Tonminerale

Modalbestand



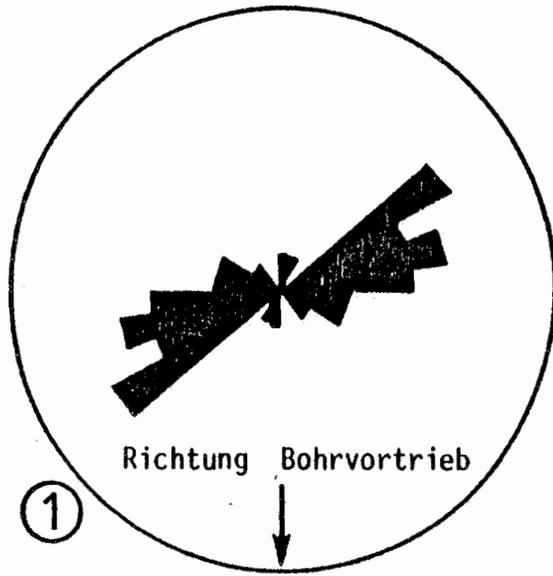
Mineralbestand



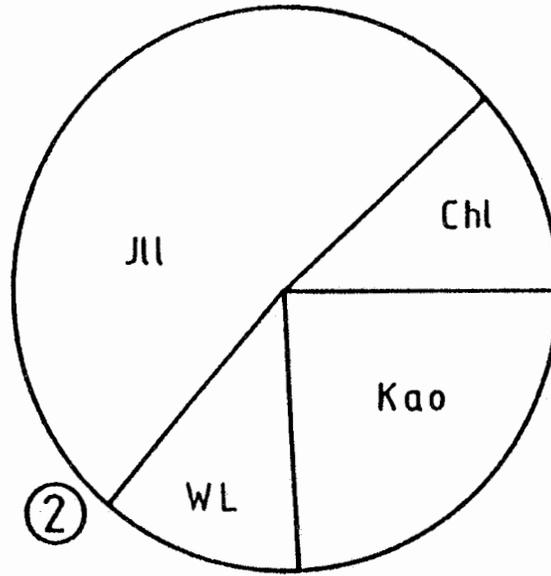
- ① Einregelung der Längsachsen von Bioklasten und braunen Konkretionen
- ② Tonmineralanteile am Tonanteil
- ③ Anteil der Einzelkomponenten
- ④ Quantitativer Mineralbestand

Abb. 3.2: Untersuchungsergebnisse für die Probe 3/137/002/0 (Unteres Kimmeridge)

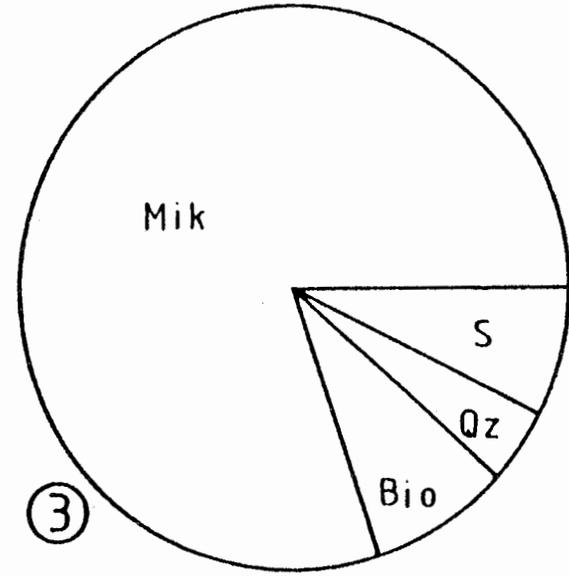
29 Meßwerte



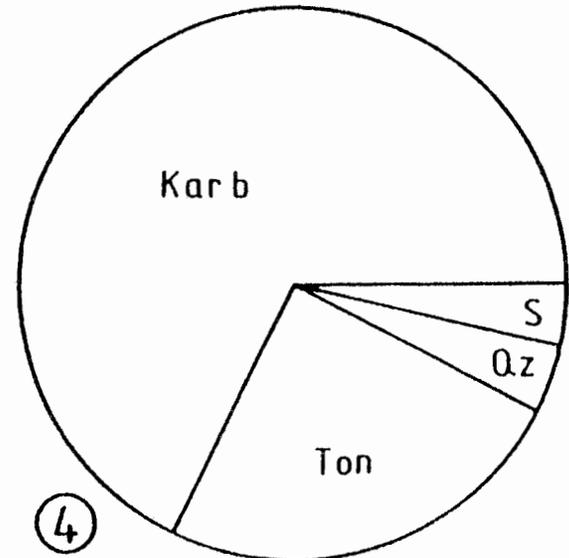
25% Tonminerale



Modalbestand



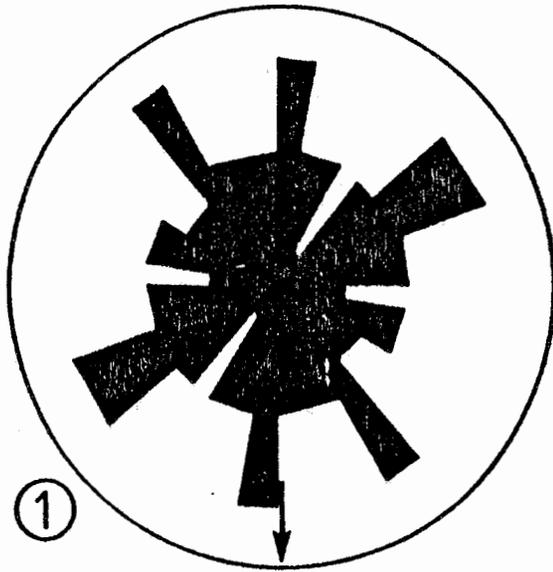
Mineralbestand



- ① Einregelung der Längsachsen der Zweischaalenreste
- ② Tonmineralanteile am Tonanteil
- ③ Anteil der Einzelkomponenten
- ④ Quantitativer Mineralbestand

Abb. 3.3: Untersuchungsergebnisse für die Probe 3/137/003/0 (Unteres Kimmeridge)

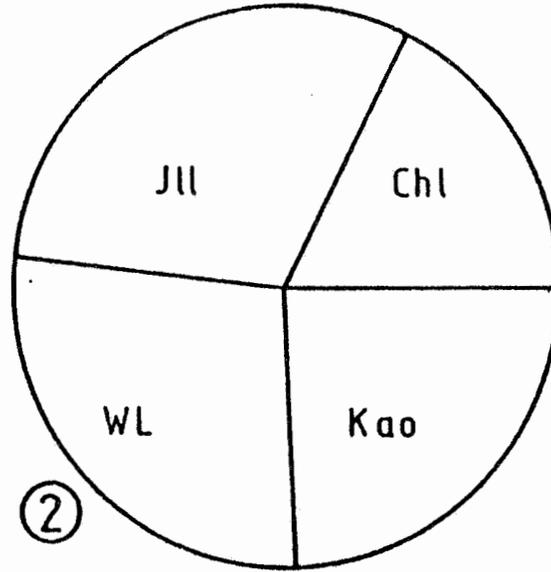
87 Meßwerte



①

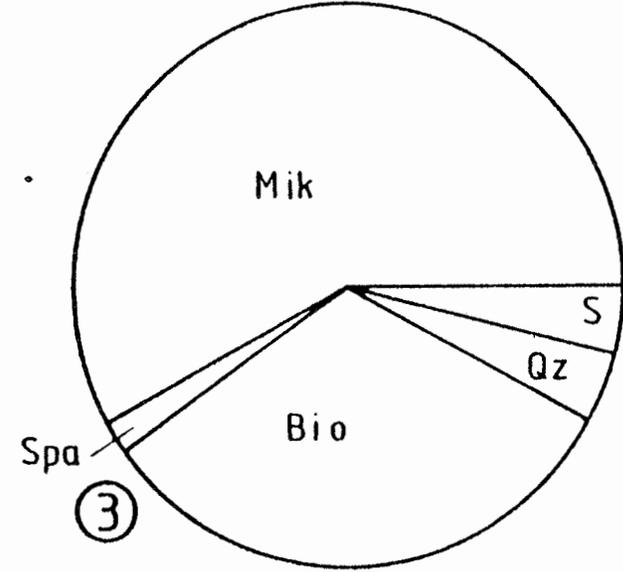
Richtung Bohrvortrieb

29 % Tonminerale



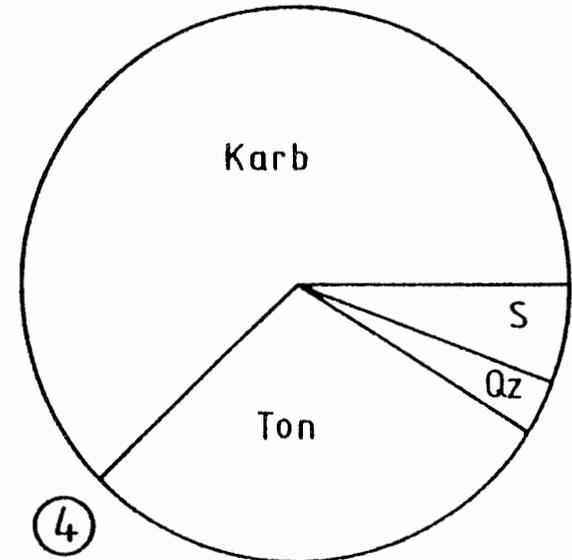
②

Modalbestand



③

Mineralbestand

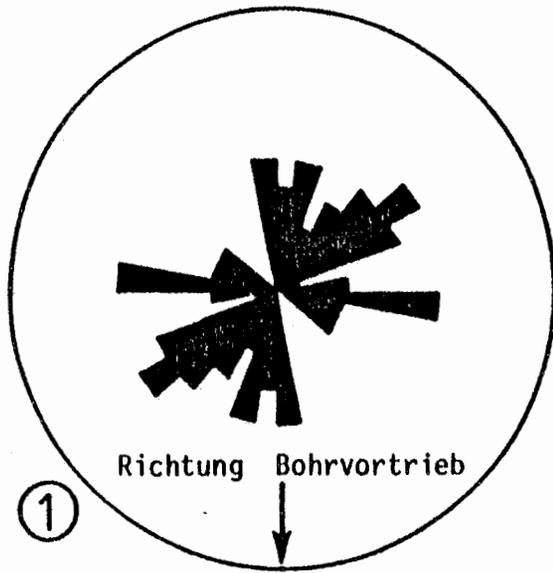


④

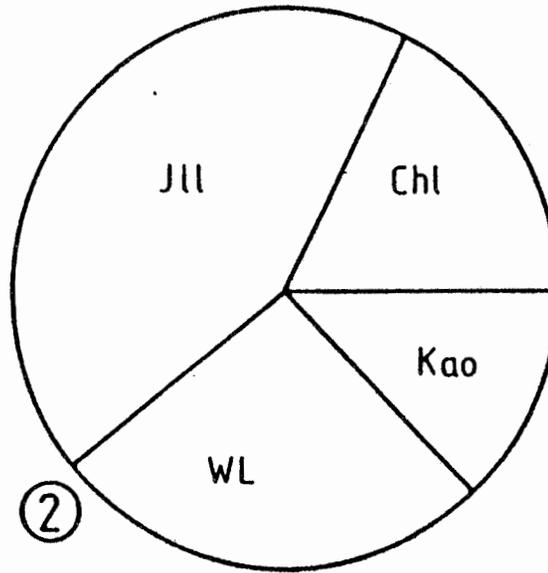
- ① Einregelung der Längsachsen von Fossildetritus
- ② Tonmineralanteile am Tonanteil
- ③ Anteil der Einzelkomponenten
- ④ Quantitativer Mineralbestand

Abb. 3.4: Untersuchungsergebnisse für die Probe 3/138/001/5a (Unteres Kimmeridge)

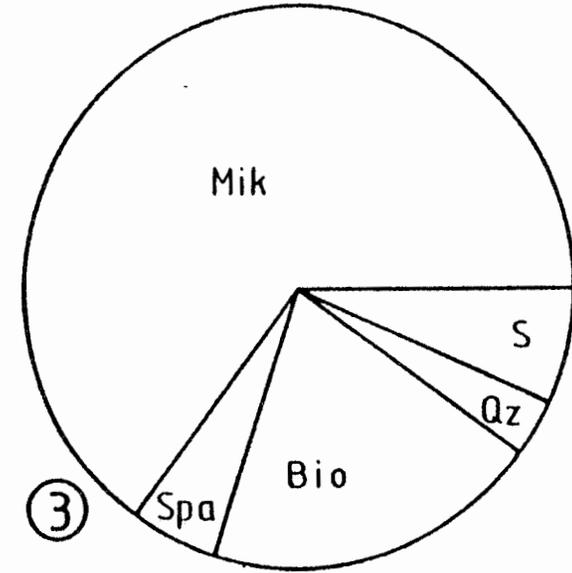
42 Meßwerte



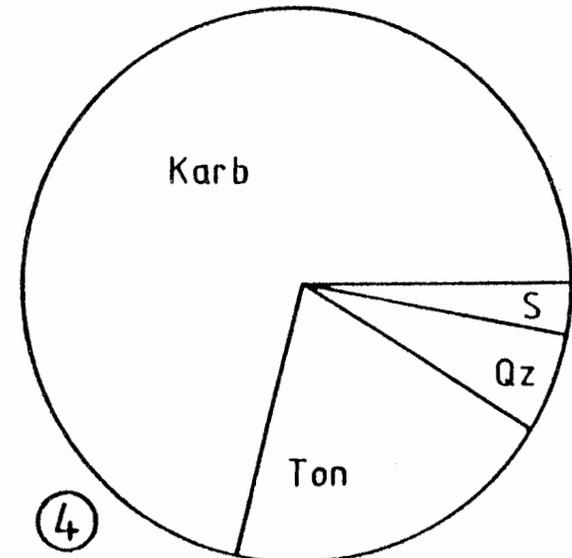
23 % Tonminerale



Modalbestand

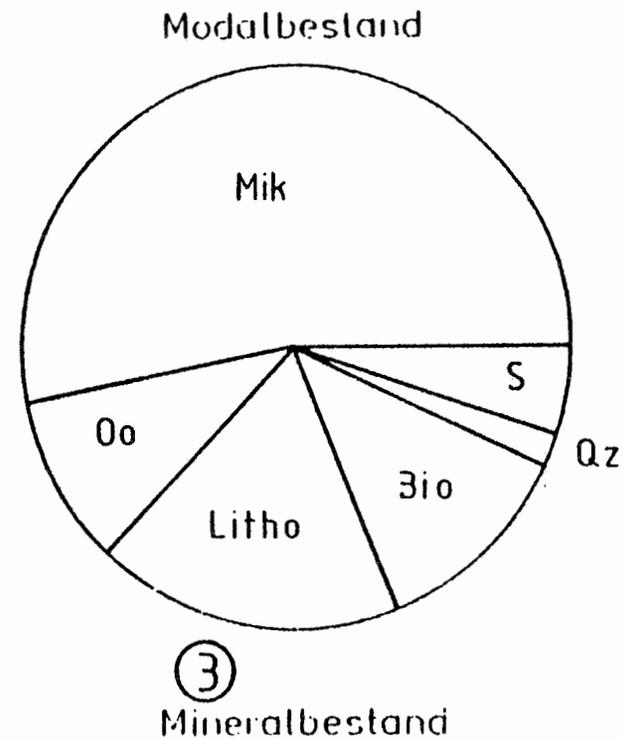
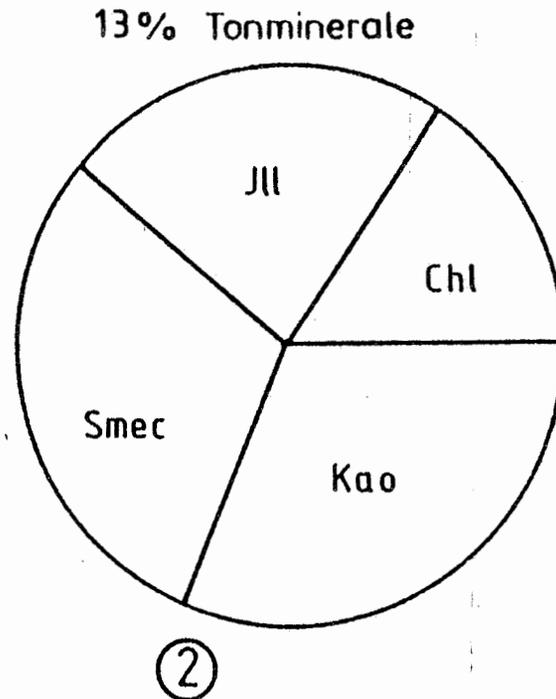
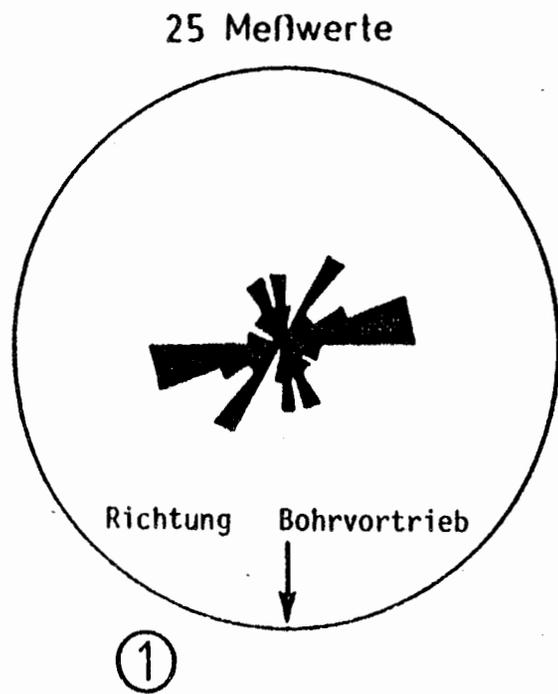


Mineralbestand



- ① Einregelung der Längsachsen von Bioklasten
- ② Tonmineralanteile am Tonanteil
- ③ Anteil der Einzelkomponenten
- ④ Quantitativer Mineralbestand

Abb. 3.5: Untersuchungsergebnisse für die Probe 3/138/002/3a (Unteres Kimmeridge)



- ① Einregelung der Längsachsen von Partikeln
- ② Tonmineralanteile am Tonanteil
- ③ Anteil der Einzelkomponenten
- ④ Quantitativer Mineralbestand

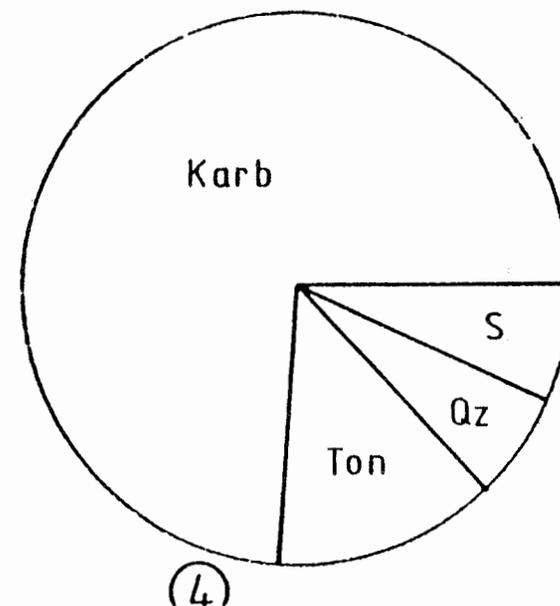


Abb. 3.6: Untersuchungsergebnisse für Probe 5/96/011/FM8a (Unteres Kimmeridge)

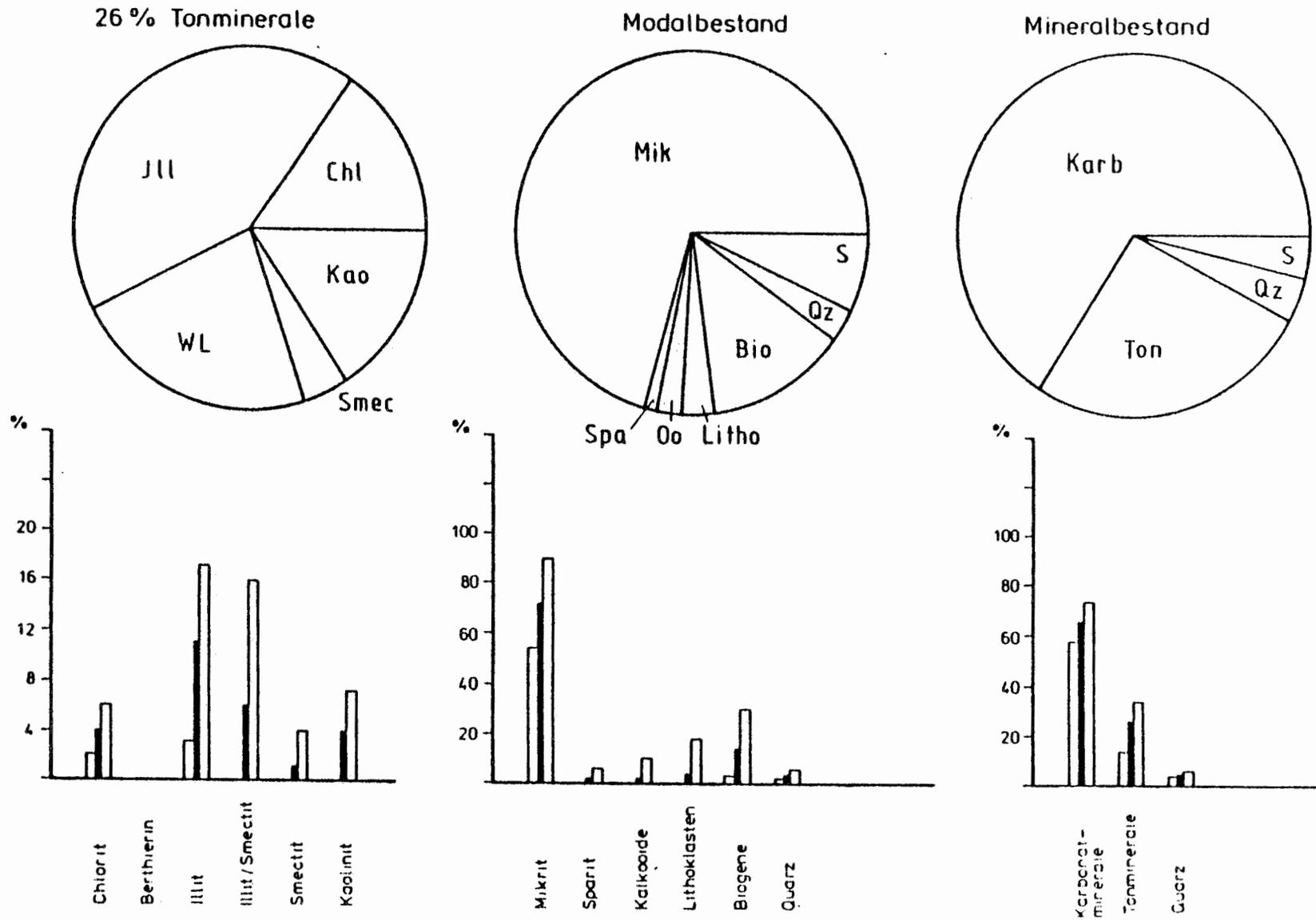


Abb. 3.7: Durchschnittliche Zusammensetzung des Unteren Kimmeridge

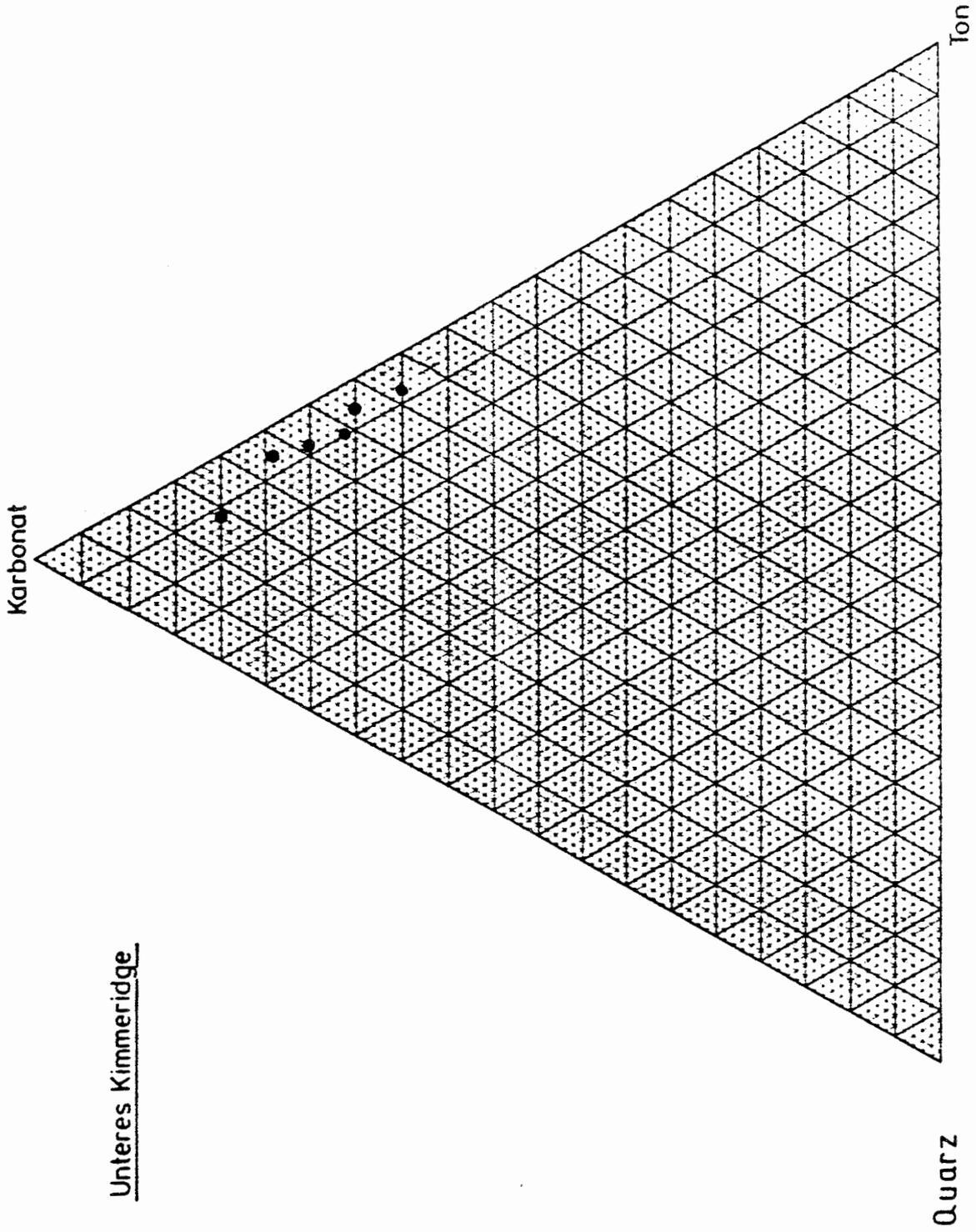


Abb. 3.8: Dreiecksdiagramm Unteres Kimmeridge

3.4.2 Oberer Korallenoolith

In der Bohrung 3/138 ist der obere Korallenoolith nicht erbohrt worden. Hier tritt zwischen dem unteren Kimmeridge und dem mittleren Korallenoolith eine Störung auf. Proben aus dem oberen Korallenoolith liegen daher nur aus der Bohrung 5/96 vor. Es wurden die folgenden Einzelproben mineralogisch untersucht (Einzelergebnisse siehe Tab. 3.4):

5/96/005/PP3a

5/96/006/FM6b

5/96/007/FM4a

5/96/008/PP2a

5/96/009/PPla

5/96/010/PPla

Alle untersuchten Gesteine sind Partikelkalke mit einer mikritischen oder sparitischen Matrix. Der Anteil der Matrix beträgt zwischen 24 und 84 %, im Mittel sind es ca. 50 %.

Bei den Partikeln überwiegen Kalkooide und Biogene (Kalkschalendetritus), z.T. auch Gerölle. In einer Probe (5/96/005/PP3a) treten auch Brauneisenoide auf. Untergeordnet sind Quarz und Feldspatklasten sowie Pyrit zu beobachten.

Die Korngrößen-sortierung der Partikel ist zumeist gut. Der mittlere Durchmesser der Ooide beträgt ca. 0.4 mm, die Bioklasten können einige Millimeter groß sein.

Die Matrix der Partikel besteht entweder überwiegend aus späti-gem Calcit (Proben 5/96/008/PP2a, 5/96/009/PPla und 5/96/010/PPla) oder aus einem mikritischen Gemenge aus Calcit und Tonmineralen (Proben 5/96/005/PP3a, 5/96/006/FM6b und 5/96/007/FM4a). Die Verteilung der Partikel in der Matrix ist homogen, eine Einregelung der Längsachsen der Partikel ist schwach bis deutlich ausgebildet.

Bei der mineralischen Zusammensetzung der Gesteine überwiegt Calcit, teilweise mit etwas Dolomit. Ihr Anteil beträgt im Mittel ca. 75 %. Den Rest machen Tonminerale aus, nur in der auch Brauneisenoide führenden Probe 5/96/005/PP3a treten 11 % Goethit hinzu. Die röntgenographisch bestimmten Tonmineral-spezies sind in wechselnden Mengenverhältnissen Chlorit, Berthierin, Illit, ein unregelmäßiges Wechsellagerungsmineral Illit/Smectit, Smectit und Kaolinit. Andere Minerale außer Karbonat- und Tonmineralen (bzw. Goethit) treten nur untergeordnet auf: in geringen Mengen (kleiner 5 %) sind Quarz- und Feldspat-klasten und Pyrit zu beobachten.

Die Probe 5/96/006/FM6b ist ein stark karbonatischer Mergelstein, 5/96/005/PP3a ein goethitischer stark karbonatischer Mergelstein. Alle anderen Proben können als tonige Kalksteine bezeichnet werden.

5/96

005/PP3a 006/FM6b 007/FM4a 008/PP2a 009/PP1a 010/PP1a

Modalbestand

(Vol.-%)

Matrix: Mikrit	44	40	84	60 ⁺)	4	4
Sparit	4	-	-	11	32	22
Limonit	-	-	-	-	-	-

Partikel:

Kalkooide	5	11	-	18	58	48
Brauneisenoide	7	-	-	-	-	-
Lithoklasten	5	32	-	-	-	19
Biogene	30	17	10	10	5	6
Quarz	2	+	4	1	1	1
Feldspat	-	-	-	-	+	-
opakes Material	3	-	2	-	-	-
braune Konkretionen	-	-	-	-	-	-

Einregelung der

Partikel	gut	gut	keine	gut	schlecht	keine
----------	-----	-----	-------	-----	----------	-------

Korngrößensortie-

rung d. Partikel	schlecht	schlecht	gut	mäßig	sehr gut	sehr gut
------------------	----------	----------	-----	-------	----------	----------

Mineralbestand ^{+))}

(Gew.-%)

Calcit	57	62	81	88	75	87
Dolomit	-	-	-	-	9	-
Siderit	-	+	-	-	-	-
Quarz	2	+	4	1	1	1
Feldspat	-	-	-	-	+	-
Pyrit	3	-	1	1	1	1
organisches Mater.	-	-	1	-	1	-
Chlorit	3	6	4	2	2	1
Berthierin	11	-	-	2	7	4
Illit	7	7	2	1	1	1
Wechsellagerung						
Illit/Smectit	2	11	-	2	1	2
Smectit	-	-	6	-	-	-
Kaolinit	4	14	1	3	2	3
Goethit	11	-	-	-	-	-

Chemische Analyse

(Gew.-%)

CO ₂	25.2	27.3	35.6	38.8	37.0	38.5
C	-	-	0.7	0.3	0.9	0.4
S	1.66	1.04	0.50	0.62	0.63	0.35

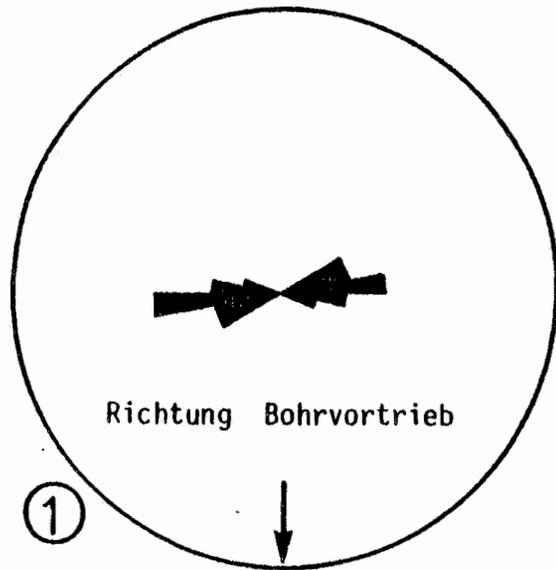
+): hier: Mikrospatit

Tab. 3.4: Mineralogische Untersuchungsergebnisse ^{+))} der Proben aus dem oberen Korallenoolith

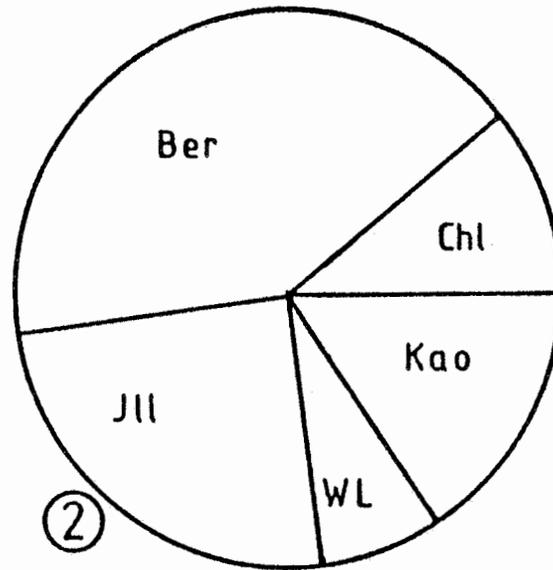
+)) die Daten (Mittelwerte) sind über Standards rechnerisch ermittelt, daher nur als halbquantitativ zu betrachten

Die Ergebnisse der Untersuchungen an den Einzelproben sind in nachfolgenden Abbildungen 3.9 bis 3.14, die aus den Einzelergebnissen berechnete durchschnittliche Zusammensetzung in Abbildung 3.15 graphisch dargestellt. Die auf 100 % normierten drei Hauptkomponenten des Mineralbestandes der Einzelproben sind in Abbildung 3.16 im Dreieck Ton, Karbonat und Sand dargestellt.

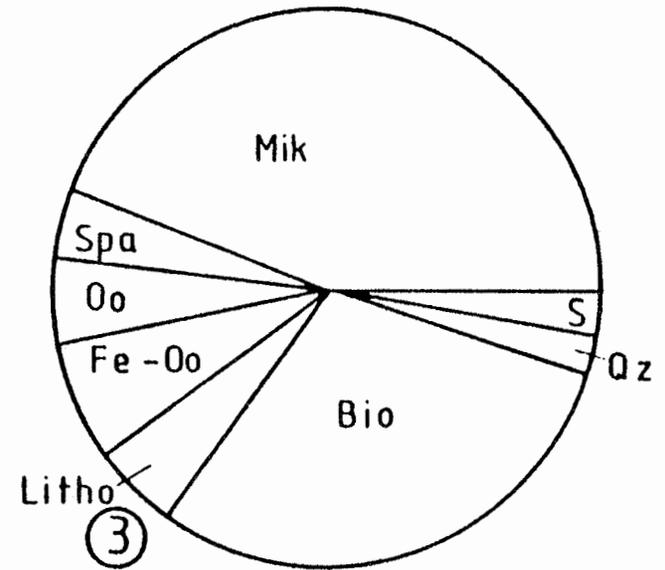
10 Meßwerte



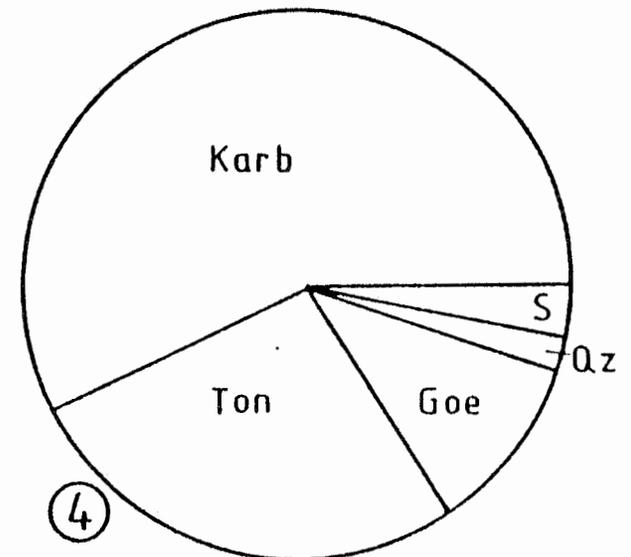
27 % Tonminerale



Modalbestand



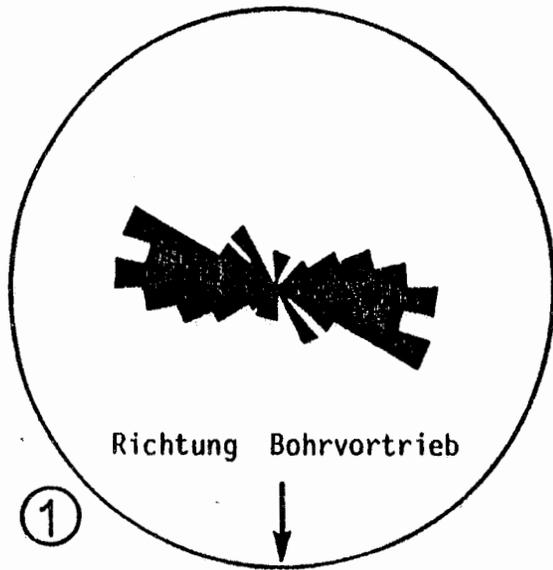
Mineralbestand



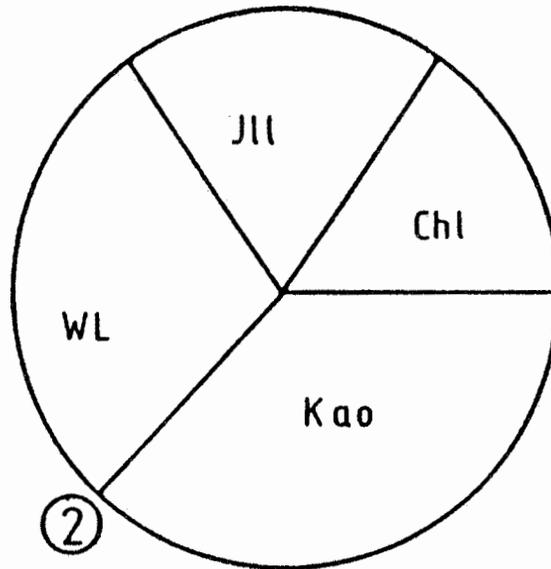
- ① Einregelung der Längsachsen von Partikeln
- ② Tonmineralanteile am Tonanteil
- ③ Anteil der Einzelkomponenten
- ④ Quantitativer Mineralbestand

Abb. 3.9: Untersuchungsergebnisse für die Probe 5/96/005/PP3a (Oberer Korallenoolith)

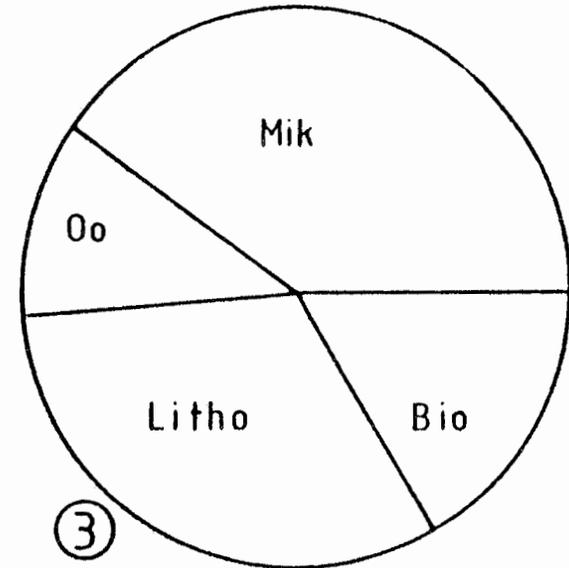
32 Meßwerte



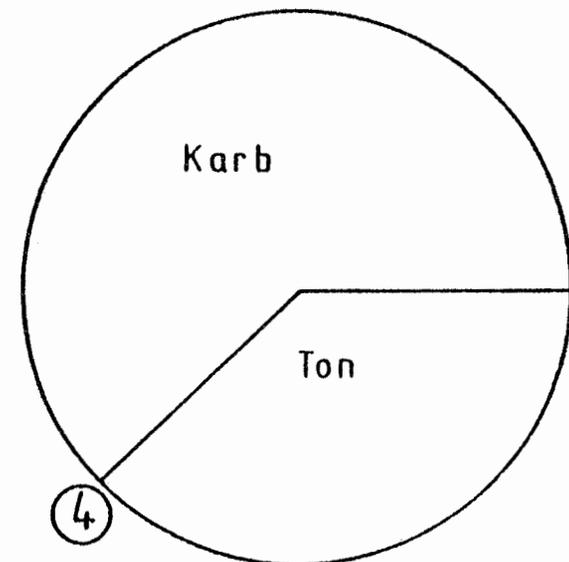
38 % Tonminerale



Modalbestand

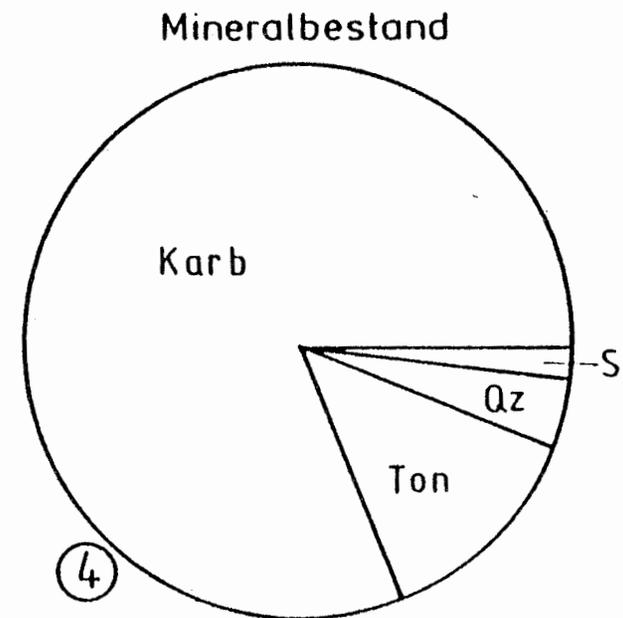
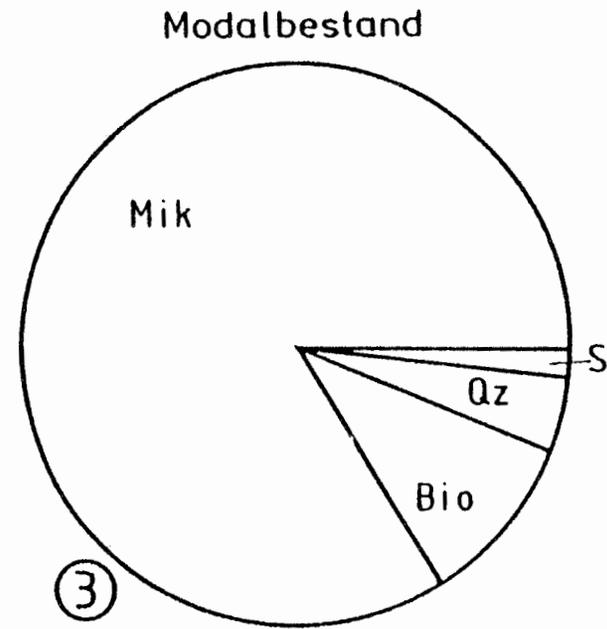
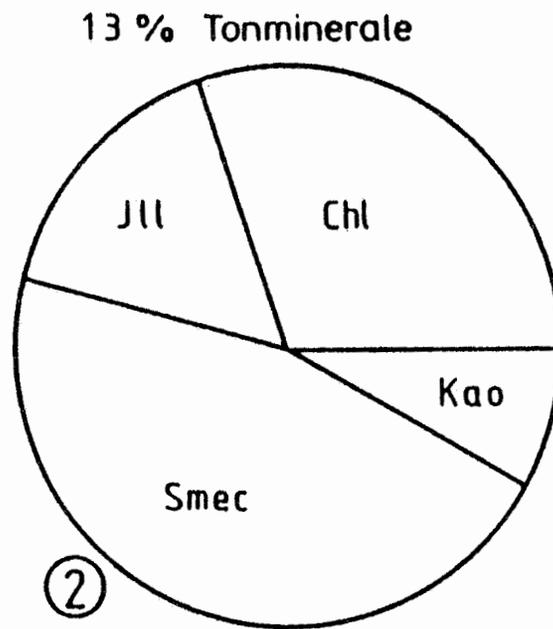
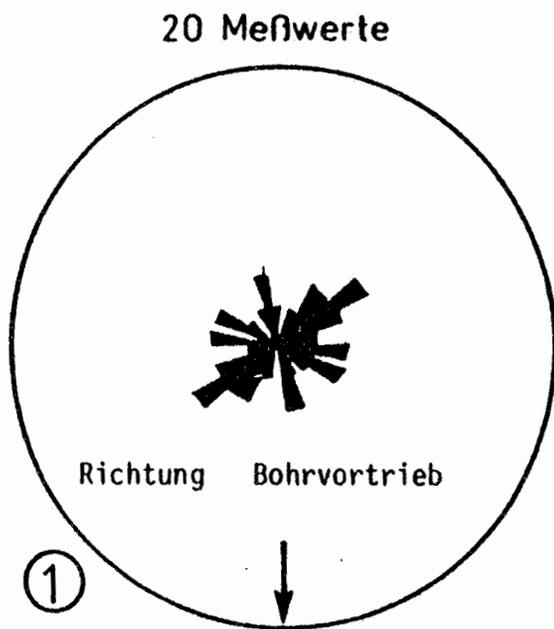


Mineralbestand



- ① Einregelung der Längsachsen von Partikeln
- ② Tonmineralanteile am Tonanteil
- ③ Anteil der Einzelkomponenten
- ④ Quantitativer Mineralbestand

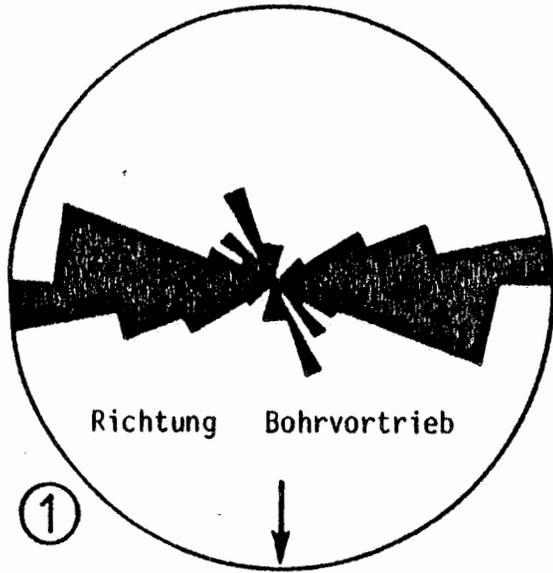
Abb. 3.10: Untersuchungsergebnisse für die Probe 5/96/006/FM6b (Oberer Korallenoolith)



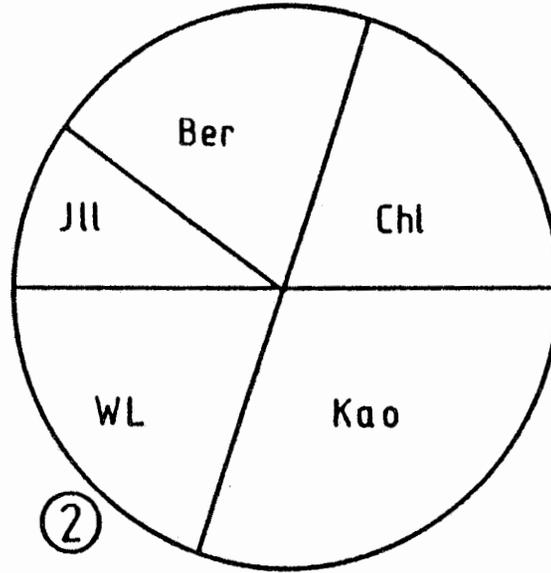
- ① Einregelung der Längsachsen von Partikeln
- ② Tonmineralanteile am Tonanteil
- ③ Anteil der Einzelkomponenten
- ④ Quantitativer Mineralbestand

Abb. 3.11: Untersuchungsergebnisse für die Probe 5/96/007/FM4a (Oberer Korallenoolith)

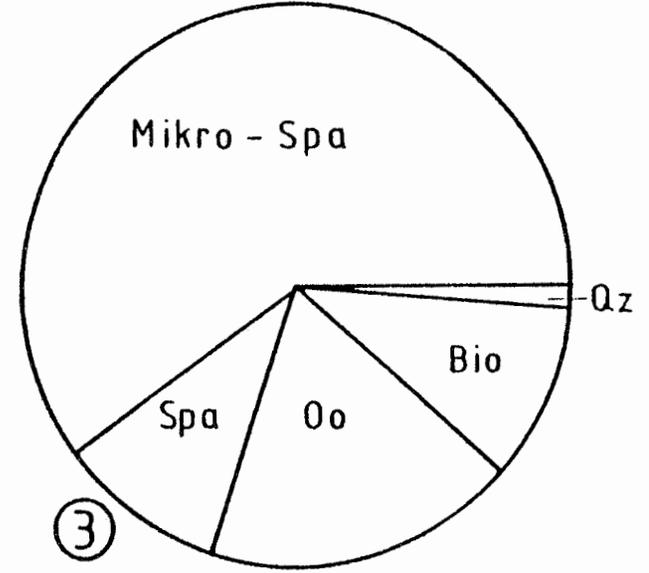
42 Meßwerte



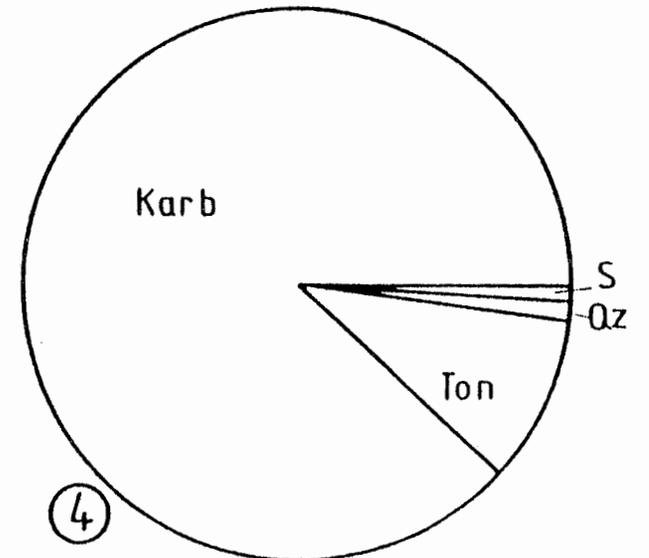
10 % Tonminerale



Modalbestand



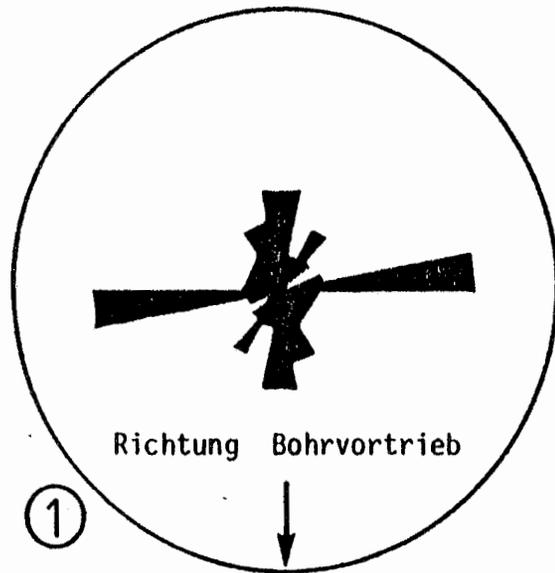
Mineralbestand



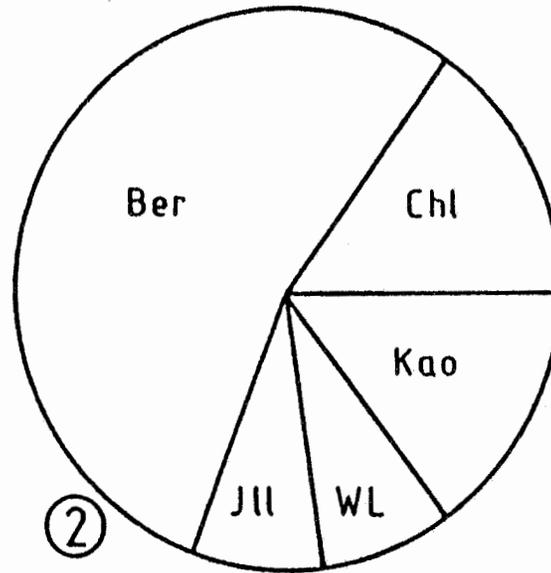
- ① Einregelung der Längsachsen von Partikeln
- ② Tonmineralanteile am Tonanteil
- ③ Anteil der Einzelkomponenten
- ④ Quantitativer Mineralbestand

Abb. 3.12: Untersuchungsergebnisse für die Probe 5/96/008/PP2a (Oberer Korallenoolith)

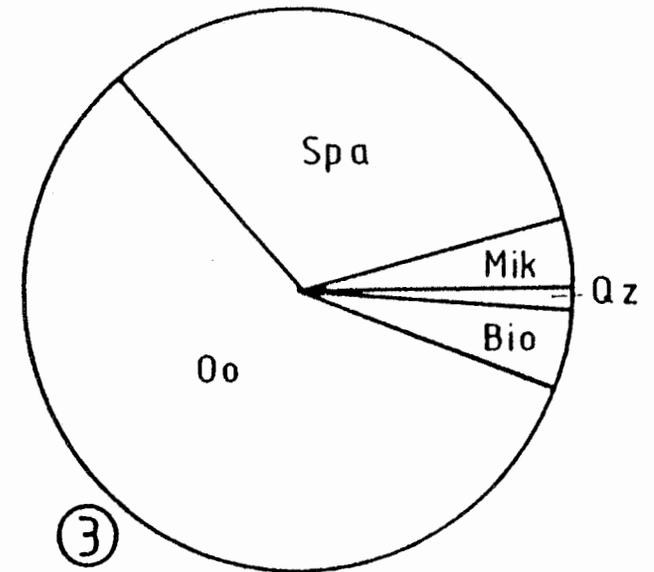
31 Meßwerte



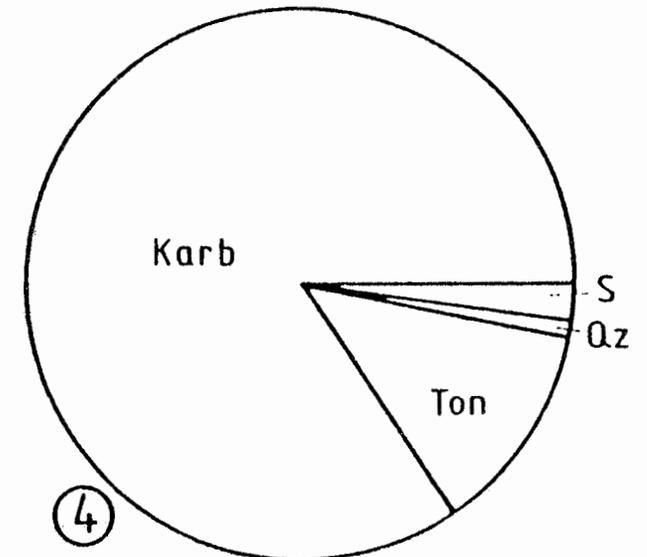
13% Tonminerale



Modalbestand



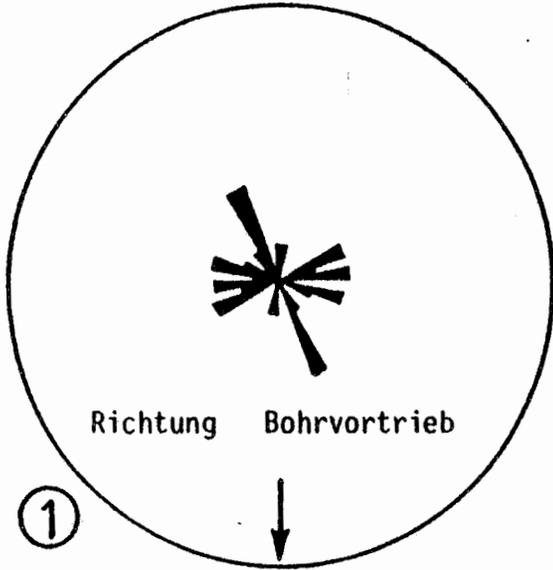
Mineralbestand



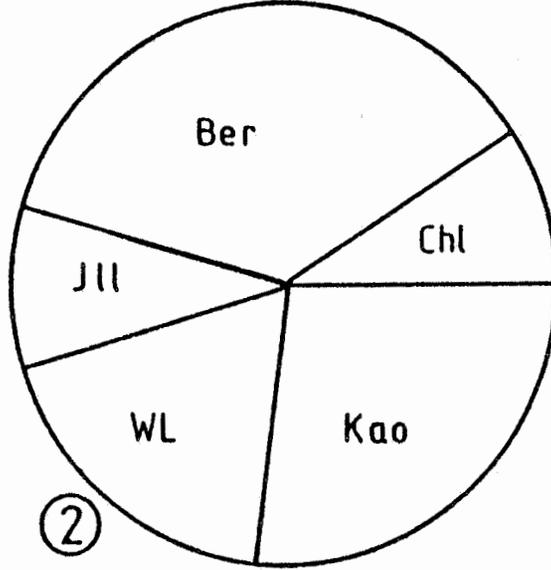
- ① Einregelung der Längsachsen von Partikeln
- ② Tonmineralanteile am Tonanteil
- ③ Anteil der Einzelkomponenten
- ④ Quantitativer Mineralbestand

Abb. 3.13: Untersuchungsergebnisse für die Probe 5/96/009/PP1a (Oberer Korallenoolith)

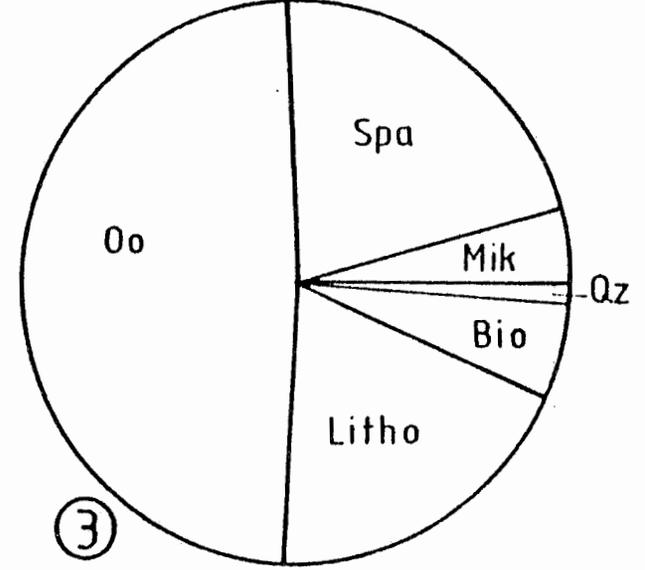
14 Meßwerte



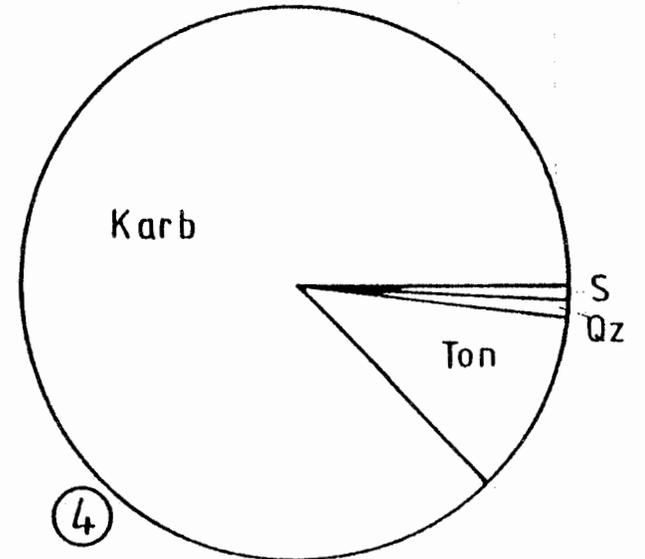
11 % Tonminerale



Modalbestand



Mineralbestand



- ① Einregelung der Längsachsen von Partikeln
- ② Tonmineralanteile am Tonanteil
- ③ Anteil der Einzelkomponenten
- ④ Quantitativer Mineralbestand

Abb. 3.14: Untersuchungsergebnisse für die Probe 5/96/010/PP1a (Oberer Korallenoolith)

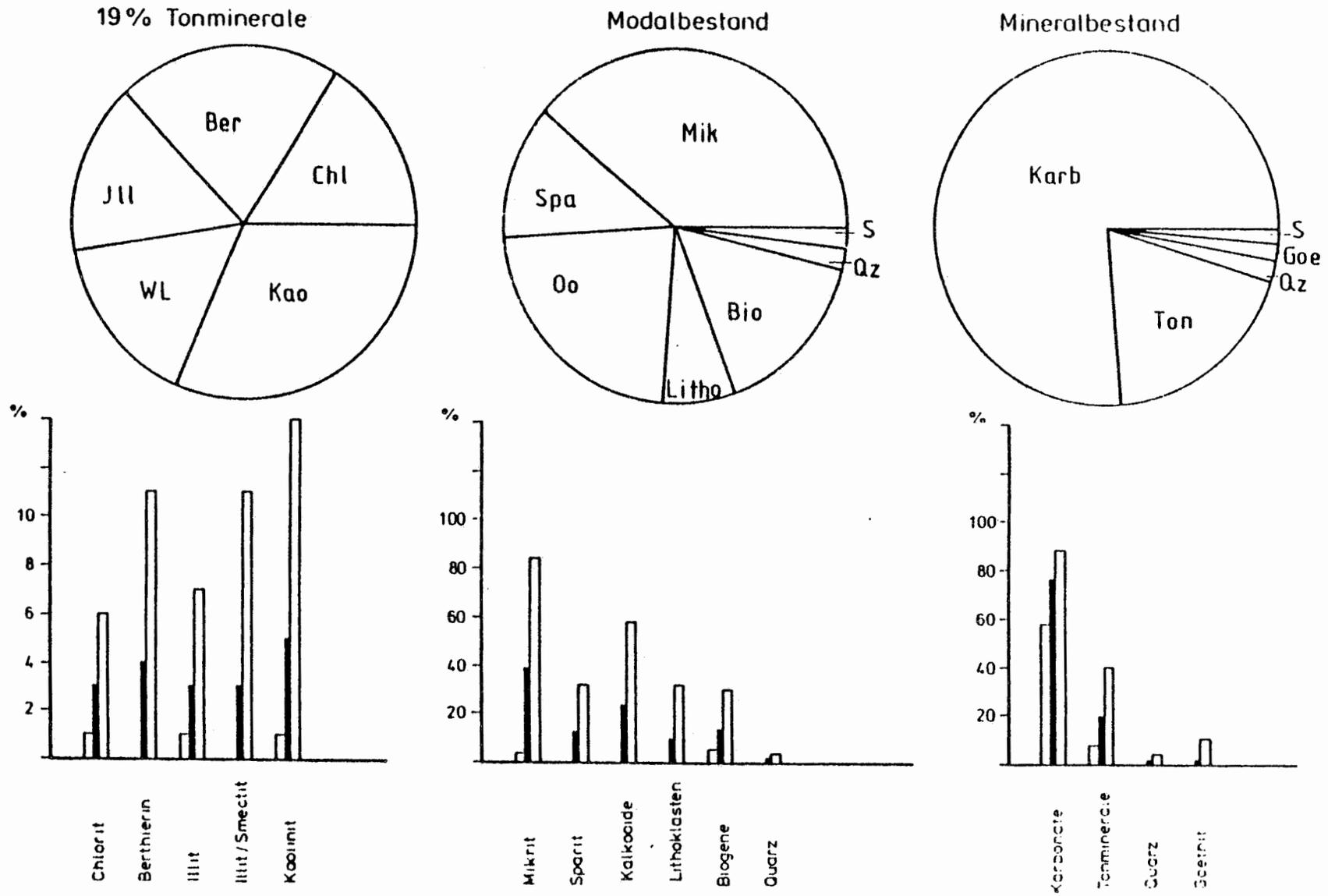


Abb. 3.15: Durchschnittliche Zusammensetzung des oberen Korallenoolith

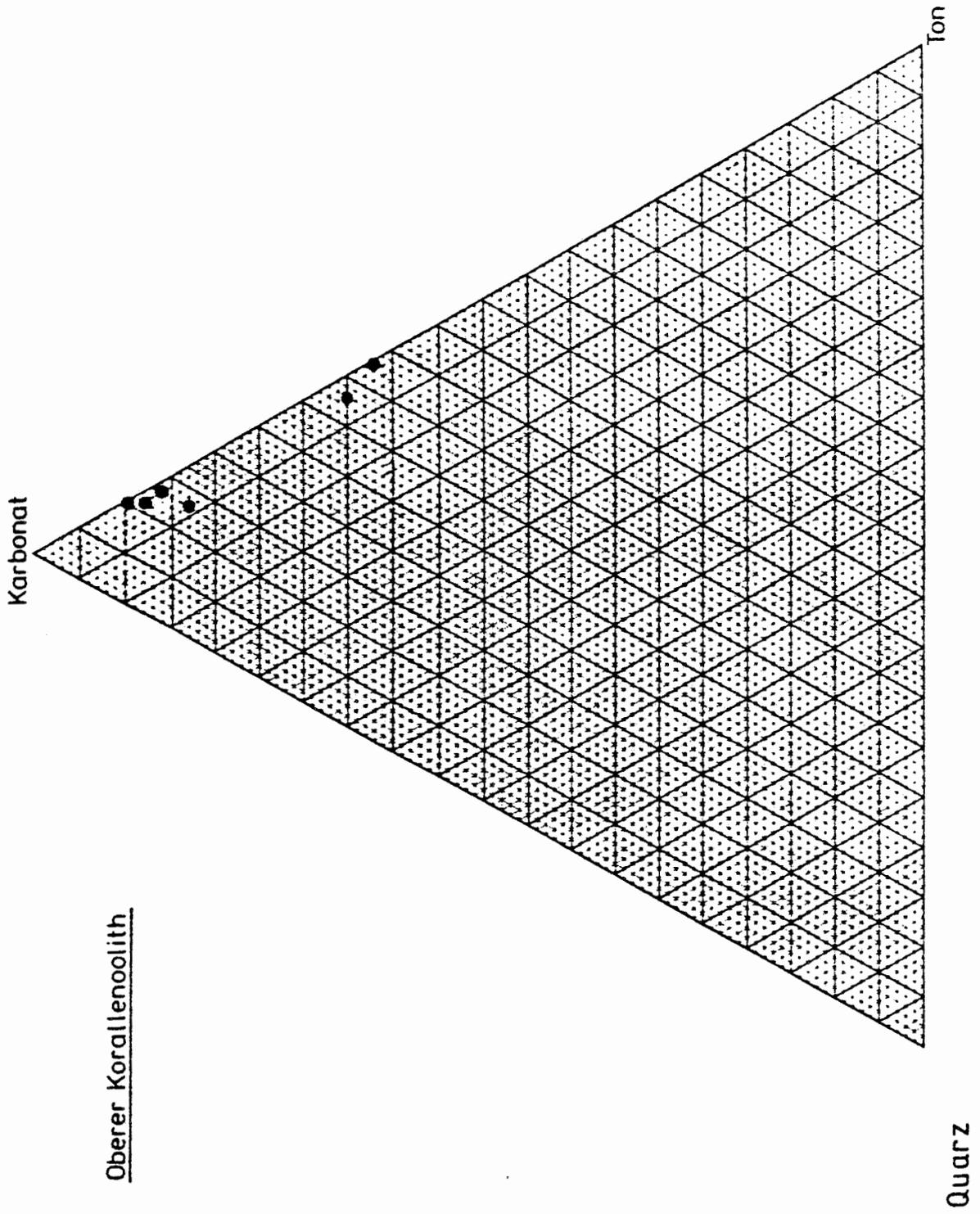


Abb. 3.16: Dreiecksdiagramm Oberer Korallenoolith

3.4.3 Oberes Lager (mittlerer Korallenoolith)

Das obere Lager wurde von den Bohrungen 3/138 und 5/96 durchteuft. Insgesamt sind vier Proben mineralogisch untersucht worden (Einzelergebnisse siehe Tab. 3.5):

3/138/003/0

3/138/004/5a

3/138/005/5a

5/96/004/FM6b

Alle untersuchten Gesteinsproben sind Partikelkalke mit unterschiedlichen Beimengungen von limonitischem Material.

Die Matrix der Partikel besteht aus einem Gemenge von Sparit und Mikrit mit wechselnden Anteilen, bei einigen Proben tritt limonitische Matrix hinzu. Der Anteil der in zwei Proben beobachteten limonitischen Matrix beträgt 8 und 3 %, insgesamt macht die Matrix zwischen 33 und 70 % des Gesteins aus. Im Durchschnitt beträgt der Anteil der Matrix knapp 50 %, die Packung der Partikel ist demnach relativ dicht.

Bei den beobachteten Partikeln überwiegen Biogene (Kalkschalendetritus) sowie Kalkooide, teilweise treten Gerölle und Peloide sowie Brauneisenoide (bis 18 %) hinzu. Andere Partikel treten nur untergeordnet auf: Quarz und Feldspatklasten, Pyrit.

Die Korngrößen-sortierung der Partikel ist gut, der mittlere Durchmesser der Ooide beträgt ca. 0.6 mm, die Biogene können über 1 cm groß sein.

In der Matrix sind die Partikel homogen verteilt, eine Einregelung ihrer Längsachsen ist gut bis nicht vorhanden.

Die mineralische Zusammensetzung dieser Gesteine wird von Karbonatmineralen (im Mittel 63 %) und Tonmineralen (21 %) dominiert. Dazu treten teilweise bis 28 % Goethit, im Mittel sind es 11 %, untergeordnet sind Quarz, Feldspat und Pyrit vorhanden.

Bei den Karbonatmineralen dominiert Calcit, teilweise treten Siderit und/oder Dolomit hinzu. Berthierin ist das häufigste Tonmineral, untergeordnet treten Chlorit, Kaolinit, Illit und das unregelmäßige Wechsellagerungsmineral Illit/Smectit hinzu.

Entsprechend der mineralischen Zusammensetzung der Gesteine ergeben sich die Gesteinsnamen:

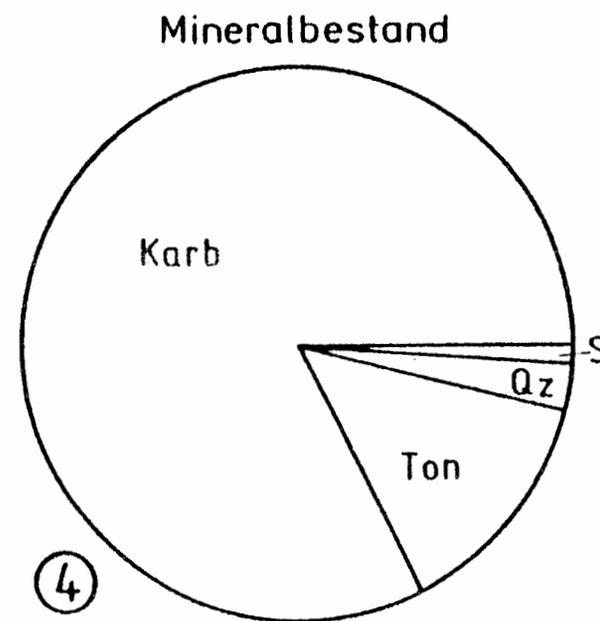
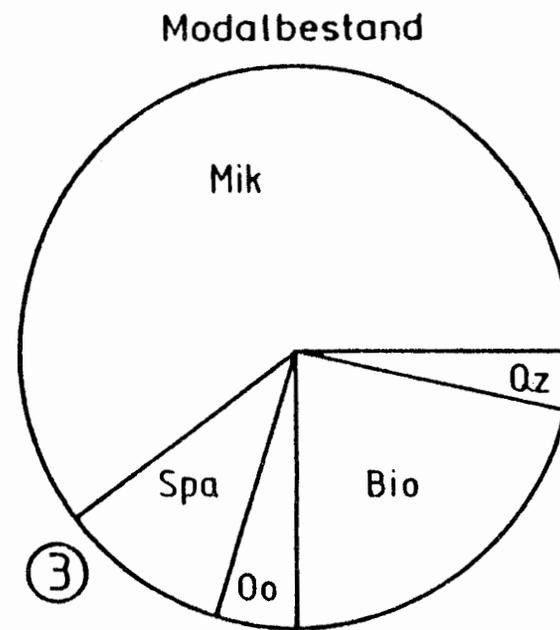
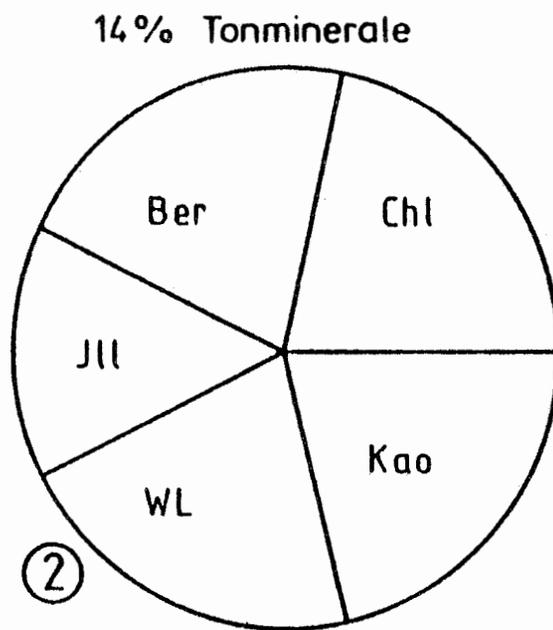
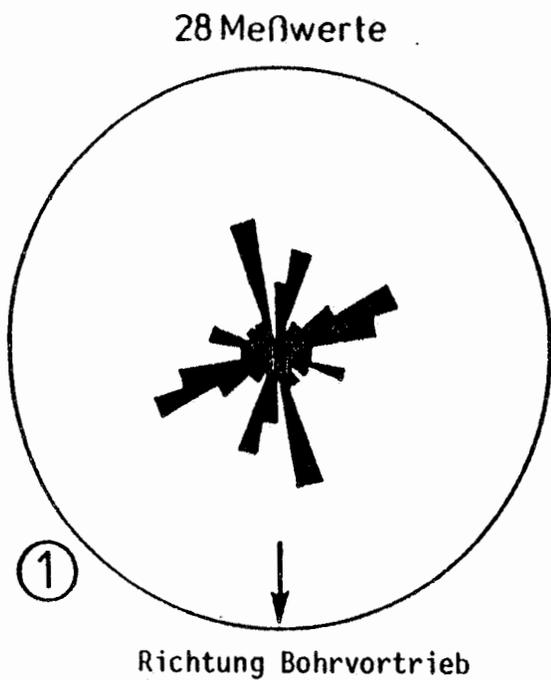
3/138/003/0:	toniger Kalkstein
3/138/004/5a:	stark goethitischer toniger Kalkstein
3/138/005/5a:	goethitischer toniger Kalkstein
5/96/004/FM6b:	stark karbonatischer Mergelstein

	3/138		5/96	
	003/0	004/5a	005/5a	004/FM6b
Modalbestand (Vol.-%)				
Matrix: Mikrit	60	9	39	13
Sparit	10	24	2	25
Limonit		8	3	
Partikel: Kalkooide	5	17	21	26
Brauneisenoide		18	14	
Lithoklasten/ Peloide		9		19
Biogene	22	13	15	10
Quarz	3	2	5	5
Feldspat			+	
opakes Material	+		1	2
Einregelung d. Partikel	keine	gut	gut	gut
Korngrößensortierung der Partikel	schlecht	gut	gut	gut
Mineralbestand (Gew.-%) +)				
Calcit	72	34	51	64
Dolomit	10	10	6	
Siderit		4		2
Quarz	3	2	5	5
Feldspat				
Pyrit	1		1	1
organisches Material				1
Chlorit	3	2	3	2
Berthierin	3	20	9	20
Illit	2	+	3	1
Wechselagerung Illit/Smectit	3		2	1
Smectit				
Kaolinit	3		2	3
Goethit		28	18	
Chemische Analyse (Gew.-%)				
CO ₂	36.2	20.9	25.2	28.9
C	0.2	0.6	0.2	1.1
S	0.5	0.3	0.5	0.89

Tab. 3.5: Mineralogische Untersuchungsergebnisse^{+) der Proben aus dem Oberen Lager (mittlerer Korallenoolith)}

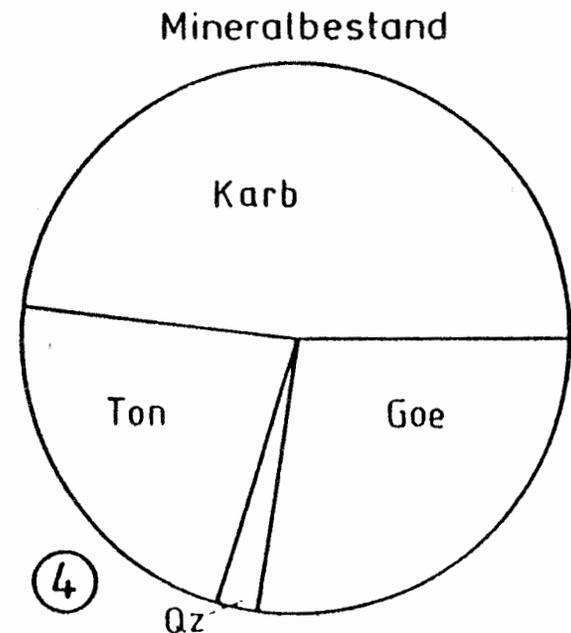
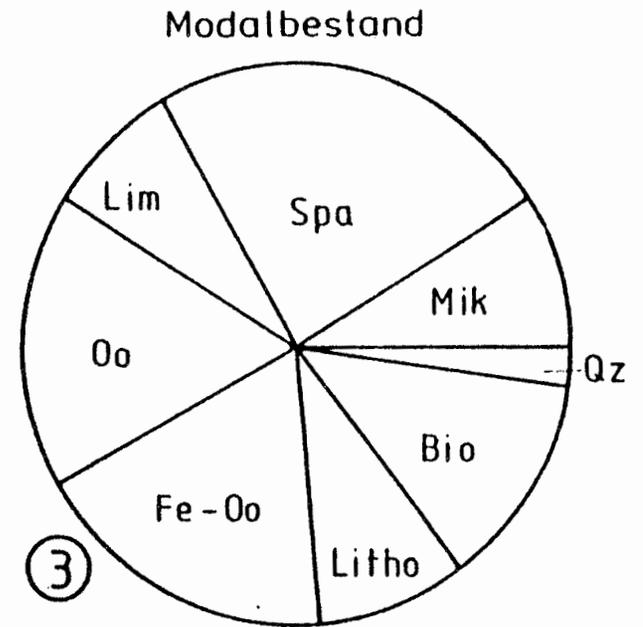
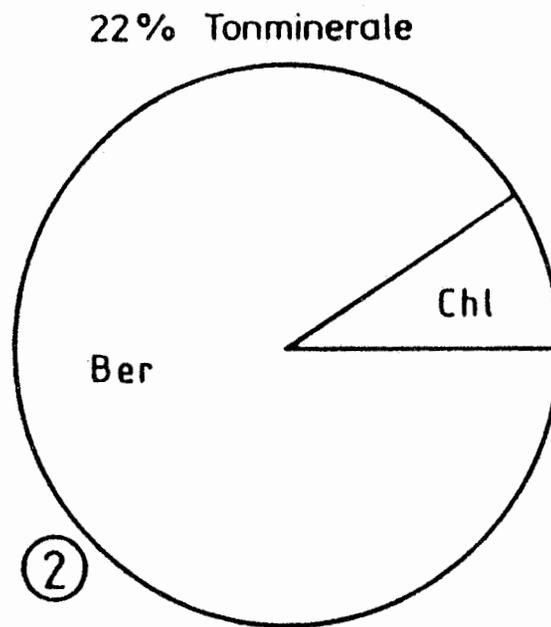
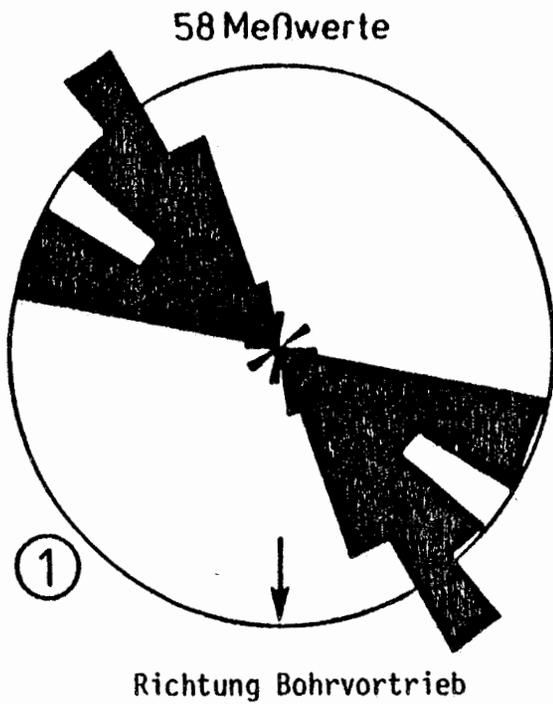
+) die Daten (Mittelwerte) sind über Standards rechnerisch ermittelt, daher nur als halbquantitativ zu betrachten

Die Ergebnisse der Untersuchungen an den Einzelproben sind in nachfolgenden Abbildungen 3.17 bis 3.20, die aus den Einzelergebnissen berechnete durchschnittliche Zusammensetzung in Abbildung 3.21 graphisch dargestellt. Die auf 100 % normierten drei Hauptbestandteile des Mineralbestandes der Einzelproben sind in Abbildung 3.22 im Dreieck Ton, Karbonat und Goethit dargestellt.



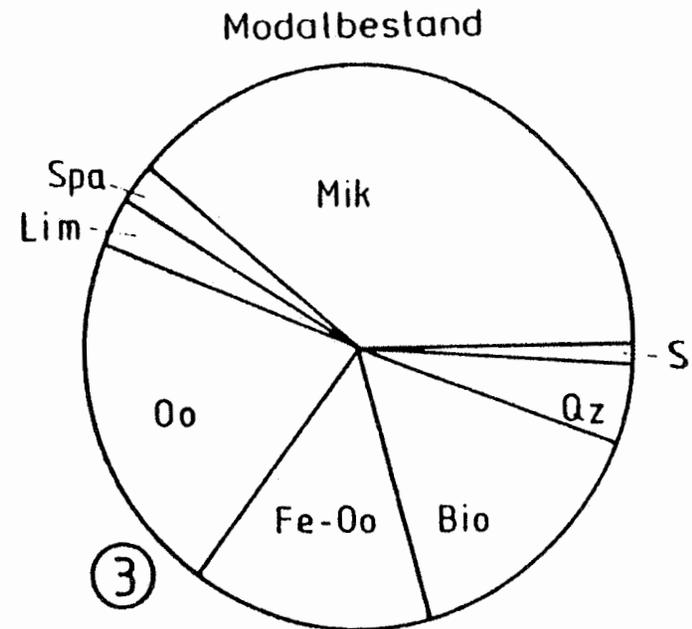
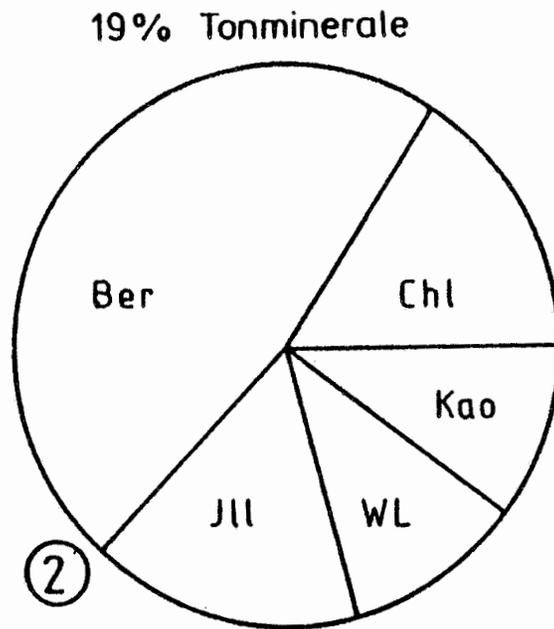
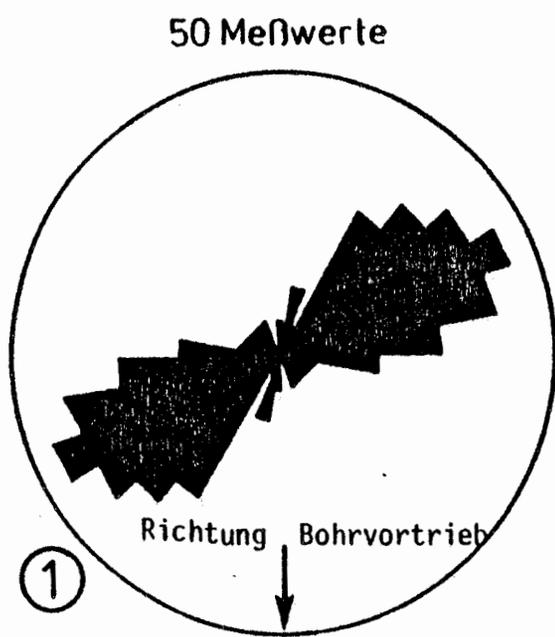
- ① Einregelung der Längsachsen von Bioklasten
- ② Tonmineralanteile am Tonanteil
- ③ Anteil der Einzelkomponenten
- ④ Quantitativer Mineralbestand

Abb. 3.17: Untersuchungsergebnisse für die Probe 3/138/003/0 (Oberes Lager)

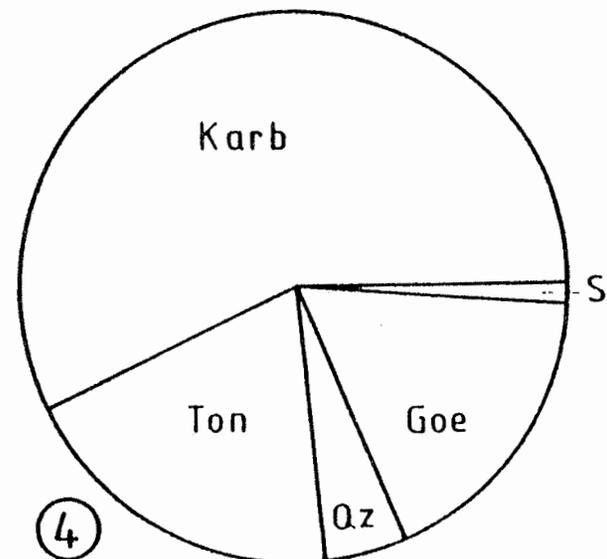


- ① Einregelung der Längsachsen von länglichen Komponenten
- ② Tonmineralanteile am Tonanteil
- ③ Anteil der Einzelkomponenten
- ④ Quantitativer Mineralbestand

Abb. 3.18: Untersuchungsergebnisse für die Probe 3/138/004/5a (Oberes Lager)



Mineralbestand



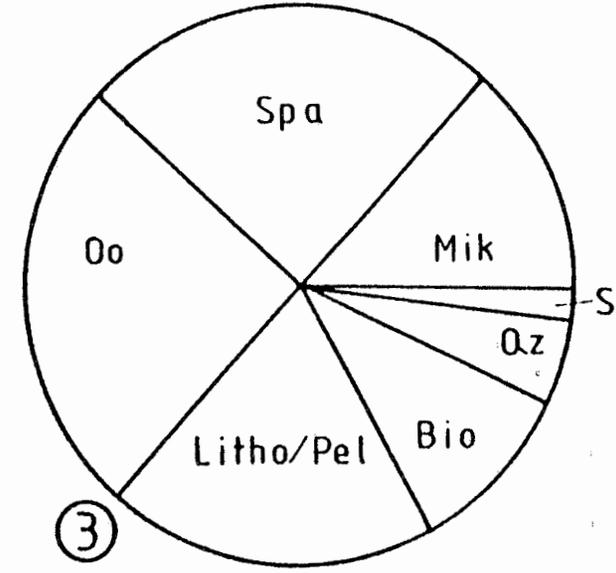
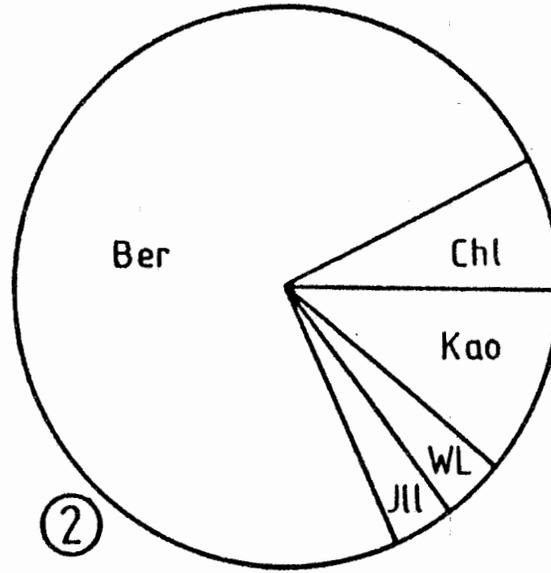
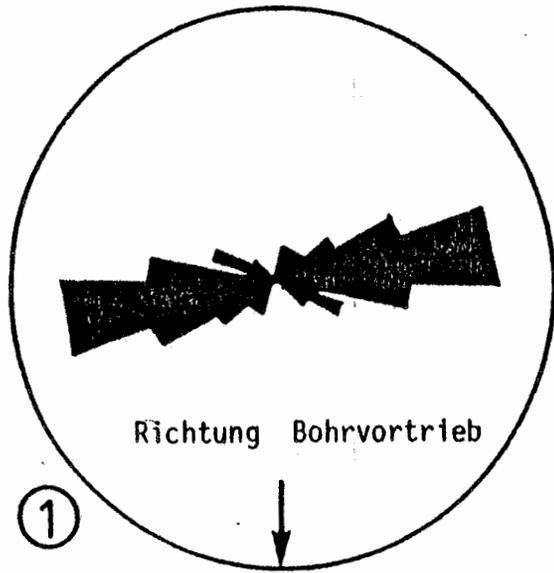
- ① Einregelung der Längsachsen von Bioklasten und länglichen Partikeln
- ② Tonmineralanteile am Tonanteil
- ③ Anteil der Einzelkomponenten
- ④ Quantitativer Mineralbestand

Abb. 3.19: Untersuchungsergebnisse für die Probe 3/138/005/5a (Oberes Lager)

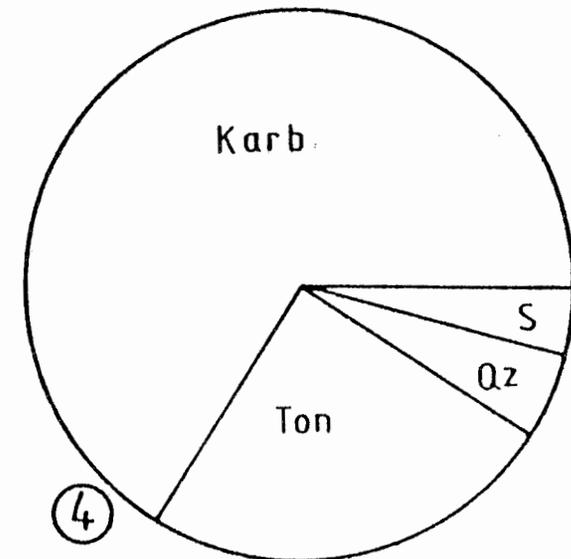
31 Meßwerte

27 % Tonminerale

Modalbestand



Mineralbestand



- ① Einregelung der Längsachsen von Partikeln
- ② Tonmineralanteile am Tonanteil
- ③ Anteil der Einzelkomponenten
- ④ Quantitativer Mineralbestand

Abb. 3.20: Untersuchungsergebnisse für die Probe 5/96/004/FM6b (Oberes Lager)

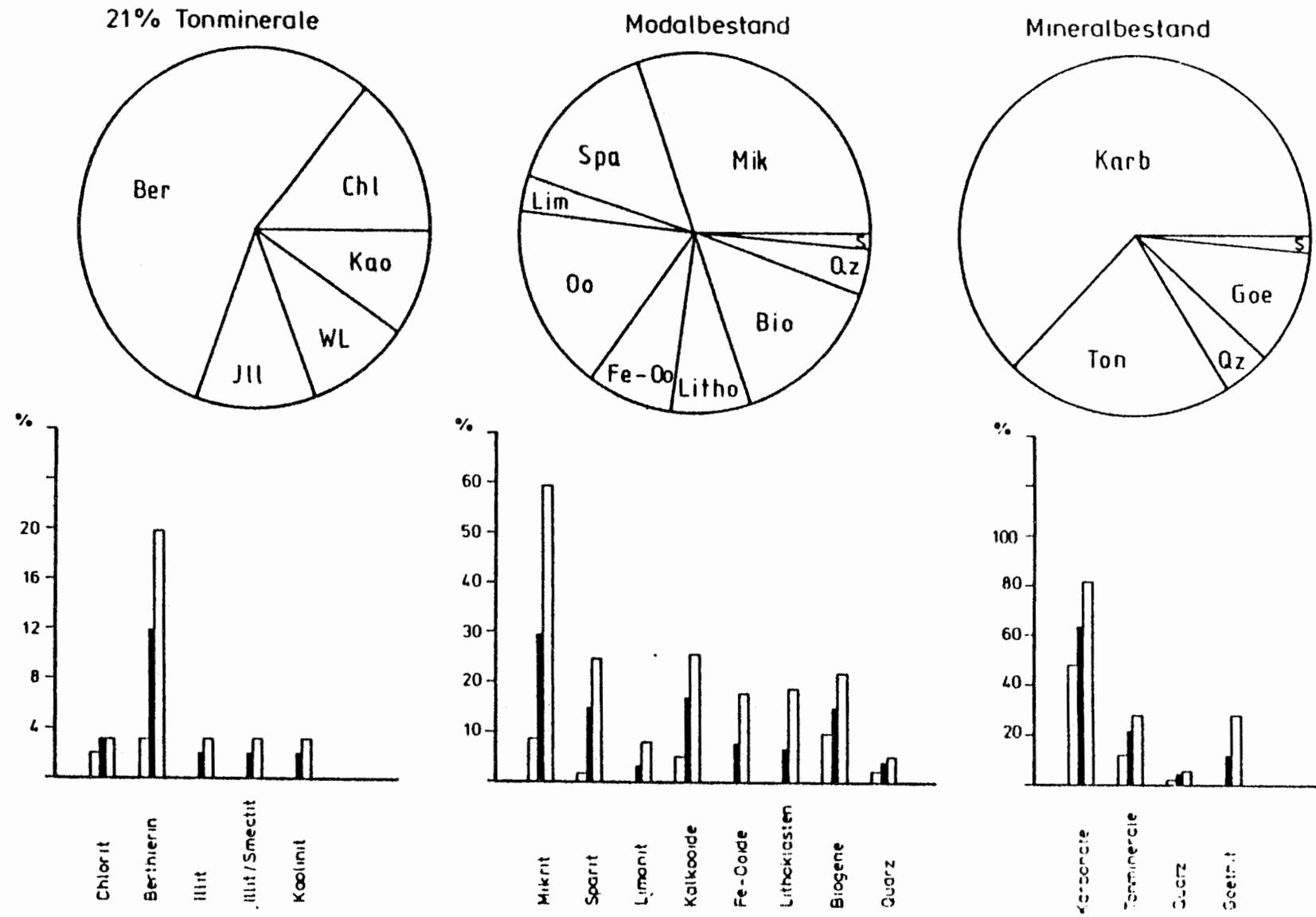


Abb. 3.21: Durchschnittliche Zusammensetzung des Oberen Lagers

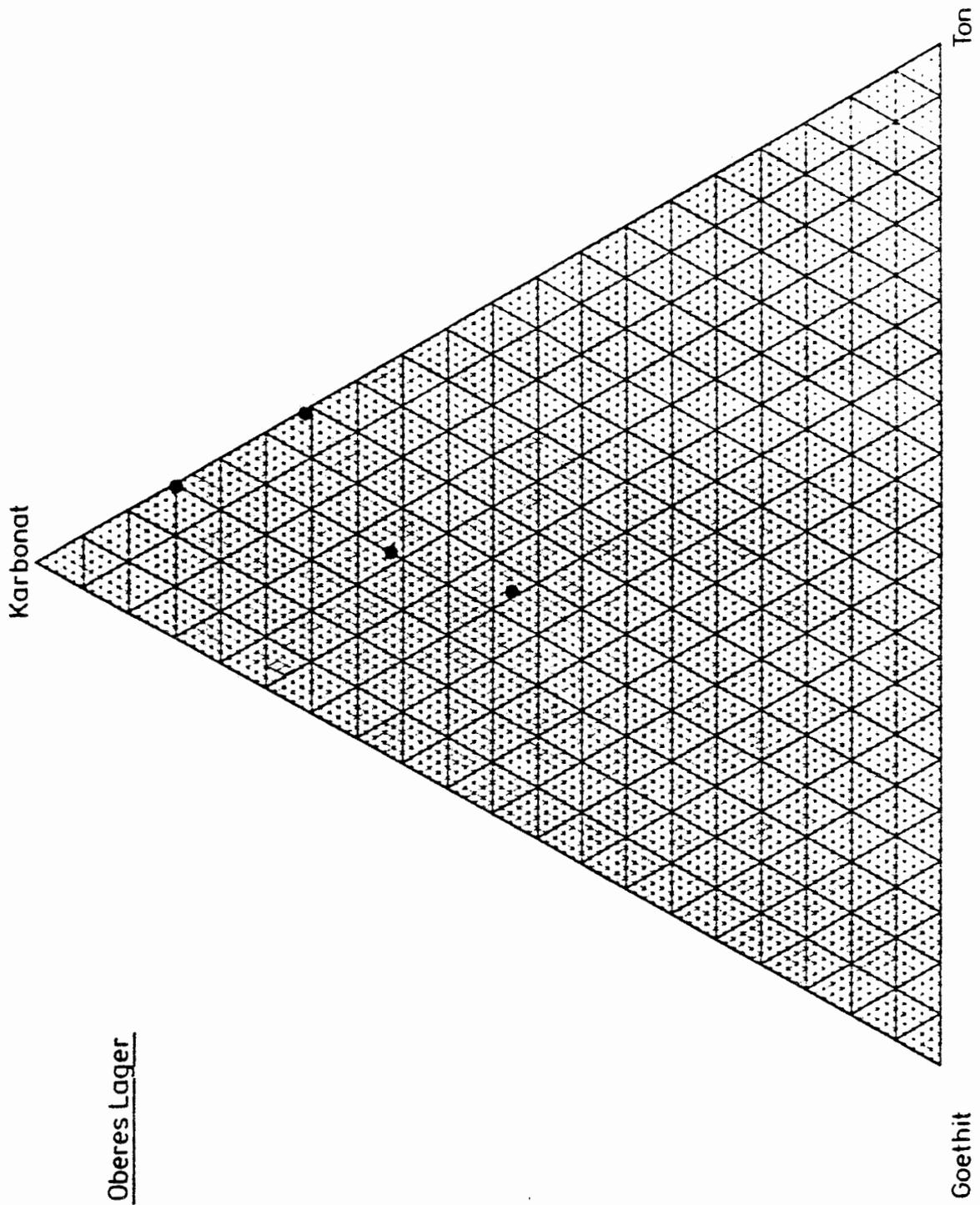


Abb. 3.22: Dreiecksdiagramm Oberes Lager

3.4.4 Zwischenmittel (mittlerer Korallenoolith)

Aus dem mittleren Korallenoolith wurden vier Gesteinsproben mineralogisch untersucht (Einzelergebnisse siehe Tab. 3.6):

3/138/006/5a

3/138/007/3a

5/96/002/FM3a

5/96/003/FM2a

Die Gesteine des Zwischenmittels zwischen dem oberen und unteren Erzlager sind durch das Zurücktreten von Brauneisen gekennzeichnet. Der mittlere Goethitgehalt beträgt 8 %.

Alle Gesteine sind Kalke mit einer meist mikritischen Matrix, in der verschiedene Partikel eingebettet sind. Die im Dünnschliff meist braun gefärbte mikritische Matrix besteht aus einem feinkörnigen Gemenge von Ton- und Karbonatmineralen. Auch Pyrit und feinkörniger Quarz treten auf. In der Probe 3/138/006/5a ist die Abkunft des Mikrits aus Peloiden klar zu erkennen. Besonders in der Probe 5/96/003/FM2a gesellt sich zu dem Mikrit eine geringe Menge Sparit.

Die verschiedenen Partikel treten in sehr verschiedenen Verhältnissen auf. Es können Kalkooide, Brauneisenoide, Gerölle, Biogene, Quarz und Onkoide beobachtet werden. Die letzteren können karbonatisch oder limonitisch sein.

Die Korngrößensortierung der Partikel ist mit Ausnahme der Probe 5/96/003/FM2a, die auch etwas Sparit führt, schlecht: die Partikel sind von wenigen bis zu mehreren Millimetern groß. Eine Einregelung der Partikel ist in keiner der Proben zu erkennen.

An Tonmineralen treten in verschiedenen Anteilen Chlorit, Berthierin, Illit, Kaolinit und das unregelmäßige Wechsellagerungsmineral Illit/Smectit auf. Der mittlere Tonmineralanteil beträgt ca. 25 %. Die Karbonatminerale sind mit durchschnittlich 60 % an der Zusammensetzung der Gesteine beteiligt, den Rest machen Quarz, Pyrit und Goethit aus.

Die Gesteine sind als teils limonitschüssige tonige Kalksteine bis stark karbonatische Mergelsteine zu bezeichnen.

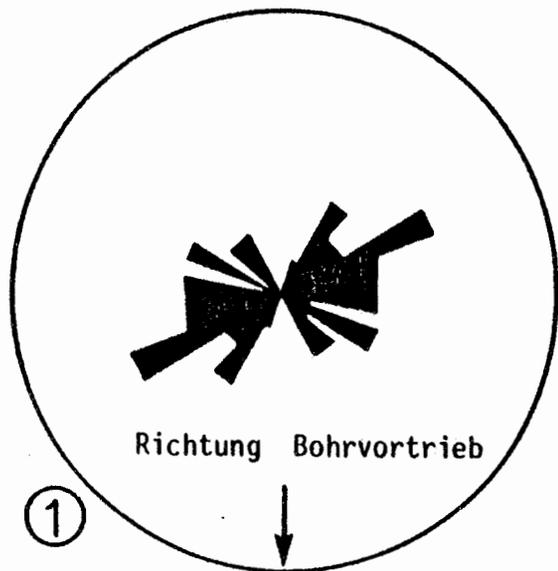
	006/5a	007/3a	002/FM3a	003/FM2a
<u>Modalbestand (Vol.-%)</u>				
Matrix: Mikrit	61	71	42	25
Sparit	2		1	12
Limonit	1	2		
Partikel: Kalkooide	2			27
Brauneisenoide	14			2
Lithoklasten	2			25
Biogene	14	10	4	4
Quarz	2	7	8	5
Feldspat		+		+
opakes Material	2	3	1	
braune Konkretionen				
Onkoide		7	44	
Einregelung der Partikel	schlecht	keine	keine	schlecht
Korngrößensortierung der Partikel		sehr schlecht	schlecht	gut
<u>Mineralbestand (Gew.-%)+)</u>				
Calcit	40	50	65	76
Dolomit			6	
Siderit	3	+		
Quarz	2	6	8	5
Feldspat				+
Pyrit	2	5	1	+
organisches Material			1	2
Chlorit	7	9	6	
Berthierin	10	6		13
Illit	9	5	5	
Wechselagerung Illit/Smectit	6	2	5	
Kaolinit	4	7	3	
Goethit	17	10		4
<u>Chemische Analyse (Gew.-%)</u>				
CO ₂	19.1	21.9	31.3	33.6
C	0.2	0.1	1.1	1.4
S	1.20	1.31	0.73	0.21

Tab. 3.6: Mineralogische Untersuchungsergebnisse^{+) der Proben aus dem Zwischenmittel (mittlerer Korallenoolith)}

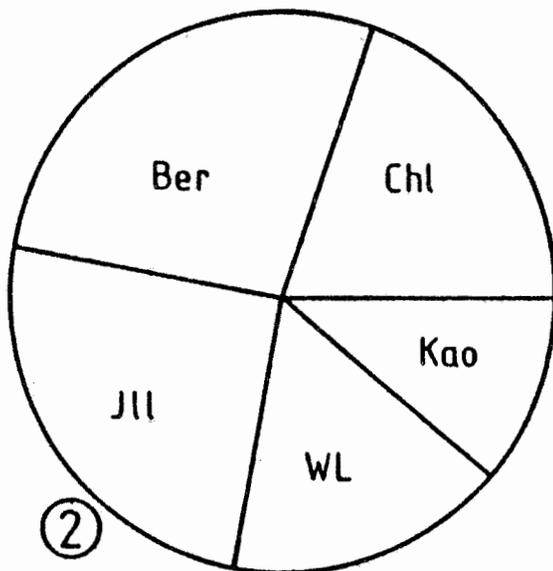
+) die Daten (Mittelwerte) sind über Standards rechnerisch ermittelt, daher nur als halbquantitativ zu betrachten

Die Ergebnisse der Untersuchungen an den Einzelproben sind in nachfolgenden Abbildungen 3.23 bis 3.26, die aus den Einzelergebnissen berechnete durchschnittliche Zusammensetzung in Abbildung 3.27 graphisch dargestellt. Die auf 100 % normierten drei Hauptkomponenten des Mineralbestandes der Einzelproben sind in Abbildung 3.28 im Dreieck Ton, Karbonat und Goethit dargestellt.

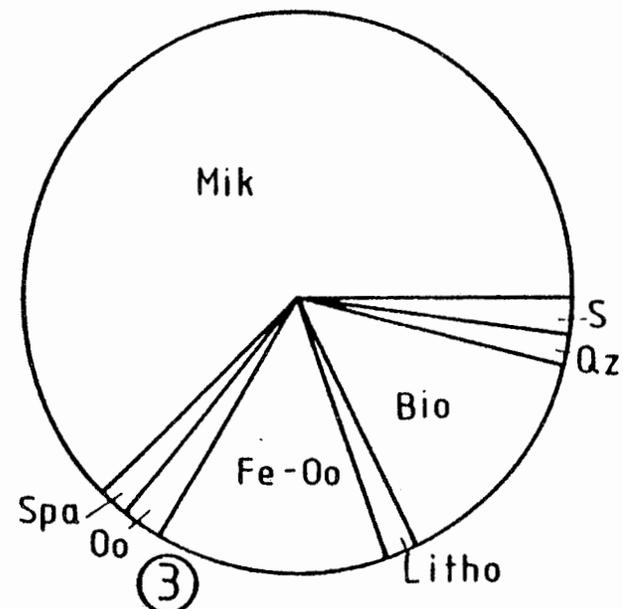
30 Meßwerte



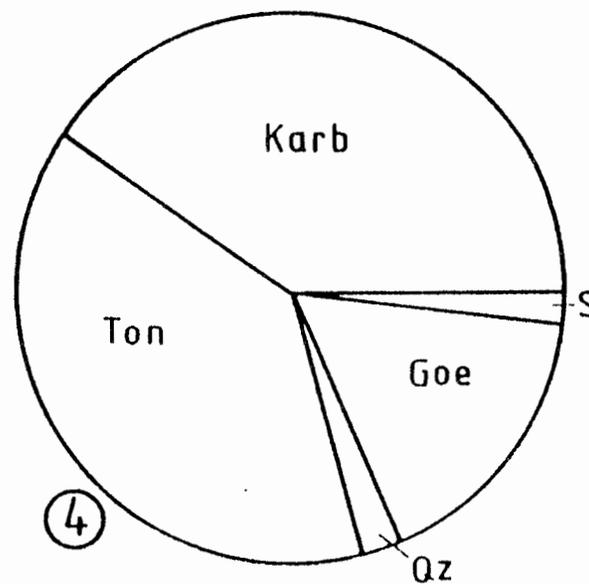
36% Tonminerale



Modalbestand



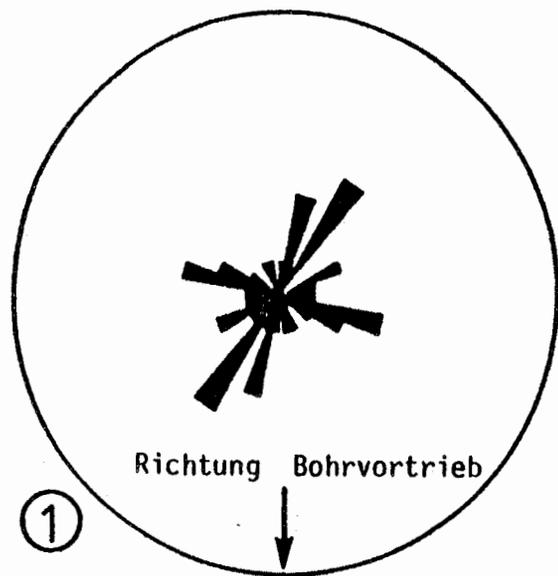
Mineralbestand



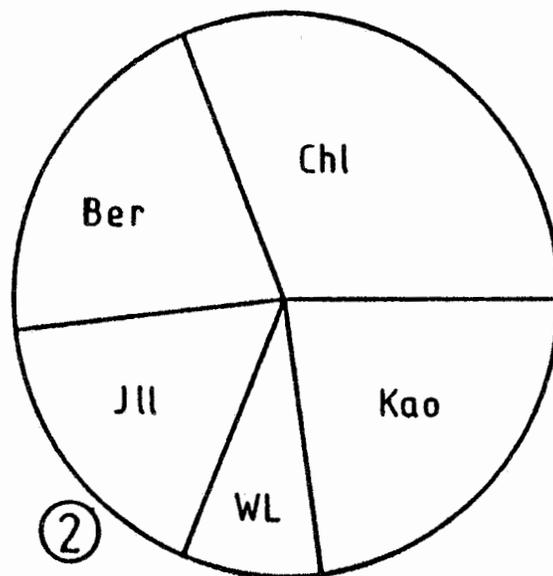
- ① Einregelung der Längsachsen von Bioklasten
- ② Tonmineralanteile am Tonanteil
- ③ Anteil der Einzelkomponenten
- ④ Quantitativer Mineralbestand

Abb. 3.23: Untersuchungsergebnisse für die Probe 3/138/006/5a (Zwischenmittel)

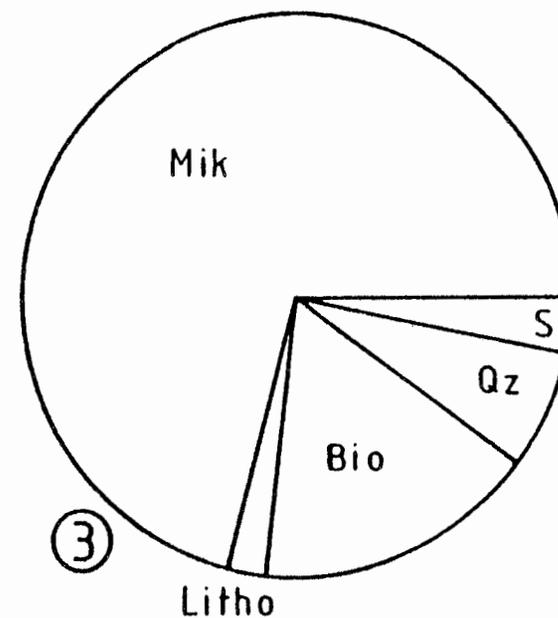
24 Meßwerte



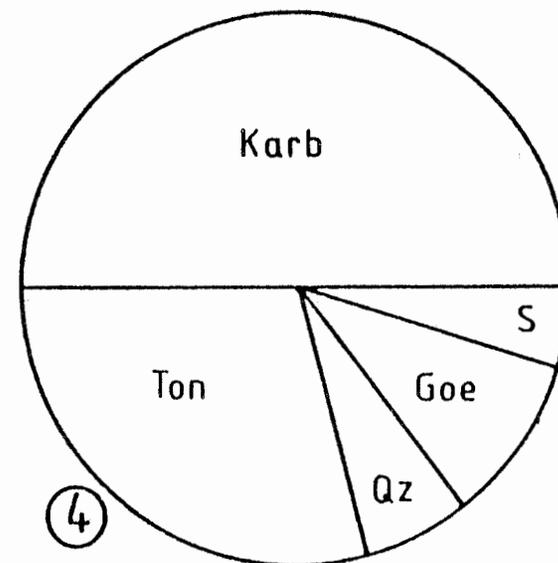
29% Tonminerale



Modalbestand



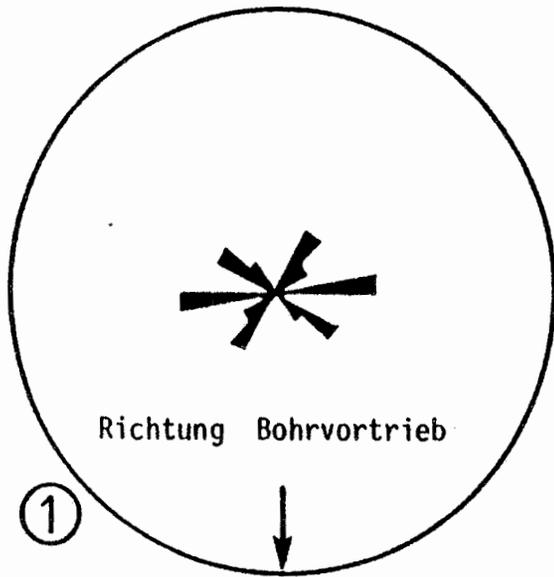
Mineralbestand



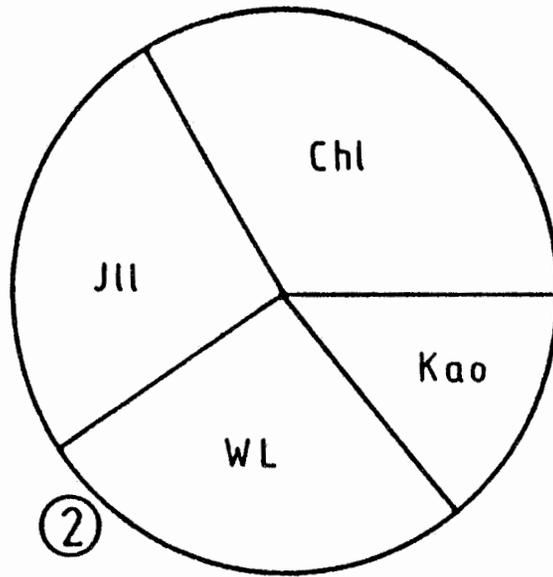
- ① Einregelung der Längsachsen von Bioklasten
- ② Tonmineralanteile am Tonanteil
- ③ Anteil der Einzelkomponenten
- ④ Quantitativer Mineralbestand

Abb. 3.24: Untersuchungsergebnisse für die Probe 3/138/007/3a (Zwischenmittel)

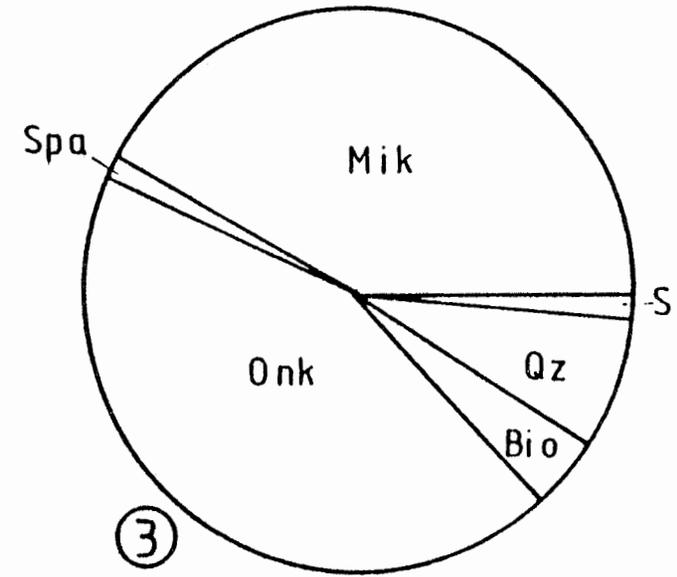
10 Meßwerte



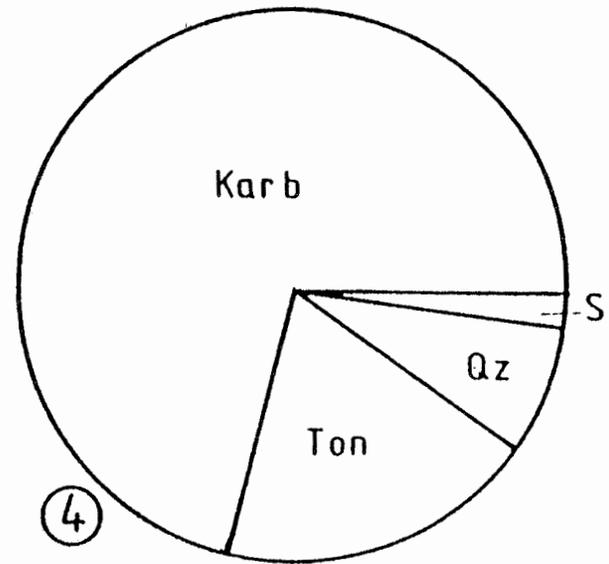
19% Tonminerale



Modalbestand



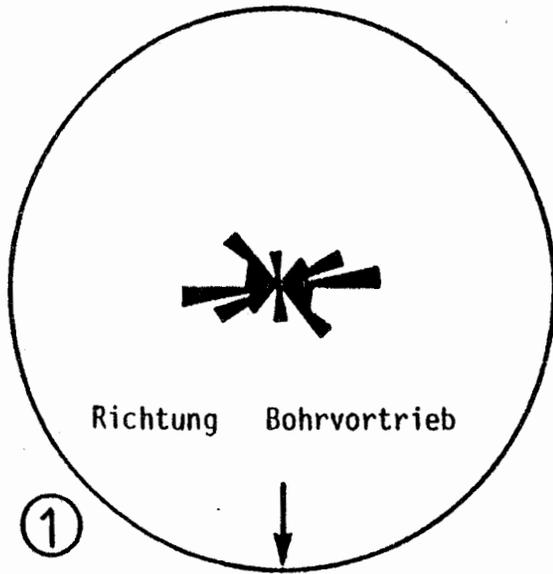
Mineralbestand



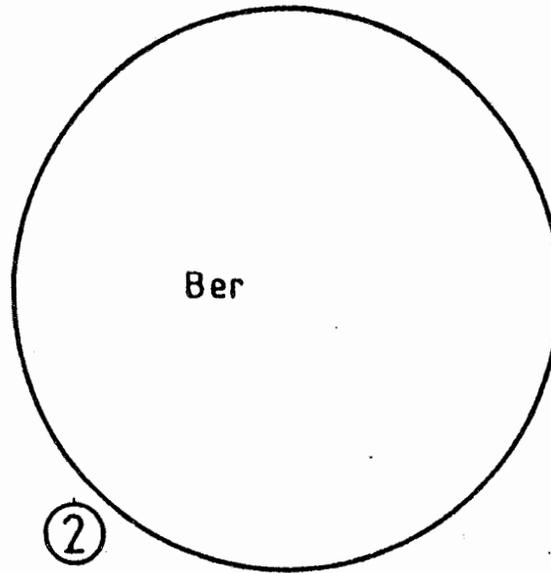
- ① Einregelung der Längsachsen von Partikel
- ② Tonmineralanteile am Tonanteil
- ③ Anteil der Einzelkomponenten
- ④ Quantitativer Mineralbestand

Abb. 3.25: Untersuchungsergebnisse für die Probe 5/96/002/FM3a (Zwischenmittel)

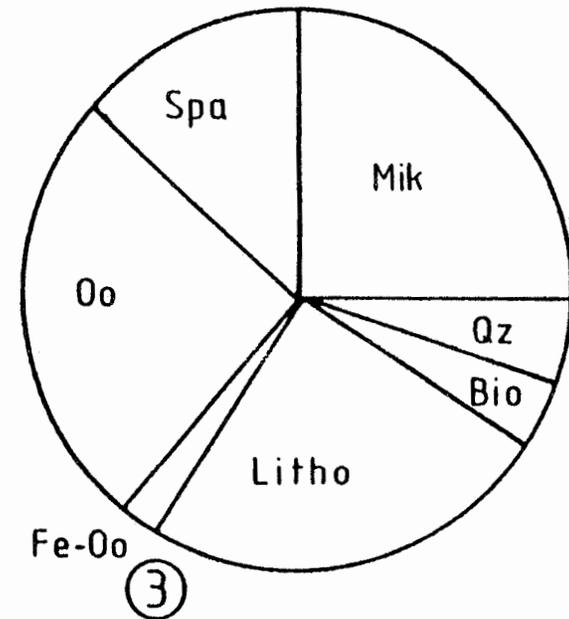
16 Meßwerte



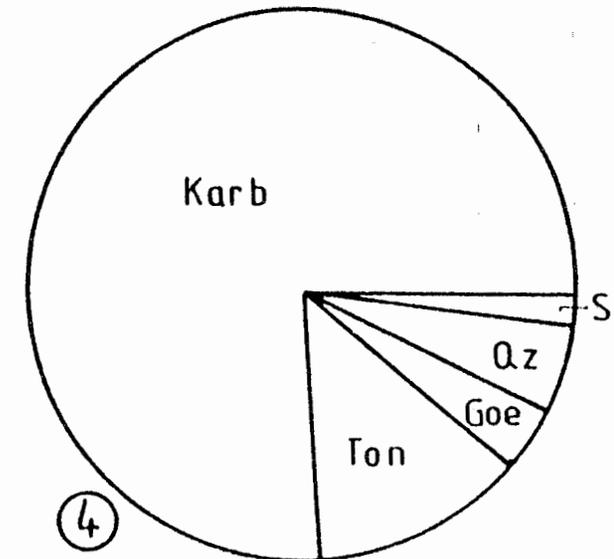
19 % Tonminerale



Modalbestand



Mineralbestand



- ① Einregelung der Längsachsen von Partikeln
- ② Tonmineralanteile am Tonanteil
- ③ Anteile der Einzelkomponenten
- ④ Quantitativer Mineralbestand

Abb. 3.26: Untersuchungsergebnisse für die Probe 5/96/003/FM2a (Zwischenmittel)

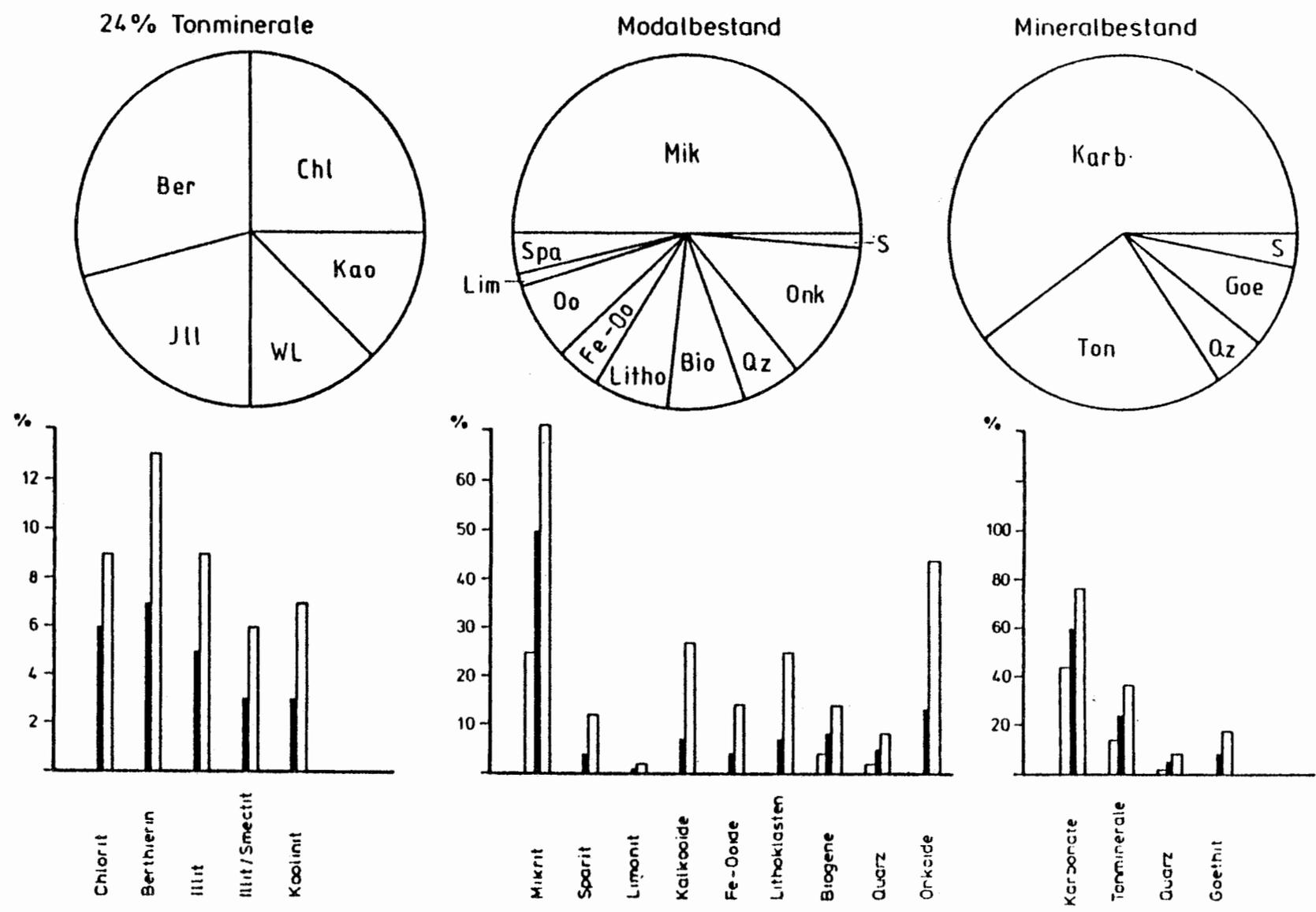


Abb. 3.27: Durchschnittliche Zusammensetzung des Zwischenmittel

Zwischenmittel

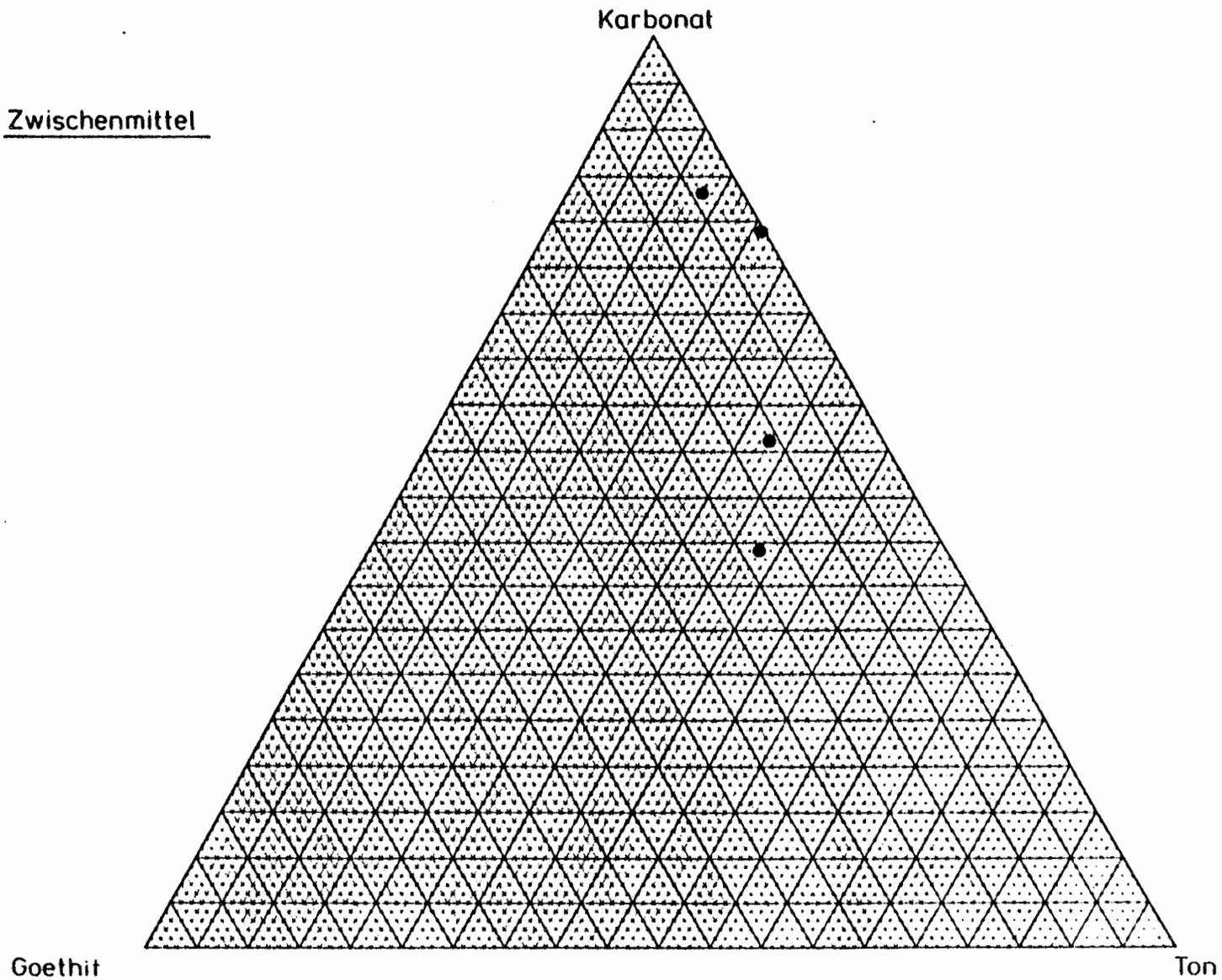


Abb. 3.28: Dreiecksdiagramm Zwischenmittel

3.4.5 Unteres Lager (mittlerer Korallenoolith)

Insgesamt wurden fünf Proben aus dem unteren Erzlager des mittleren Korallenoolith mineralogisch untersucht (Einzelergebnisse siehe Tab. 3.7):

3/138/008/3a
3/138/009/5a
3/138/010/5a
3/138/011/4a
5/96/001/FM3a

Mit Ausnahme der Probe 3/138/008/3a sind alle Proben Brauneisenoolithe, deren Gehalte an Brauneisenooiden 45 bis 75 % betragen. Weitere Partikel, die allerdings stets in Gehalten kleiner 10 % auftreten, sind Kalkooide, Gerölle, Biogene (Kalkschalendetritus), Quarz- und Feldspatklasten sowie Pyrit. Die Korngrößenorientierung dieser Partikel ist sehr gut, der mittlere Durchmesser der Ooide beträgt 0.6 mm, die Biogene können mehrere mm groß sein.

Aufgrund des Vorherrschens der runden Ooide sind nur wenig längliche Partikel vorhanden, diese zeigen eine deutlich Einregelung. Die Verteilung der Brauneisenooide ist homogen, in diesen Homogenbereichen treten jedoch einige wenige Millimeter starke ooidfreie Lagen auf, die überwiegend aus Tonmineralen bestehen (Tonlagen).

Die Matrix der Partikel bildet Sparit, nur gelegentlich tritt auch tonmineralreicher Mikrit hinzu.

Aufgrund des hohen Anteils von Brauneisenooiden an den Gesteinen wird ihre mineralische Zusammensetzung vom Goethit dominiert. Sein Anteil beträgt 41 bis 61 %. Der ebenfalls in den Brauneisenooiden gebundene Berthierin tritt mit Gehalten zwischen 8 und 17 % auf. Andere Tonminerale treten in nur geringen Mengen auf.

Karbonatminerale sind zwischen 15 und 40 % vorhanden, stets ist hierbei Siderit in kleinen aber signifikanten Gehalten (2 - 5 %) enthalten.

Weitere auftretende Minerale sind Quarz, Feldspat und Pyrit, ihre Menge ist jeweils geringer als 10 %.

Von diesen relativ einheitlichen Proben unterscheidet sich die Probe 3/138/008/3a durch ihren nur geringen Anteil an Brauneisenooiden (3 %). In ihr überwiegen Biogene, die in einer großenteils mikritischen Matrix eingebettet sind.

Die Gesteinsnamen sind hier entsprechend dem Vorschlag von GOLESTANEH und URBAN (1973) vergeben:

3/138/008/3a: unreiner, eisenschüssiger Kalkstein
3/138/009/5a: calcitischer Brauneisen-Silikat-Oolith
3/138/010/5a: calcitischer Brauneisen-Silikat-Oolith
3/138/011/4a: dicht gepackter Brauneisen-Silikat-Oolith
5/96/001/FM3a: calcitischer Brauneisen-Silikat-Oolith

3/138

5/96

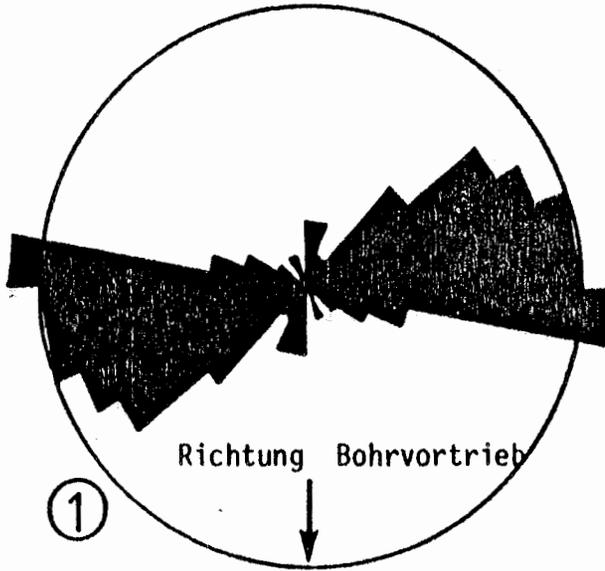
	008/3a	009/5a	010/5a	011/4a	001/FM3a
<u>Modalbestand (Vol.-%)</u>					
Matrix: Mikrit	47	25	1		
Sparit	11	7	15	6	12
Limonit	3	2	9	7	25
Partikel: Kalkooide	2	2	3	3	1
Brauneisenoide	3	48	60	75	45
Lithoklasten	2	1	1	1	4
Biogene	21	3	3	3	6
Quarz	7	9	7	5	7
Feldspat		1	1	+	+
opakes Material	1	2			
braune Konkretionen					
<u>Korngrößensortierung der Partikel</u>					
	schlecht	s.gut	s. gut	s. gut	s. gut
Einregelung d. Partikel	gut	gut	schlecht	gut	schlecht
<u>Mineralbestand (Gew.-%) ⁺</u>					
Calcit	63	16	15	8	30
Dolomit	2			2	7
Siderit	1	4	2	5	3
Quarz	7	9	5	5	7
Feldspat		1	1	+	+
Pyrit	1	2		+	
organisches Material				+	
Chlorit	1	6		1	
Berthierin	10	8	17	12	12
Illit	5	3			
Wechselagerung Illit/ Smectit		4			
Kaolinit		2		6	
Goethit	10	45	59	61	41
<u>Chemische Analyse (Gew.-%)</u>					
CO ₂	29.5	8.9	14.8	6.7	17.4
C	0	0	0.2	0.1	0.2
S	0.40	1.34	0.30	0.20	0.06

Tab. 3.7: Mineralogische Untersuchungsergebnisse ⁺ der Proben aus dem unteren Lager (mittlerer Korallenoolith)

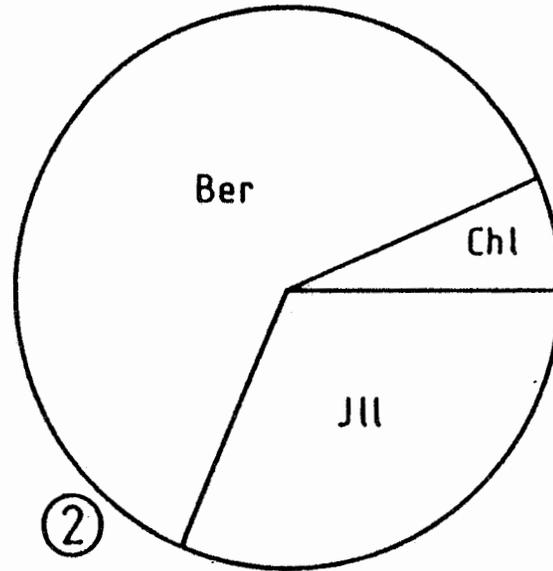
⁺) die Daten (Mittelwerte) sind über Standards rechnerisch ermittelt, daher nur als halbquantitativ zu betrachten

Die Ergebnisse der Untersuchungen an den Einzelproben sind in nachfolgenden Abbildungen 3.29 bis 3.33, die aus den Einzelergebnissen berechnete durchschnittliche Zusammensetzung in Abbildung 3.34 graphisch dargestellt. Die auf 100 % normierten drei Hauptkomponenten des Mineralbestandes der Einzelproben sind in Abbildung 3.35 im Dreieck Ton, Karbonat und Goethit dargestellt.

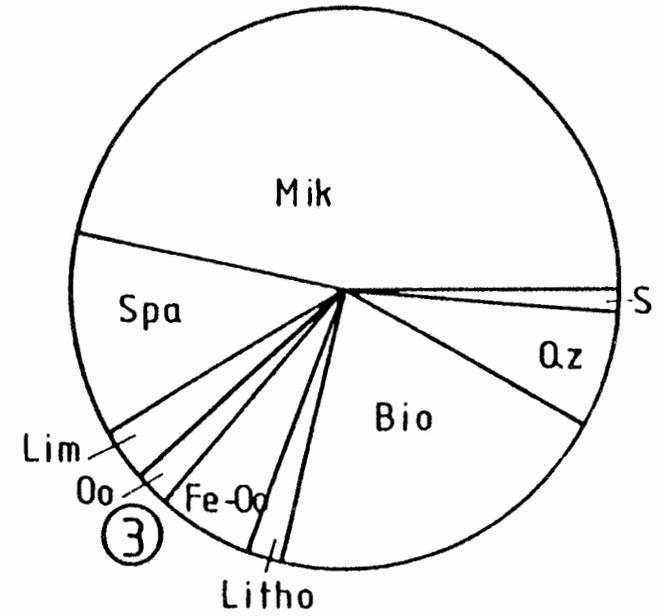
59 Meßwerte



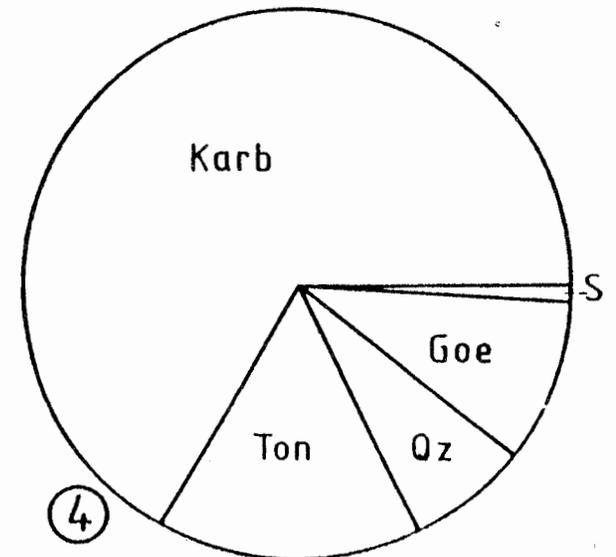
16% Tonminerale



Modalbestand

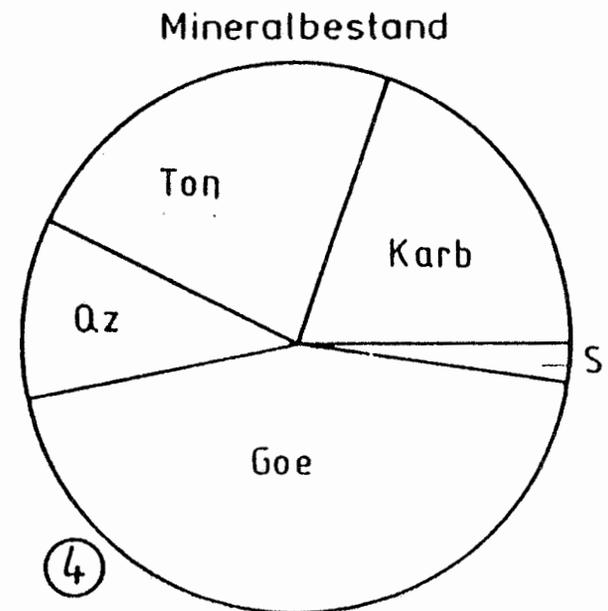
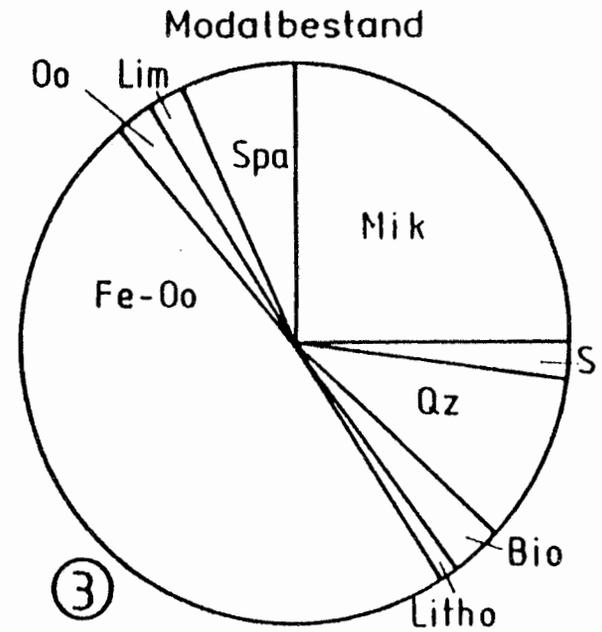
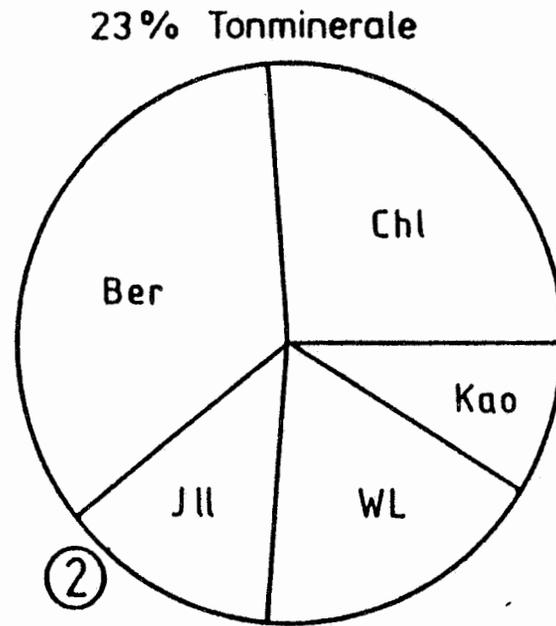
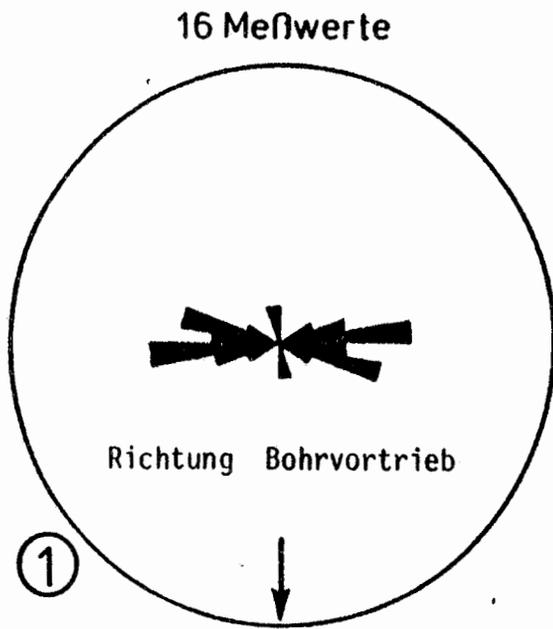


Mineralbestand



- ① Einregelung der Längsachsen von länglichen Partikeln
- ② Tonmineralanteile am Tonanteil
- ③ Anteil der Einzelkomponenten
- ④ Quantitativer Mineralbestand

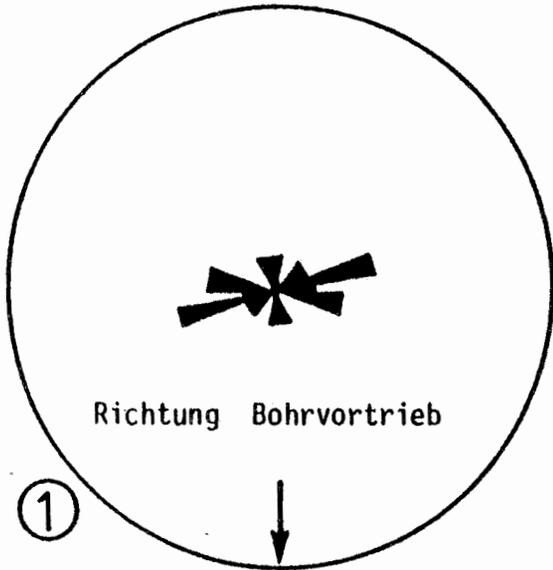
Abb. 3.29: Untersuchungsergebnisse für die Probe 3/138/008/3a (Unteres Lager)



- ① Einregelung der Längsachsen von Bioklasten
- ② Tonmineralanteile am Tonanteil
- ③ Anteil der Einzelkomponenten
- ④ Quantitativer Mineralbestand

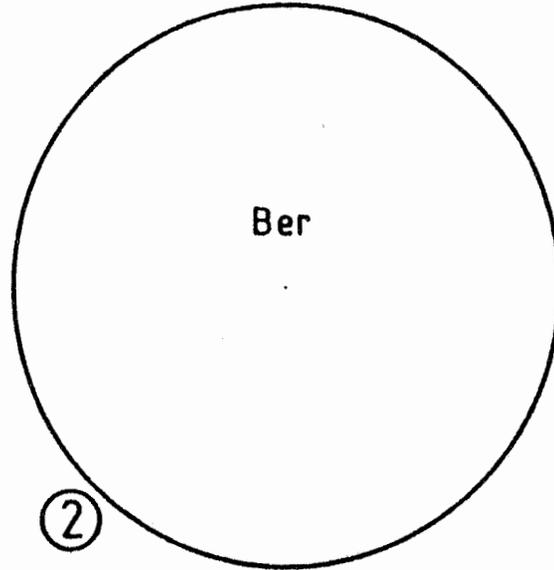
Abb. 3.30: Untersuchungsergebnisse für die Probe 3/138/009/5a (Unteres Lager)

15 Meßwerte



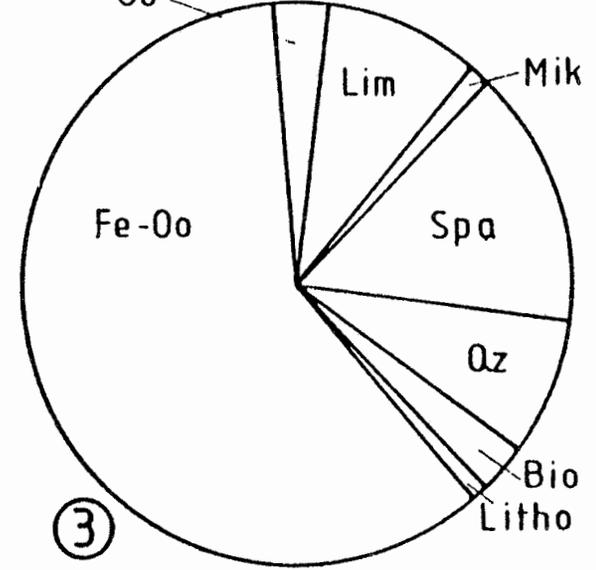
①

17% Tonminerale



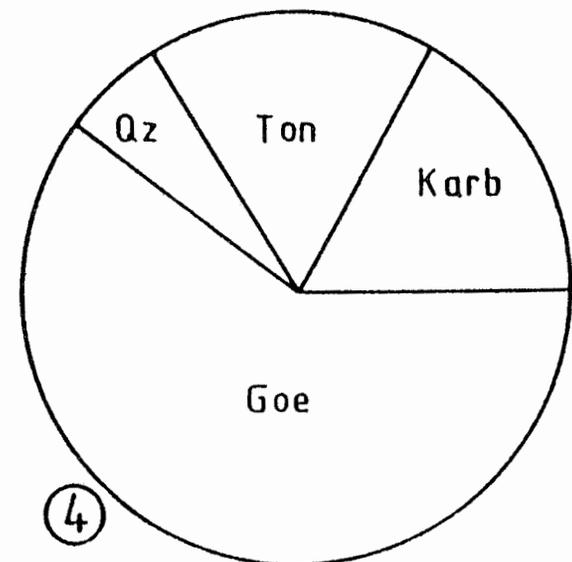
②

Modalbestand



③

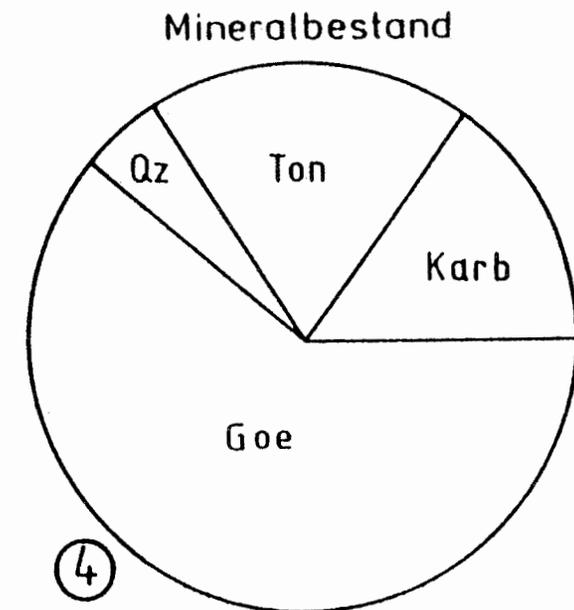
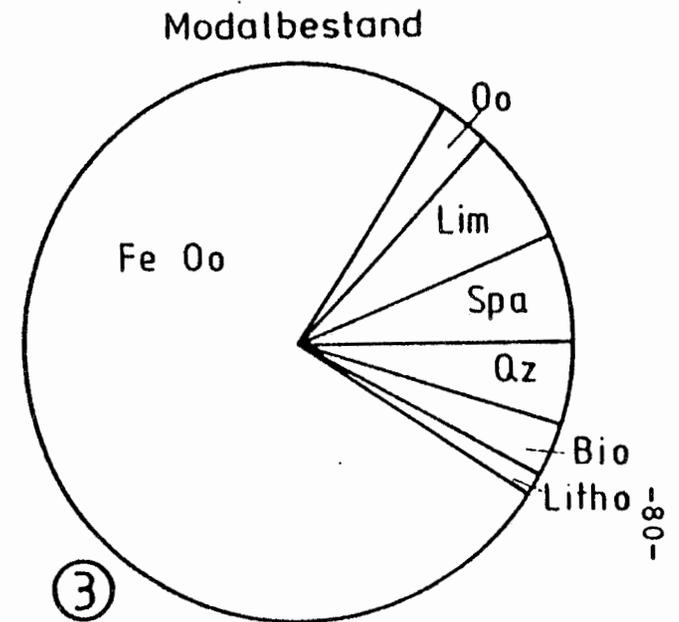
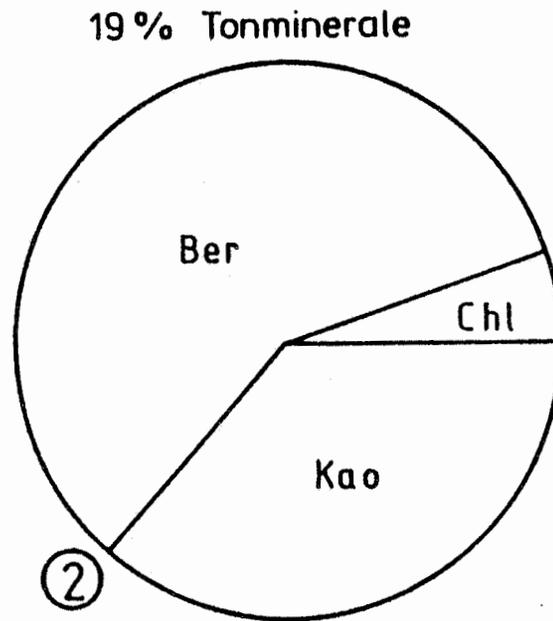
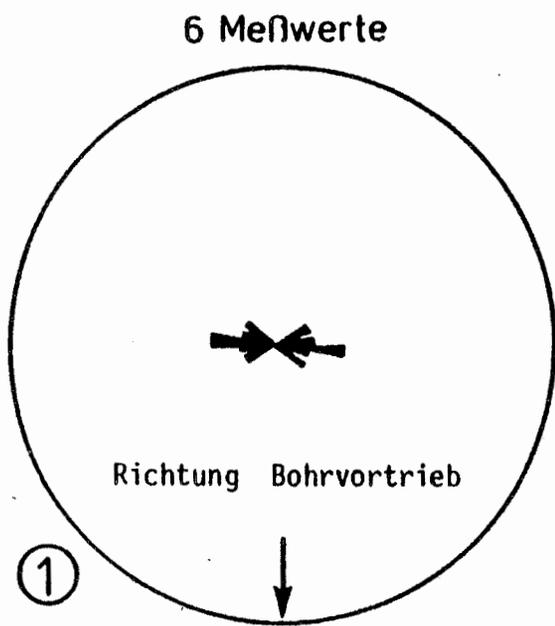
Mineralbestand



④

- ① Einregelung der Längsachsen von Bioklasten
- ② Tonmineränteile am Tonanteil
- ③ Anteil der Einzelkomponenten
- ④ Quantitativer Mineralbestand

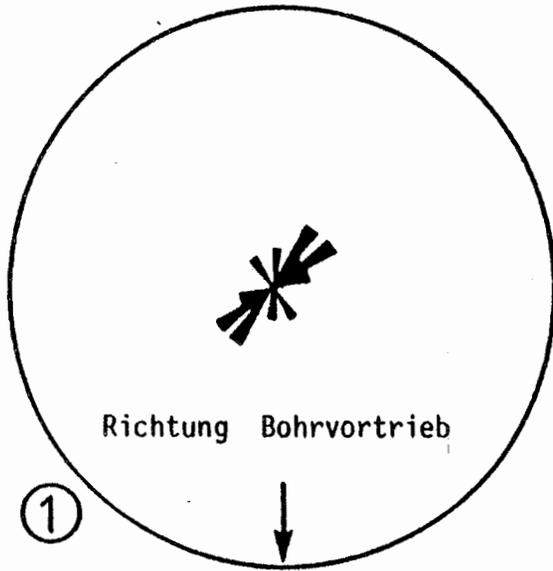
Abb. 3.31: Untersuchungsergebnisse für die Probe 3/138/010/5a (Unteres Lager)



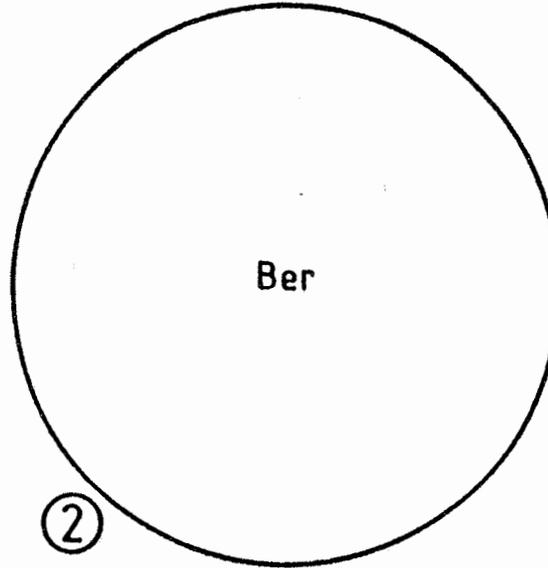
- ① Einregelung der Längsachsen von Bio- und Lithoklasten
- ② Tonmineralanteile am Tonanteil
- ③ Anteil der Einzelkomponenten
- ④ Quantitativer Mineralbestand

Abb. 3.32: Untersuchungsergebnisse für die Probe 3/138/011/4a (Unteres Lager)

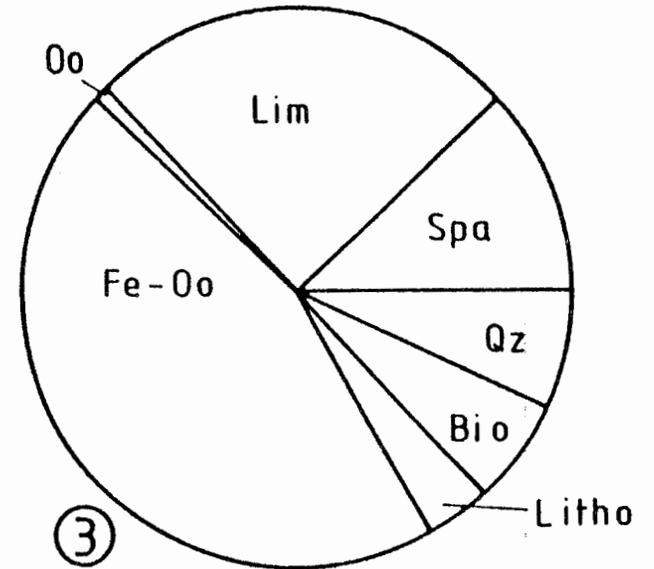
9 Meßwerte



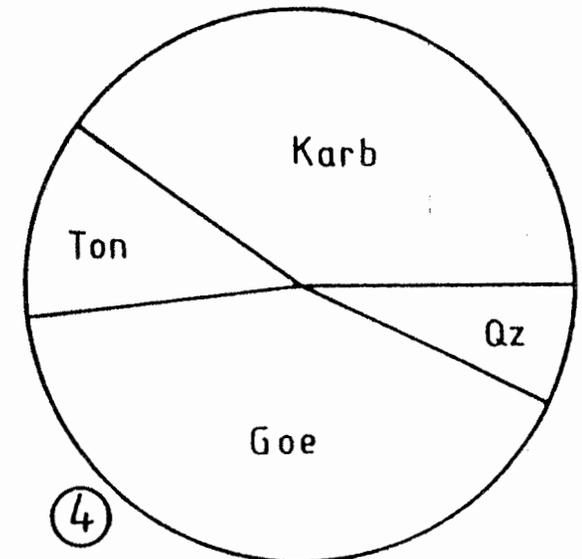
12% Tonminerale



Modalbestand



Mineralbestand



- ① Einregelung der Längsachsen von Partikel
- ② Tonmineralanteile am Tonanteil
- ③ Anteil der Einzelkomponenten
- ④ Quantitativer Mineralbestand

Abb. 3.33: Untersuchungsergebnisse für die Probe 5/96/001/FM3a (Unteres Lager)

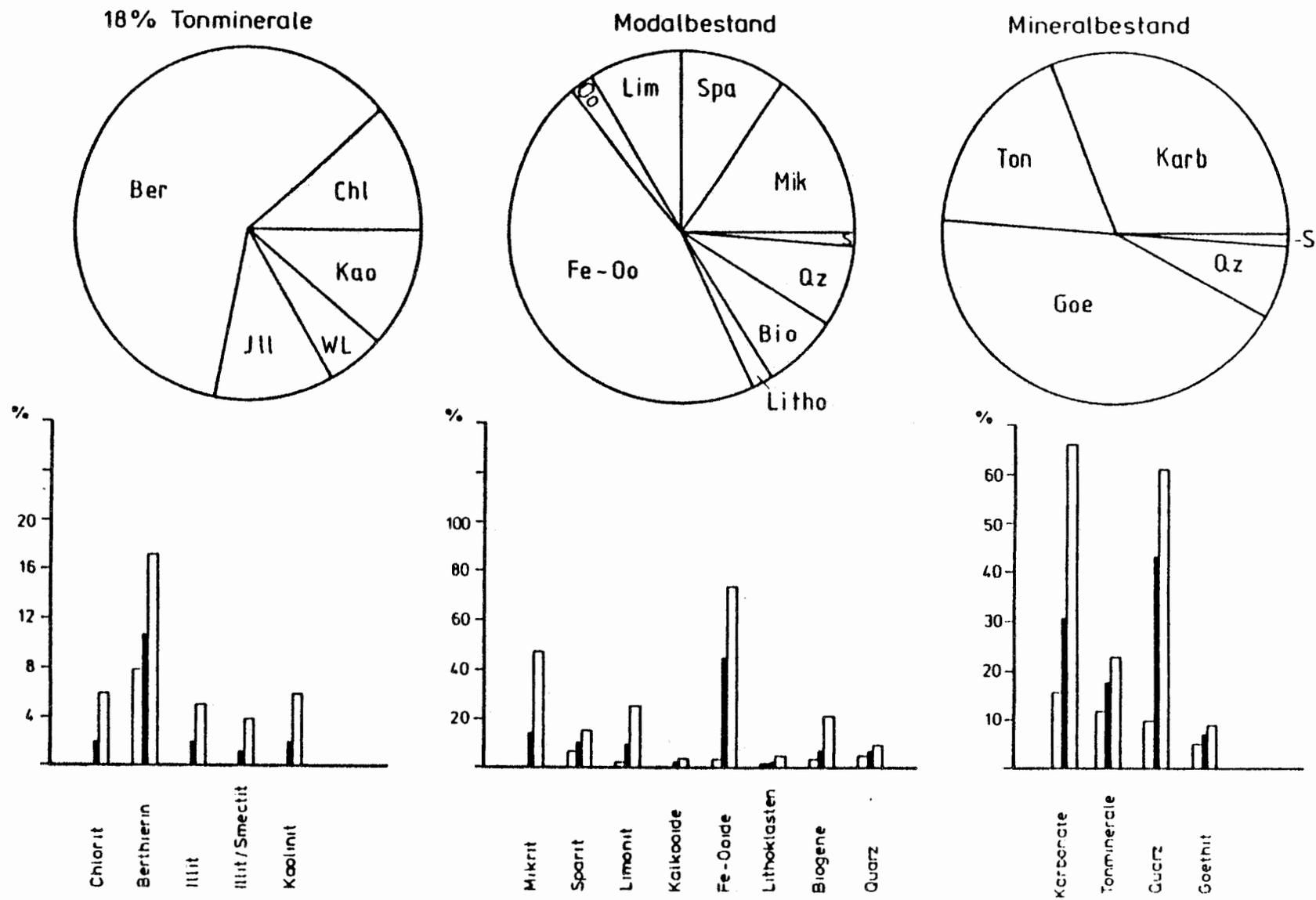


Abb. 3.34: Durchschnittliche Zusammensetzung des Unteren Lagers

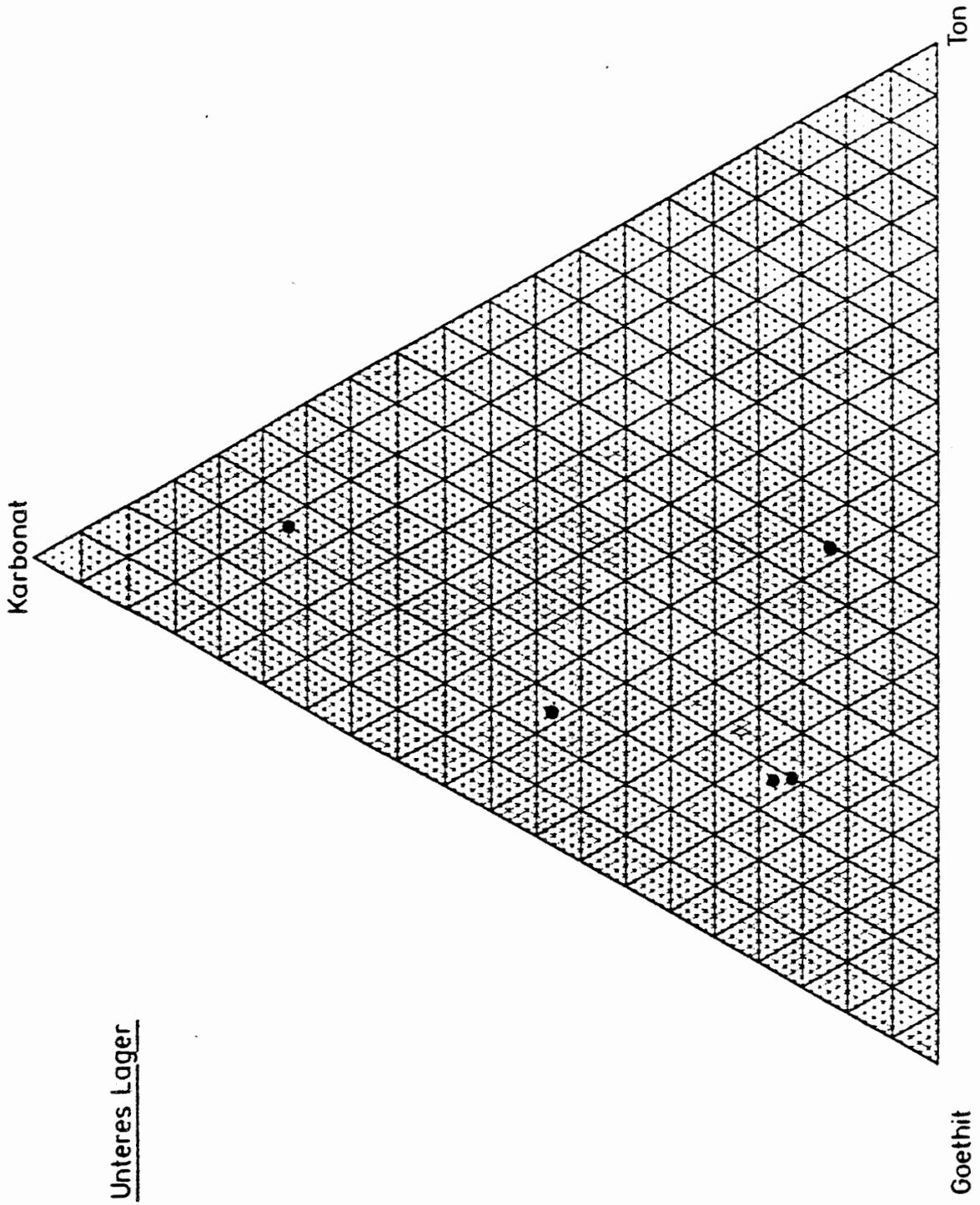


Abb. 3.35: Dreiecksdiagramm Unteres Lager

3.4.6 Erzkalk-Serie (unterer Korallenoolith)

Aus der Erzkalk-Serie des unteren Korallenooliths wurden fünf Proben mineralogisch bearbeitet (Einzelergebnisse siehe Tab. 3.8):

3/139/001/PP1a
3/139/002/8.30 m
5/95/001/0
5/95/003/FM1a
5/95/004/FM1aa

Die Gesteine dieser stratigraphischen Einheit sind Partikelkalke mit verschiedenen Gehalten an Limonit-Komponenten.

Die Matrix der Partikel ist zumeist sparitisch, aber auch Mikrit und Limonit treten auf. Die limonitische Matrix enthält häufig idiomorphe Karbonatrhomboeder. Die Grenze zwischen den verschiedenen Matrixbereichen ist zumeist scharf.

Die in dieser Matrix eingebetteten Partikel sind Kalk- und Brauneisenoide, Gerölle, Biogene und Quarzklasten. Gelegentlich sind Biogene onkoidisch umkrustet. Die Mengenanteile der einzelnen Partikel sind sehr verschieden.

Die Packungsdichte der Partikel in der Matrix beträgt ca. 50 %. Gelegentlich sind suturartige Verzahnungen zwischen den einzelnen Partikeln erkennbar.

Die Einregelung der Partikel ist gut bis nicht vorhanden, auch die Korngrößensortierung ist sehr unterschiedlich.

Bei den bestimmten Tonmineralen überwiegt meist der Berthierin, in geringen Mengen sind noch Illit, Kaolinit, Chlorit und das unregelmäßige Wechsellagerungsmineral Illit/Smectit zu finden.

Der Gesamttonmineralanteil beträgt im Mittel ca. 18 %. Die Karbonatminerale, es handelt sich überwiegend um Calcit, sind mit durchschnittlich ca. 60 % beteiligt, der Goethitanteil beträgt ca. 16 %. Der verbleibende Rest wird von Quarz, Feldspat, Pyrit und organischem Material eingenommen.

Die Gesteine können als teils limonitschüssige Kalk- oder Mergelsteine angesprochen werden.

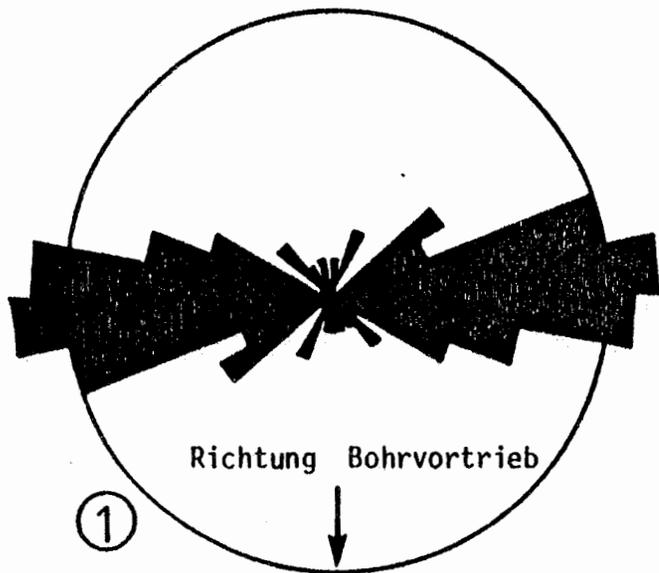
	3/139		5/95			
		001/PP1a	002/8.30 m	001/0	003/FM1a	004/FM1a
<u>Modalbestand (Vol.-%)</u>						
Matrix: Mikrit	30	30		34		
Sparit	36	4		19	60	32
Limonit		6			5	12
Partikel:						
Kalkooide	2	5		2	2	6
Brauneisenoide	5	22			15	
Lithoklasten	15	22		19	11	23
Biogene	11	6		12	21	10
Quarz	1	4		8	+	2
Feldspat opakes Material	+	1		4	1	
braune Konkretionen				2		
Onkoide					+	
Einregelung d. Partikel	gut	gut		schlecht	gut	sehr gut
Korngrößensortierung der Partikel	schlecht	gut		schlecht	gut	gut
<u>Mineralbestand (Gew.-%) +)</u>						
Calcit	57	34		55	72	53
Dolomit				4	11	14
Siderit	4					3
Quarz	1	4		8	+	2
Feldspat				+		
Pyrit	+	1		4	1	
organisches Material					2	1
Chlorit	2	3		9	1	
Berthierin	20	25			6	4
Illit	1			5		
Wechsellagerung Illit/ Smectit				9		
Smectit						
Kaolinit				6		
Goethit	15	33		+	7	23
<u>Chemische Analyse (Gew.-%)</u>						
CO ₂	27.0	27.4		26.2	36.5	30.7
C				0.2	1.5	0.6
S	0.62	0.50		2.21	0.30	0.21

Tab. 3.8: Mineralogische Untersuchungsergebnisse^{+) der Probe aus der Erzkalkserie (unterer Korallenoolith)}

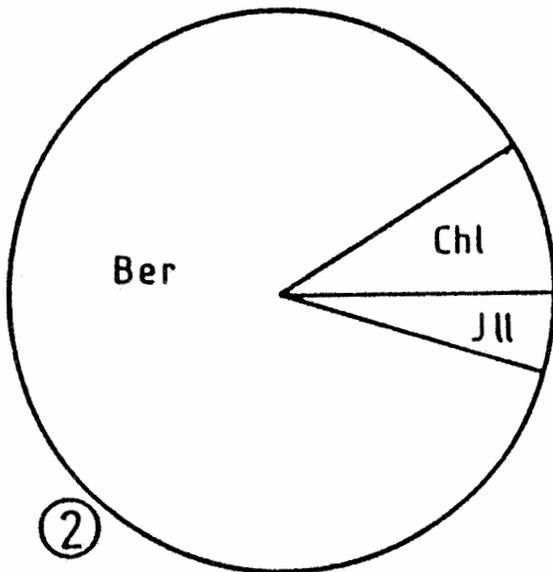
+) die Daten (Mittelwerte) sind über Standards rechnerisch ermittelt, daher nur als halbquantitativ zu betrachten

Die Ergebnisse der Untersuchungen an den Einzelproben sind in nachfolgenden Abbildungen 3.36 bis 3.40, die aus den Einzelergebnissen berechnete durchschnittliche Zusammensetzung in Abbildung 3.41 graphisch dargestellt. Die auf 100 % normierten drei Hauptkomponenten des Mineralbestandes der Einzelproben sind in Abbildung 3.42 im Dreieck Ton, Karbonat und Goethit dargestellt.

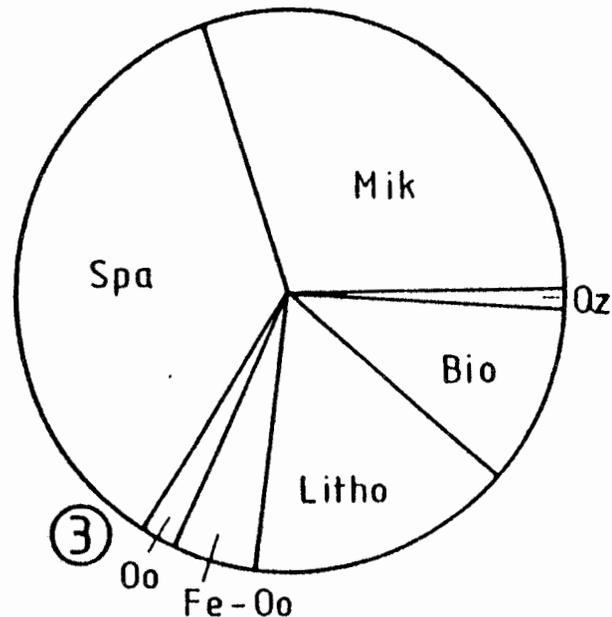
54 Meßwerte



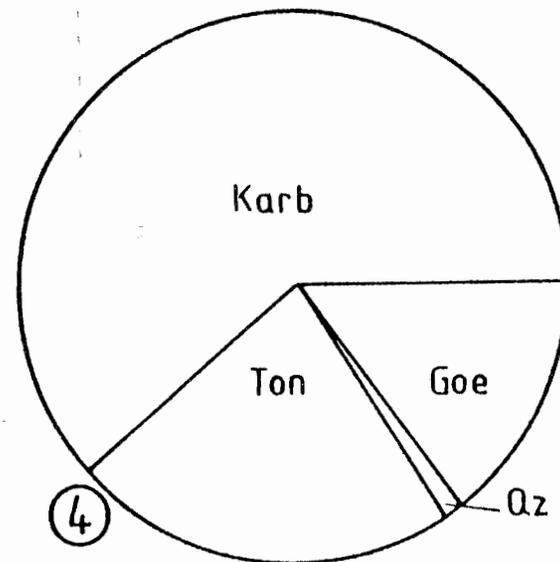
23% Tonminerale



Modalbestand



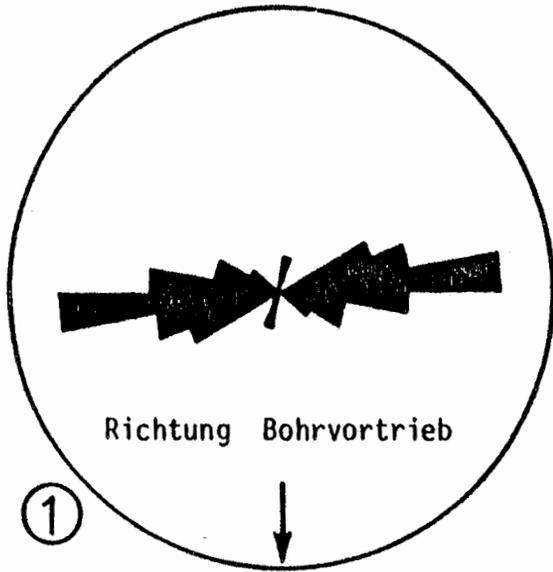
Mineralbestand



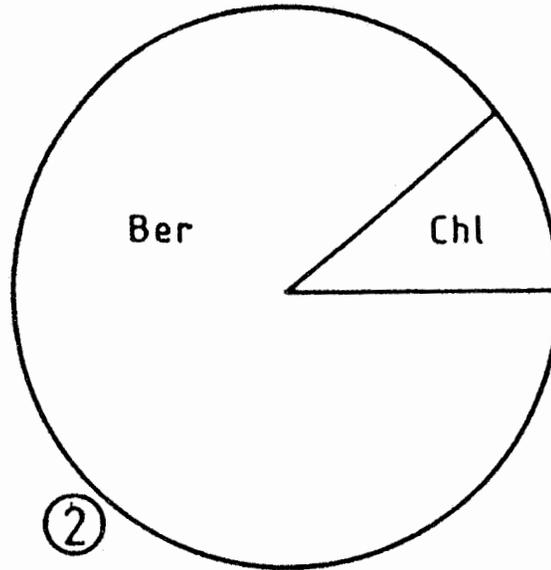
- ① Einregelung der Längsachsen von Bio- und Lithoklasten
- ② Tonmineralanteile am Tonanteil
- ③ Anteil der Einzelkomponenten
- ④ Quantitativer Mineralbestand

3.36: Untersuchungsergebnisse für die Probe
3/139/001/PP1a (Erzkalkserie)

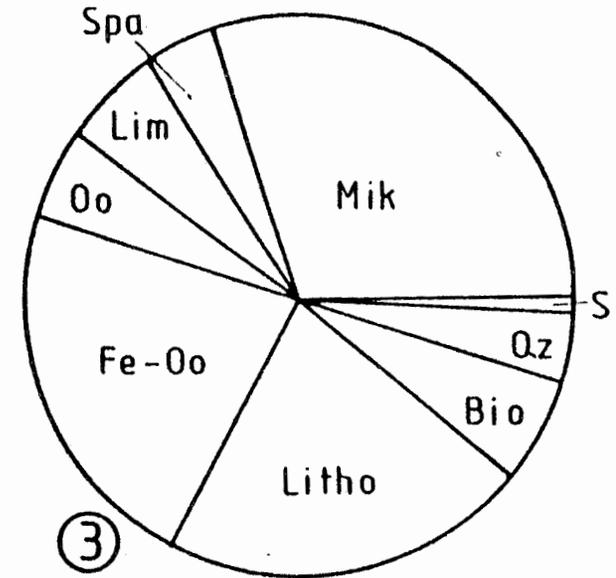
24 Meßwerte



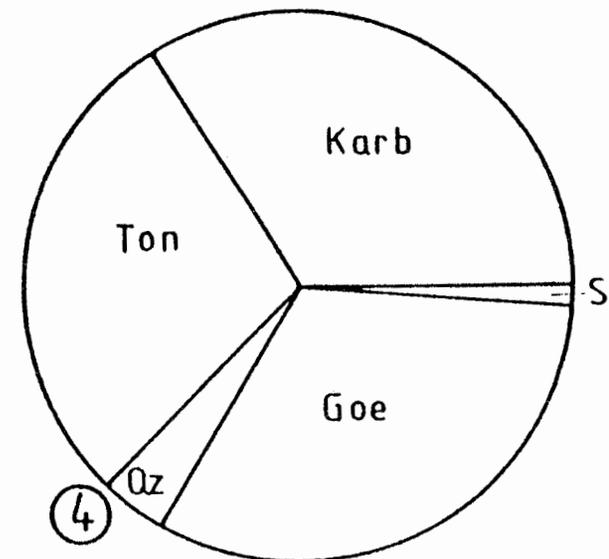
28% Tonminerale



Modalbestand



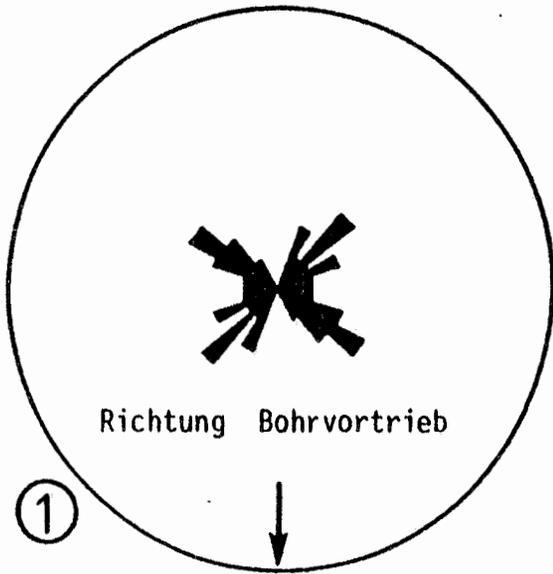
Mineralbestand



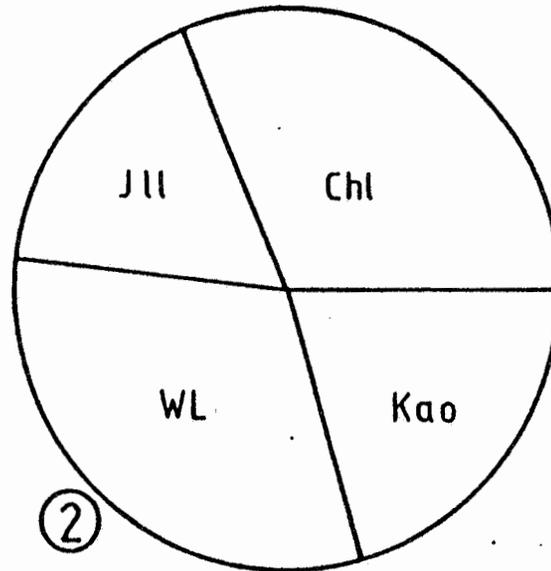
- ① Einregelung der Längsachsen von Bioklasten und länglichen Ooiden
- ② Tonmineralanteile am Tonanteil
- ③ Anteil der Einzelkomponenten
- ④ Quantitativer Mineralbestand

37: Untersuchungsergebnisse für die Probe 3/139/002 /
3/139/002/8,30m (Erzkalkserie)

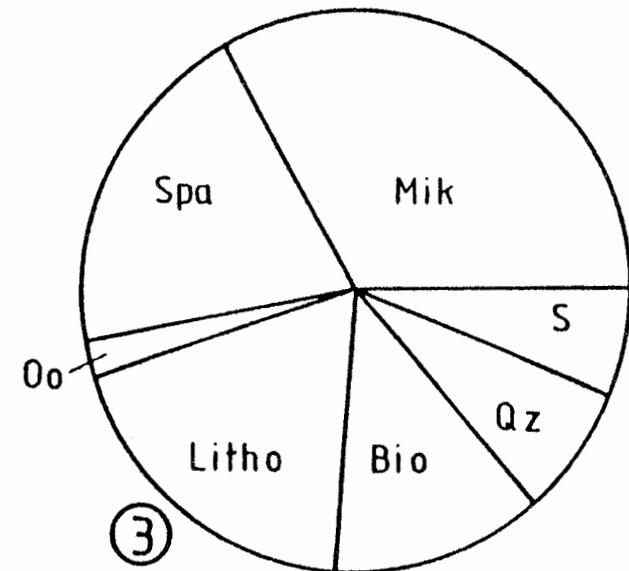
21 Meßwerte



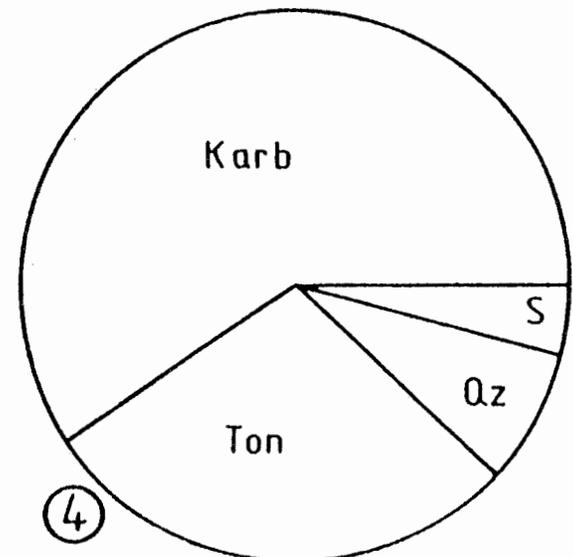
32% Tonminerale



Modalbestand



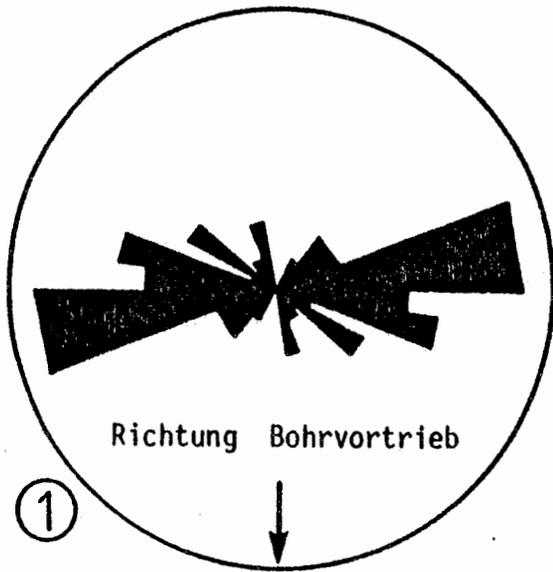
Mineralbestand



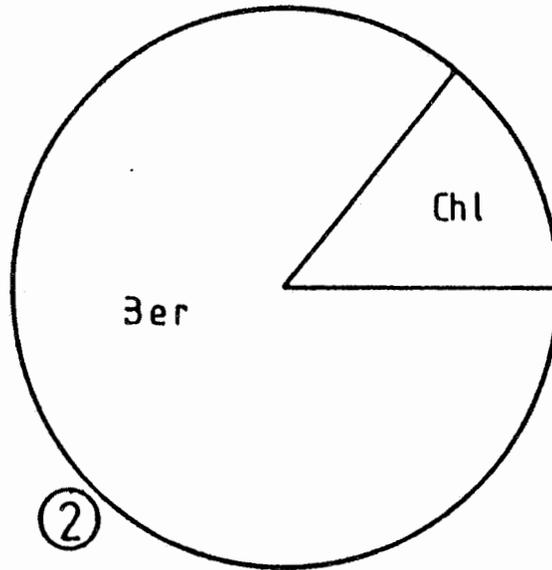
- ① Einregelung der Längsachsen von Partikeln
- ② Tonmineralanteile am Tonanteil
- ③ Anteil der Einzelkomponenten
- ④ Quantitativer Mineralbestand

Abb. 3.38: Untersuchungsergebnisse für die Probe 5/95/001/0 (Erzkalkserie)

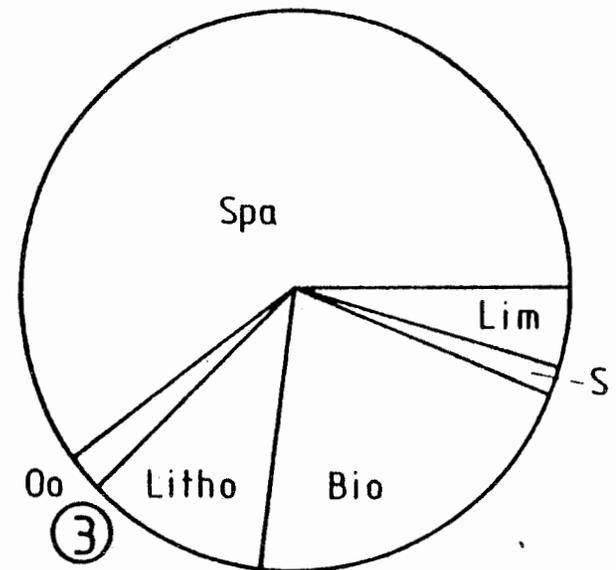
40 Meßwerte



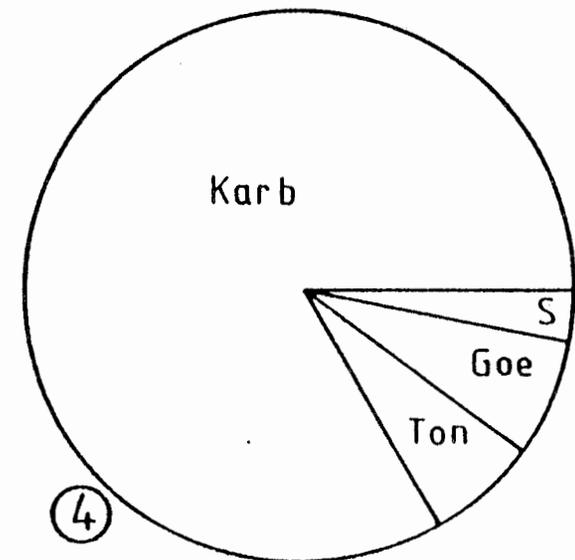
7% Tonminerale



Modalbestand



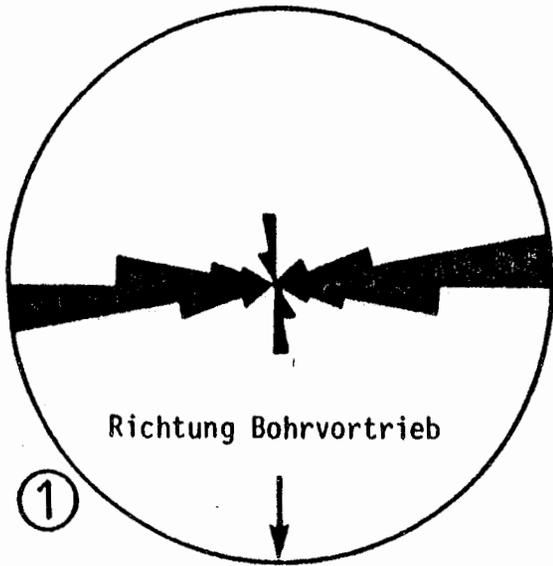
Mineralbestand



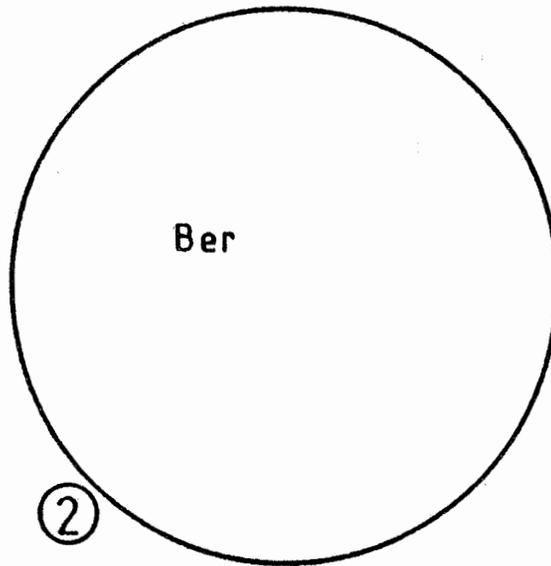
- ① Einregelung der Längsachsen von Partikeln
- ② Tonmineralanteile am Tonanteil
- ③ Anteil der Einzelkomponenten
- ④ Quantitativer Mineralbestand

Abb. 3.39: Untersuchungsergebnisse für die Probe 5/95/003/FM1a (Erzkalkserie)

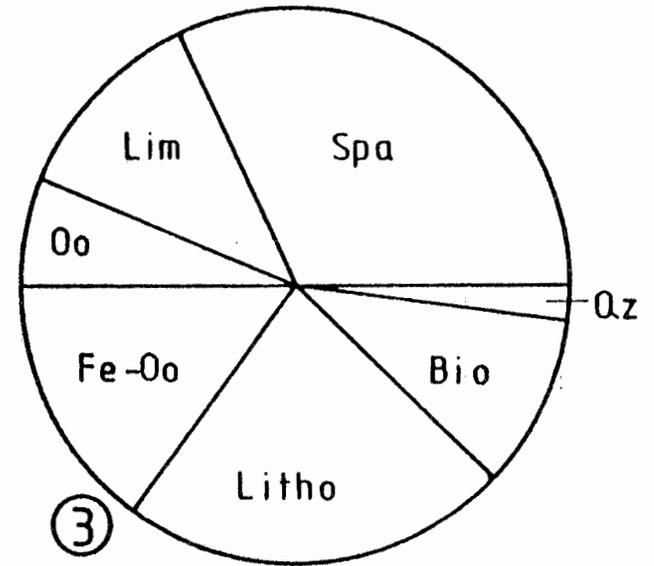
26 Meßwerte



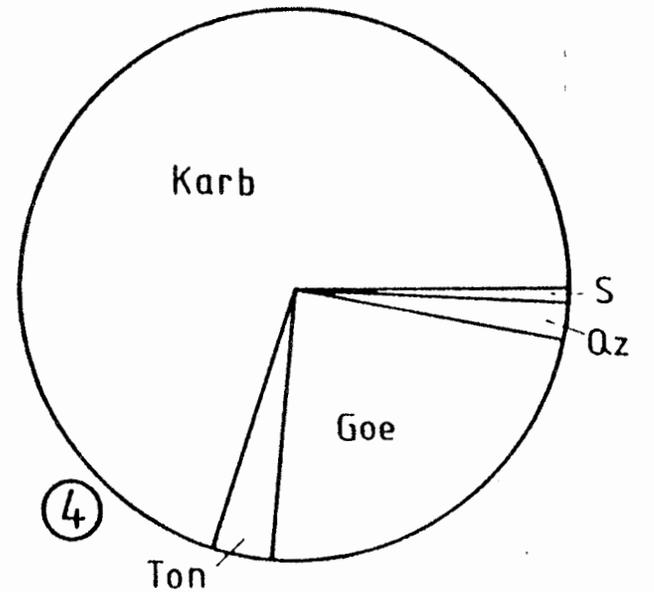
4% Tonminerale



Modalbestand



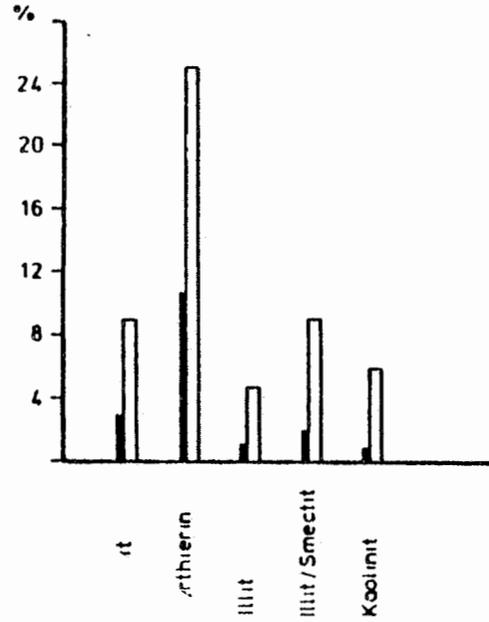
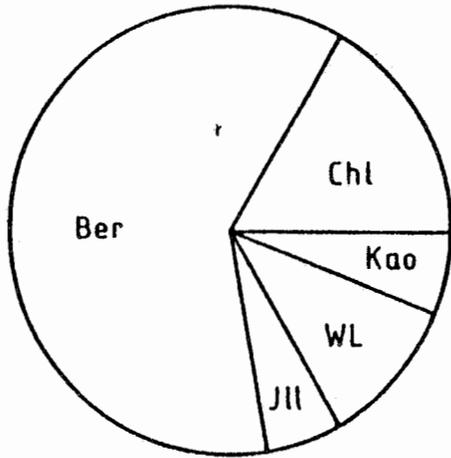
Mineralbestand



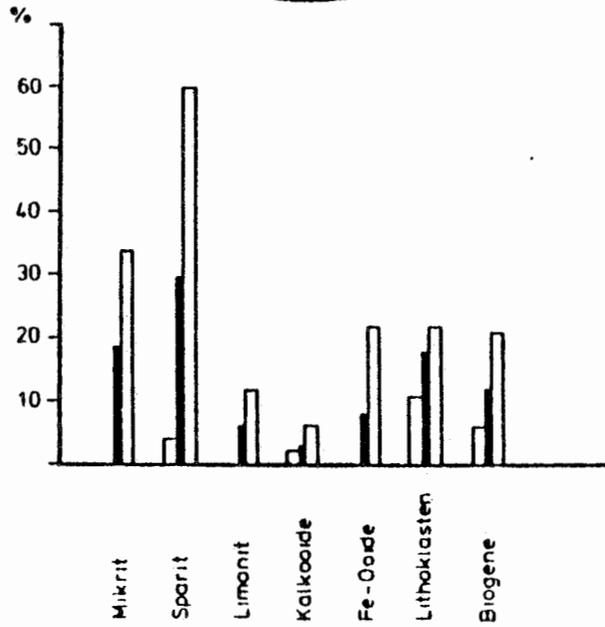
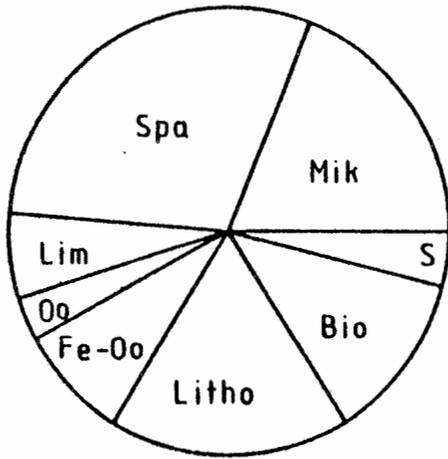
- ① Einregelung der Längsachsen von Partikeln
- ② Tonmineralanteile am Tonanteil
- ③ Anteil der Einzelkomponenten
- ④ Quantitativer Mineralbestand

Abb. 3.40: Untersuchungsergebnisse für die Probe 5/96/004/FM1aa (Erzkalkserie)

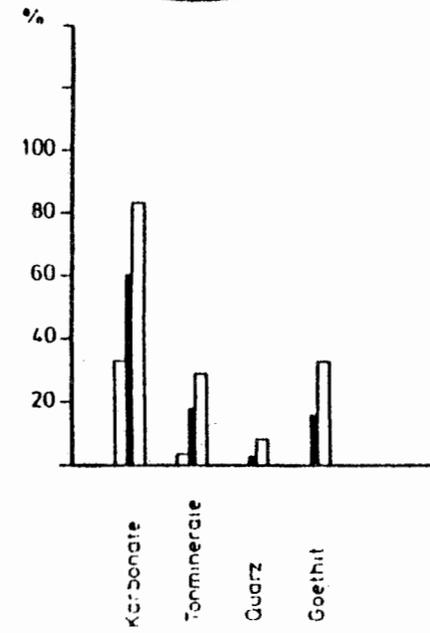
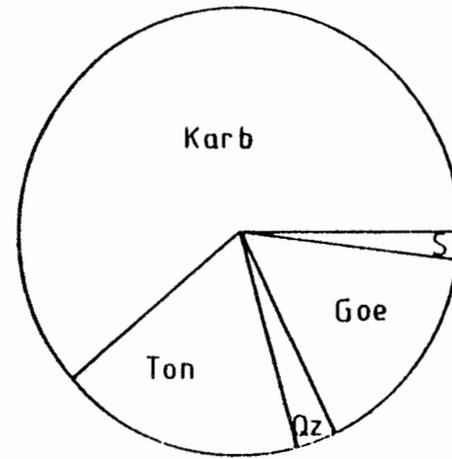
18% Tonminerale



Modalbestand



Mineralbestand



hchnittliche Zusammensetzung der Erzkalkserie

Erzkalk - Serie

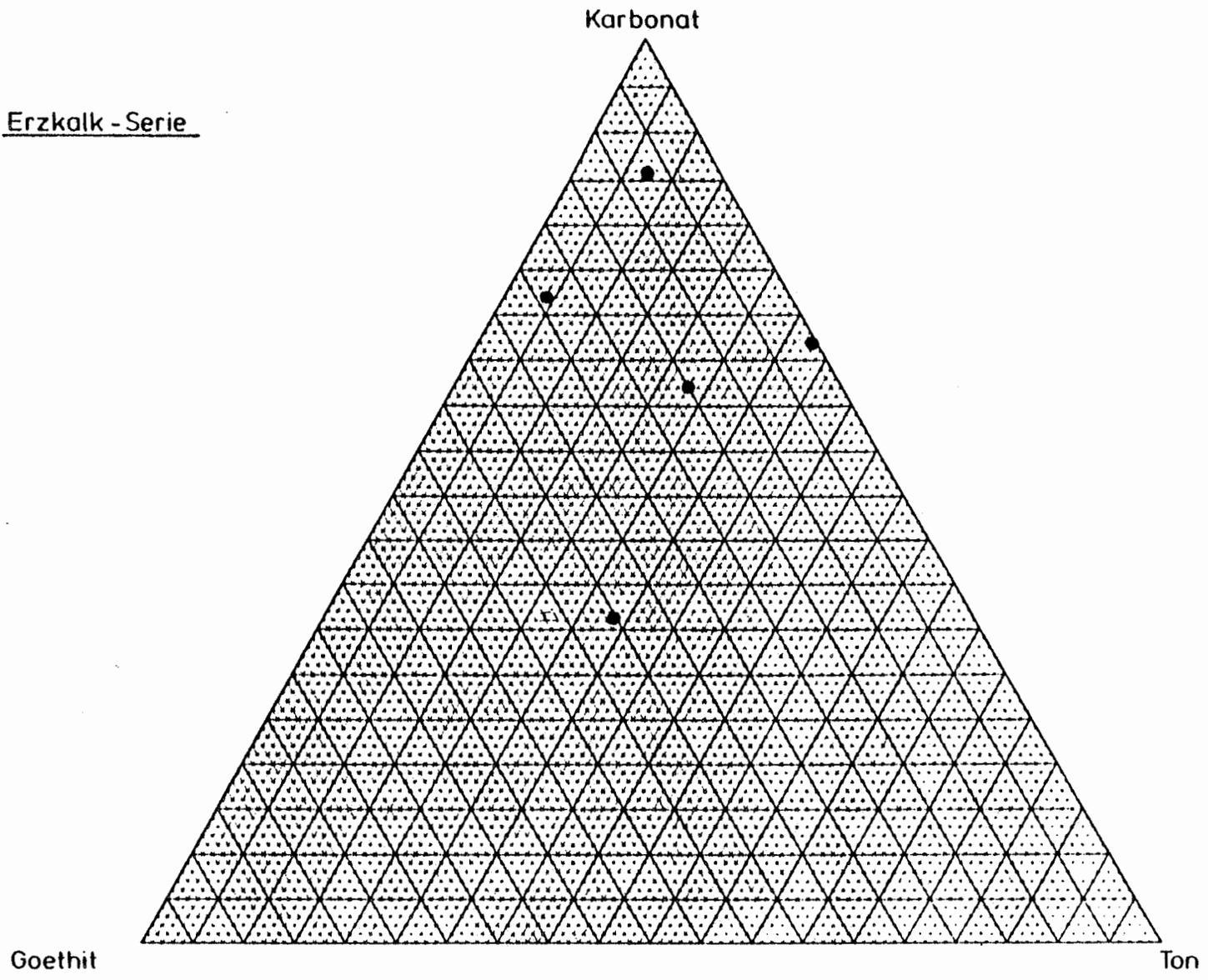


Abb. 3.41: Dreiecksdiagramm Erzalk-Serie

3.4.7 Fladentonsteine (unterer Korallenoolith)

Aus der Fladentonsteinserie wurden vier Einzelproben mineralogisch bearbeitet (Einzelergebnisse siehe Tab. 3.9):

3/139/003/PP2b

3/139/004/Fla

5/95/005/PP1a

5/95/007/FM3b

Alle diese Gesteine sind Mergelsteine mit einer mikritischen Matrix und wechselnden Anteilen verschiedener Partikel.

Die mikritische Matrix, die im Dünnschliff braun gefärbt ist, besteht aus einem feinkörnigen Gemenge aus Ton- und Karbonatmineralen, hinzu treten feinkörnige Quarzklasten (meist kleiner 0.1 mm), Pyritschnüre und teilweise reichlich Asphalt.

Die Partikel, die in dieser feinkörnigen Matrix eingebettet sind, haben einen mittleren Durchmesser von 0.6 mm. Ihre Korngrößensortierung ist gut bis mäßig. In wechselnden Anteilen können Kalkooide, Biogene, Gerölle und Quarz beobachtet werden. Ihre Verteilung in der Matrix ist nicht homogen, sondern es liegen meist knollig unregelmäßige, teilweise auch lagige Anreicherungsgebiete vor. So sind in der Probe 3/139/003/PP2b keine größeren Partikel zu beobachten. Hier liegt ein Sandmergel mit schwach erkennbarer Schichtung vor. Die Probe 3/139/004/Fla dagegen zeigt eine aus feinkörnigem Karbonat bestehende Knolle mit sehr wenigen Partikeln, diese ist scharf begrenzt eingebettet in einen sehr partikelreichen Mikritkalk. In dieser Knolle sind die Partikel von einem Sparitsaum umgeben ("gelaugt"). Eine Verzahnung der Partikel ist infolge von Karbonatminerallösung in partikelreichen Anteilen des Gesteins häufig zu beobachten.

Eine Einregelung der Partikel ist meist deutlich erkennbar.

Bei den röntgenographisch bestimmten Tonmineralen überwiegen Illit und das unregelmäßige Wechsellagerungsmineral Illit/Smectit. Dazu treten in unterschiedlichen Mengen Chlorit und Kaolinit. Berthierin ist in diesen Gesteinen nicht zu beobachten. Der durchschnittliche Tonmineralanteil beträgt ca. 40 %. Quarz ist mit ca. 4 % beteiligt, den Rest machen Karbonatminerale aus. Goethit tritt nicht auf.

Bei allen Proben handelt es sich um Mergelsteine (stark tonig bis stark karbonatisch).

3/139

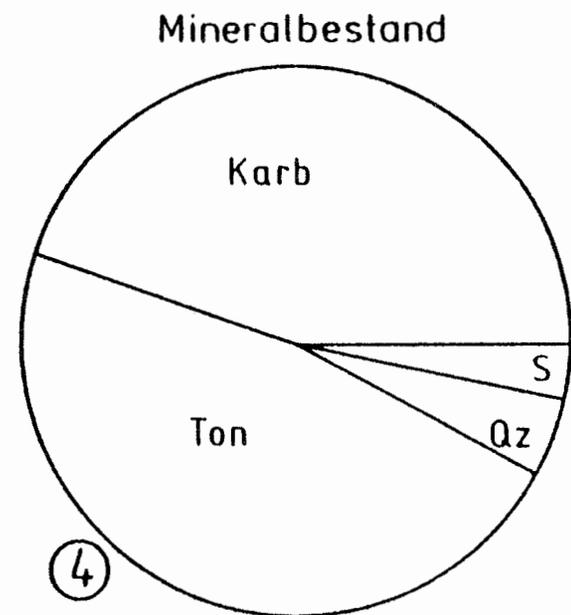
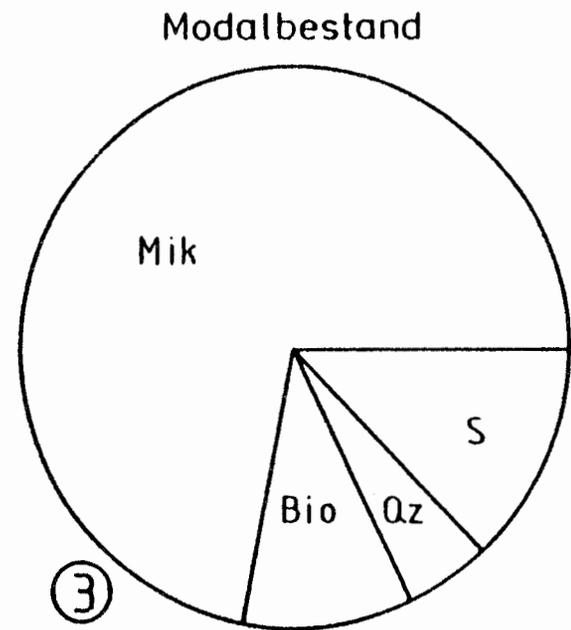
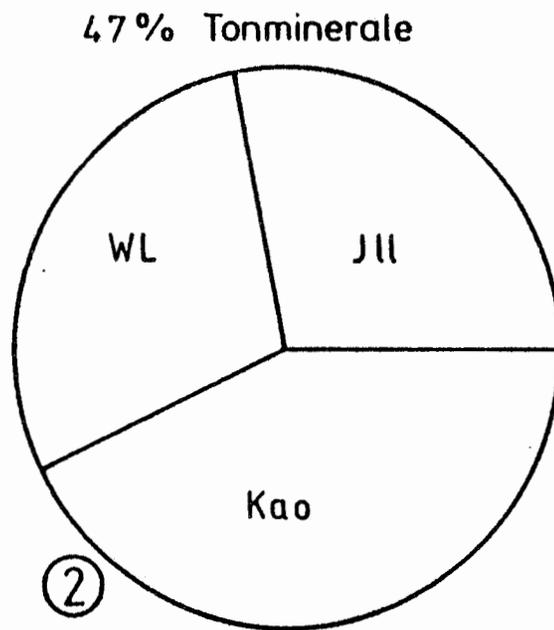
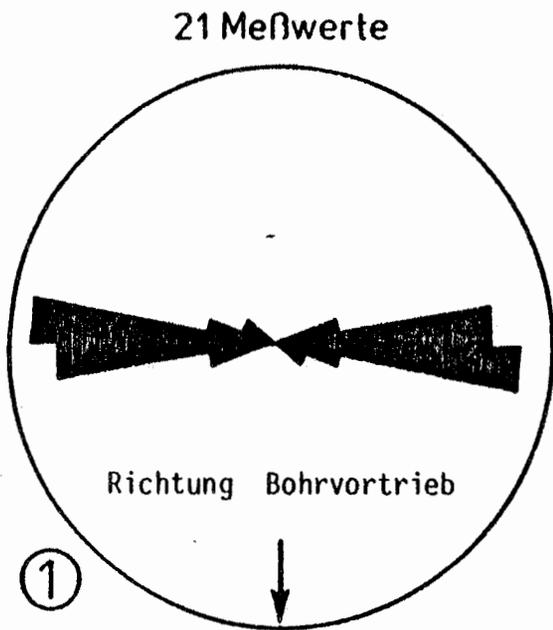
5/95

	003/PP2b	004/F1a	005/PP1a	007/FM3b
<u>Modalbestand (Vol.-%)</u>				
Matrix: Mikrit	72	54	60	77
Sparit		8	1	+
Limonit				
Partikel: Kalkooide		10	9	5
Brauneisenoide				
Lithoklasten		15	13	4
Biogene	10	8	11	10
Quarz	5	3	2	4
Feldspat				
opakes Material	3	2	4	+
braune Konkretionen	10	+	+	+
Einregelung der Partikel	sehr gut	keine	gut	gut
Korngrößensortierung der Partikel	gut	gut	mäßig	gut
<u>Mineralbestand (Gew.-%)+</u>				
Calcit	45	39	52	55
Dolomit				
Siderit		20		
Quarz	5	3	5	4
Feldspat				
Pyrit	2	2	4	2
organisches Material	1	2	1	+
Chlorit		6	6	9
Berthierin				
Illit	13	12	10	8
Wechselagerung Illit/Smectit	15	8	16	11
Smectit				
Kaolinit	19	8	7	11
Goethit				
<u>Chemische Analyse (Gew.-%)</u>				
CO ₂	14.9	26.0	22.3	24.4
C	0.5	1.3	0.5	
S	0.9	1.1	1.85	1.04

Tab. 3.9: Mineralogische Untersuchungsergebnisse[†] der Proben av Fladentonsteinserie (unterer Korallenoolith)

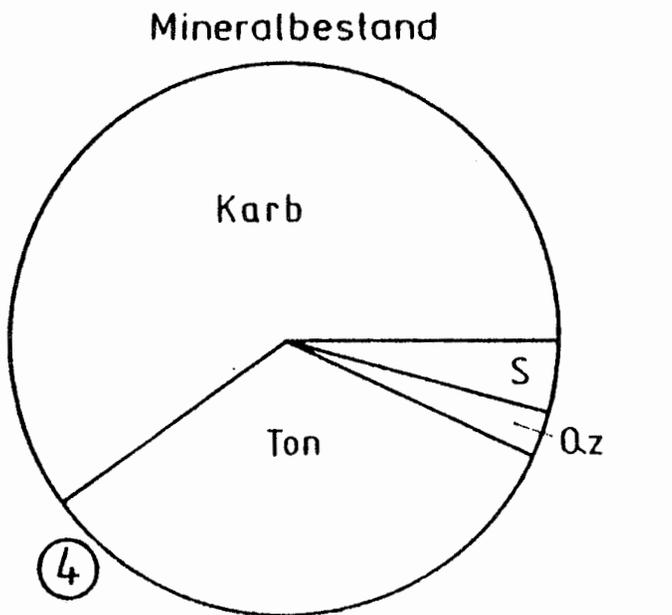
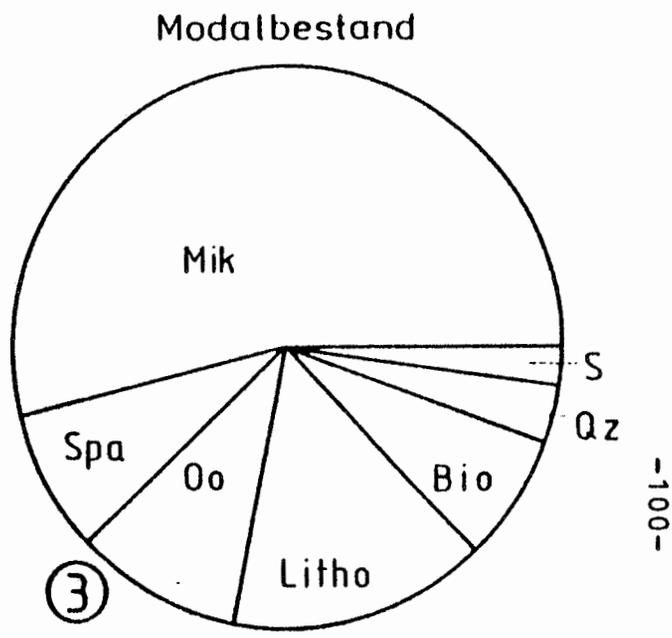
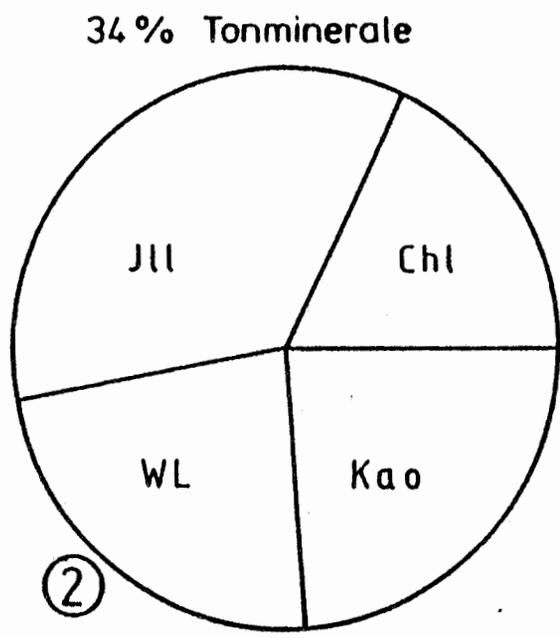
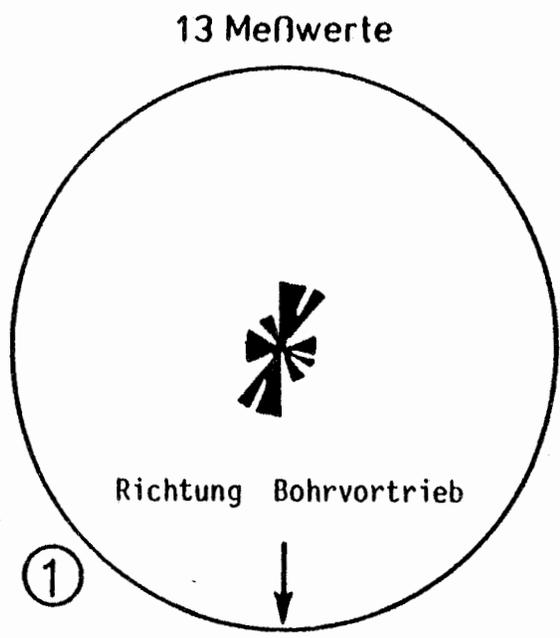
+) die Daten (Mittelwerte) sind über Standards rechnerisch ermittelt daher nur als halbquantitativ zu betrachten

Die Ergebnisse der Untersuchungen an den Einzelproben sind in nachfolgenden Abbildungen 3.42 bis 3.45, die aus den Einzelergebnissen berechnete durchschnittliche Zusammensetzung in Abbildung 3.46 graphisch dargestellt. Die auf 100 % normierten drei Hauptkomponenten des Mineralbestandes der Einzelproben sind in Abbildung 3.47 im Dreieck Ton, Karbonat und Sand dargestellt.



- ① Einregelung der Längsachsen von Bioklasten
- ② Tonmineralanteile am Tonanteil
- ③ Anteil der Einzelkomponenten
- ④ Quantitativer Mineralbestand

Abb. 3.42: Untersuchungsergebnisse für die Probe 3/139/003/PP2b. (Fladentonsteinserie)

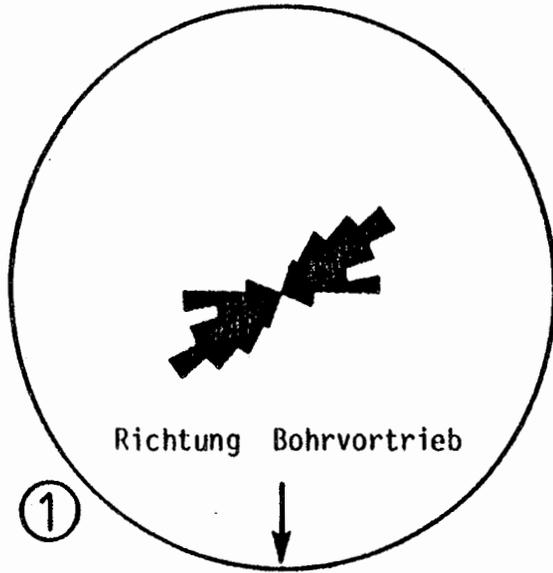


-100-

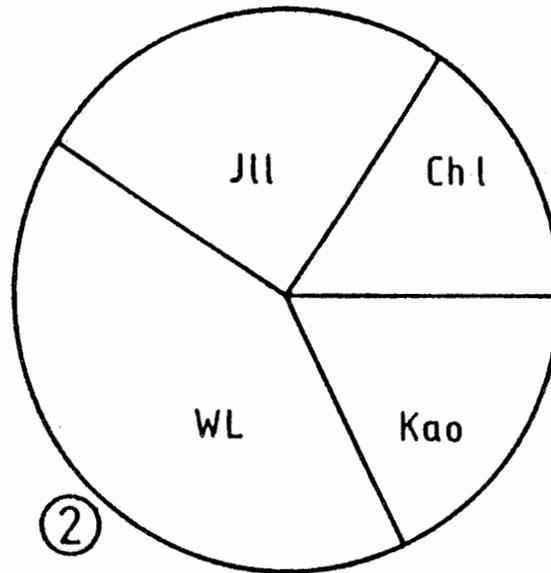
- ① Einregelung der Längsachsen von Lithoklasten
- ② Tonmineralanteile am Tonanteil
- ③ Anteil der Einzelkomponenten
- ④ Quantitativer Mineralbestand

Abb. 3.43: Untersuchungsergebnisse für die Probe 3/139/004/F1a (Fladentonsteinserie)

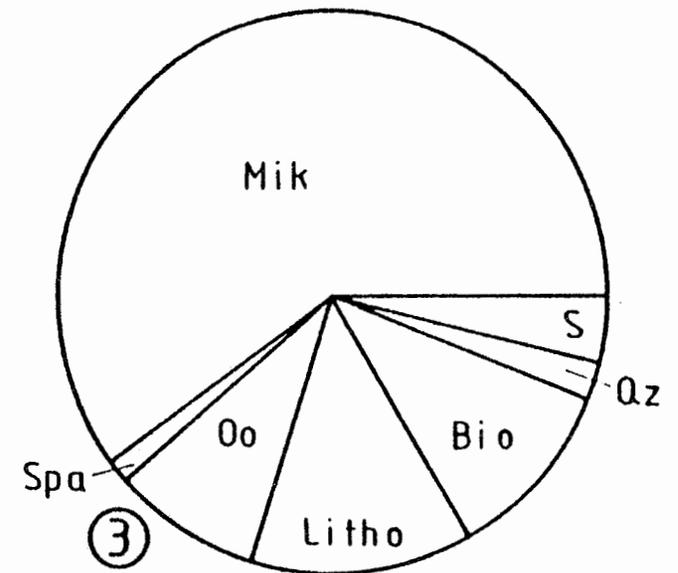
20 Meßwerte



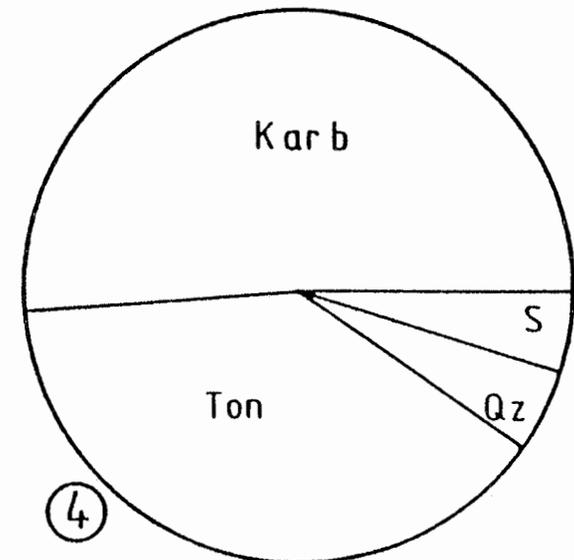
39% Tonminerale



Modalbestand



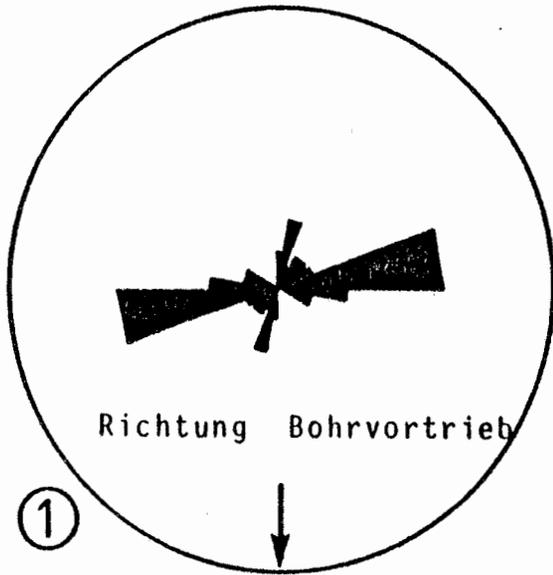
Mineralbestand



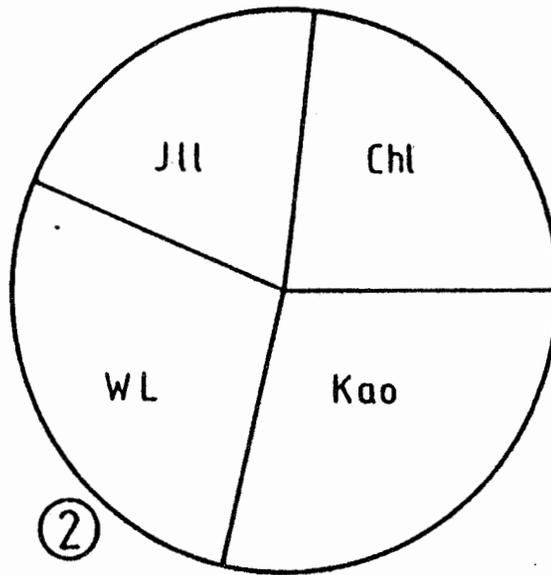
- ① Einregelung der Längsachsen von Partikeln
- ② Tonmineralanteile am Tonanteil
- ③ Anteil der Einzelkomponenten
- ④ Quantitativer Mineralbestand

Abb. 3.44: Untersuchungsergebnisse für die Probe 5/95/005/PP1a (Fladentonsteinserie)

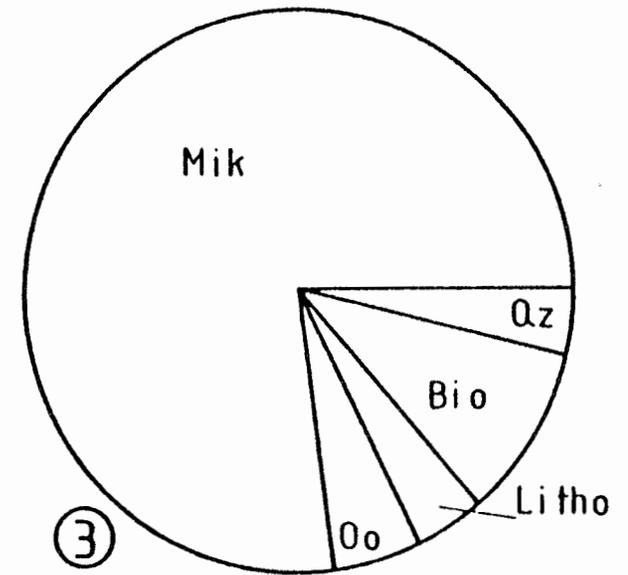
20 Meßwerte



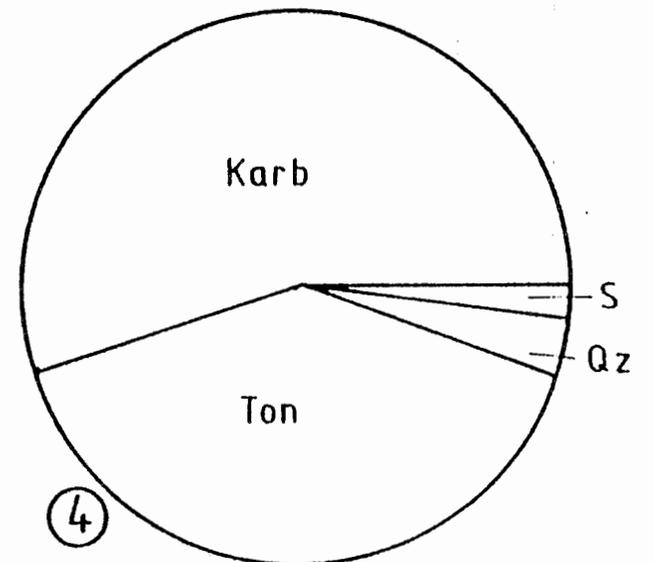
39% Tonminerale



Modalbestand



Mineralbestand



- ① Einregelung der Längsachsen von Partikeln
- ② Tonmineralanteile am Tonanteil
- ③ Anteil der Einzelkomponenten
- ④ Quantitativer Mineralbestand

Abb. 3.45: Untersuchungsergebnisse für die Probe 5/95/007/FM3b (Fladentonsteinserie)

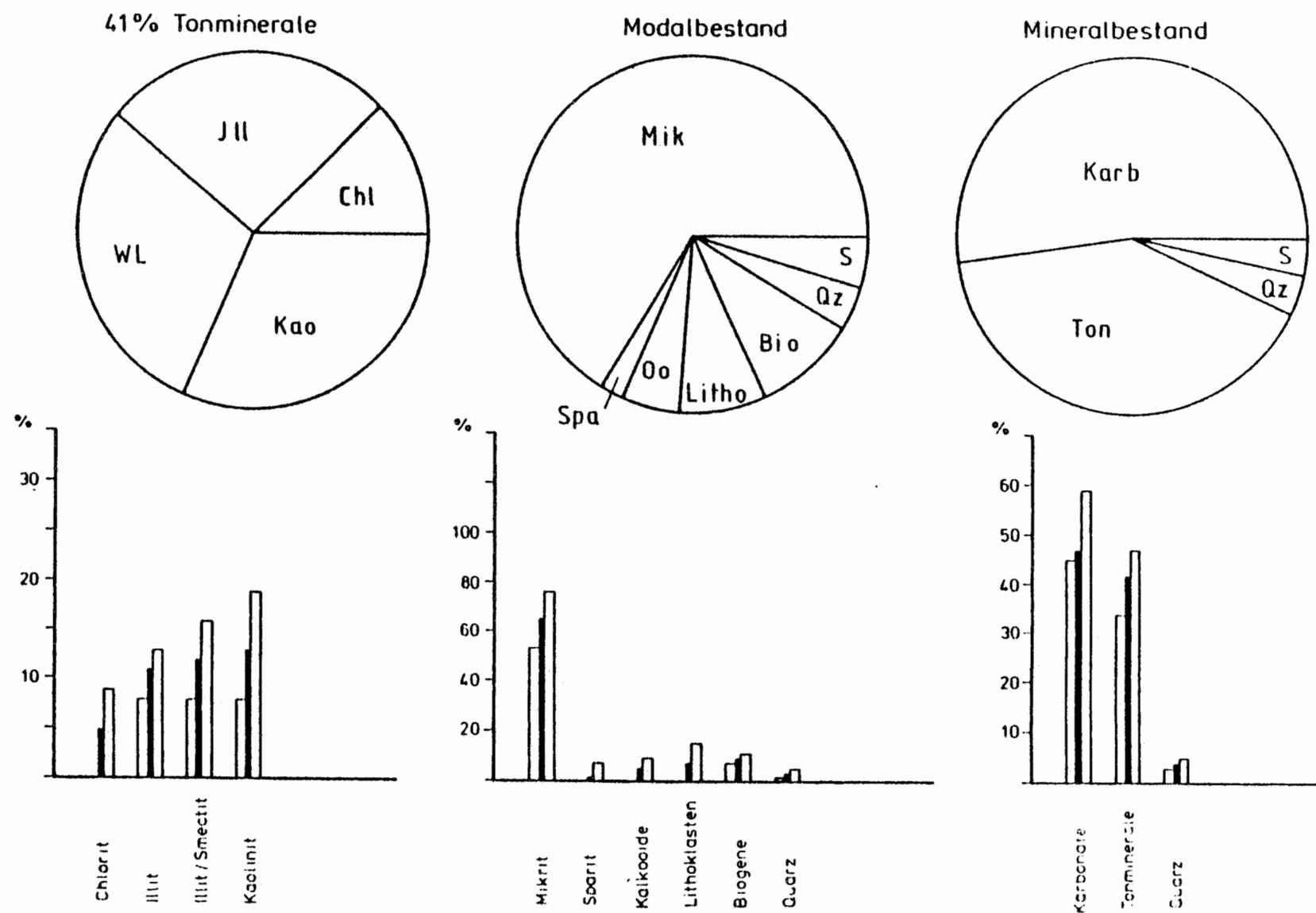


Abb. 3.46: Durchschnittliche Zusammensetzung der Fladentonsteinserie

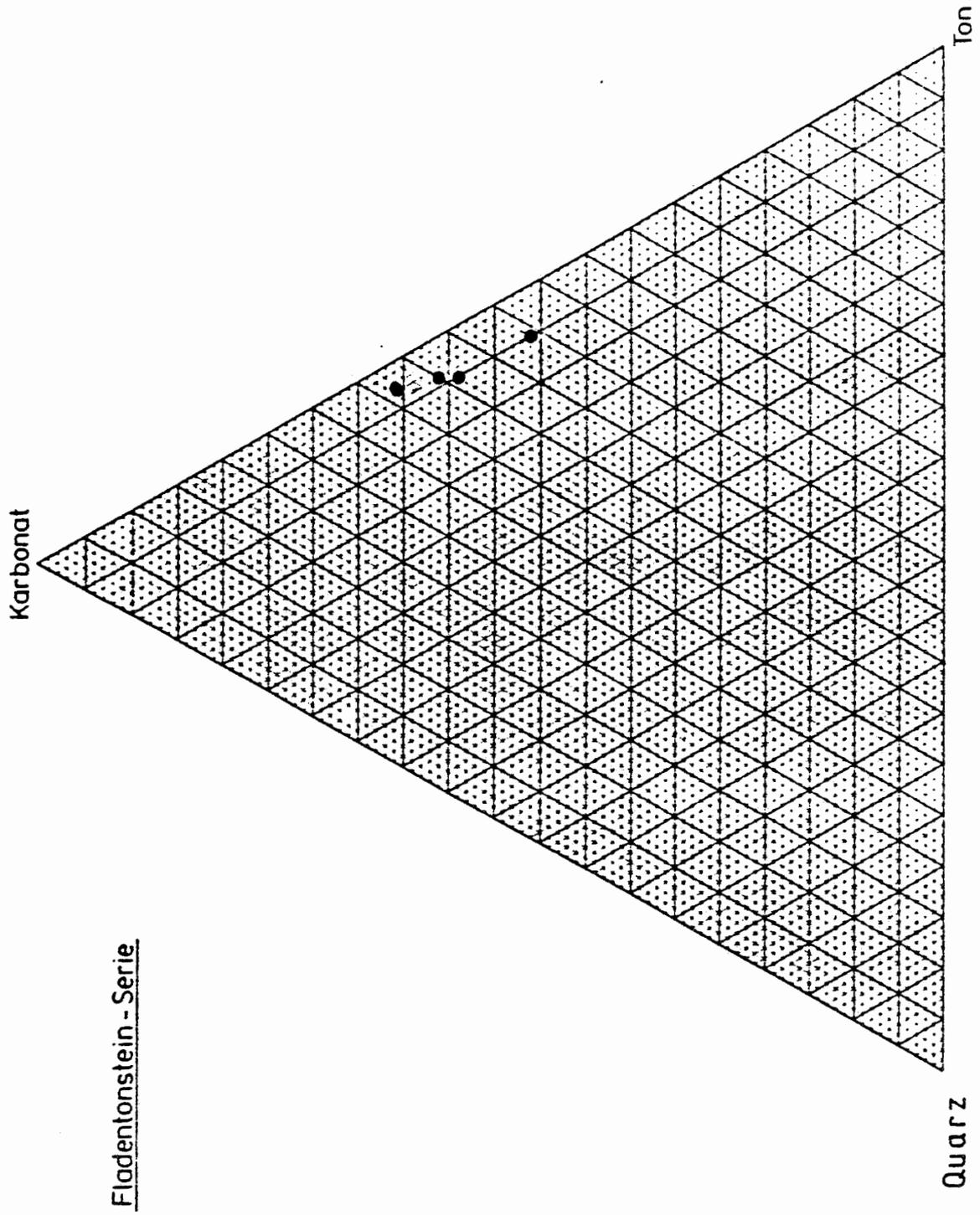


Abb. 3.47: Dreiecksdiagramm Fladentonstein-Serie

3.4.8 Trümmerkalkserie (unterer Korallenoolith)

Aus der Trümmerkalk-Serie des unteren Korallenoolith sind drei Proben mineralogisch untersucht worden (Einzelergebnisse siehe Tab. 3.10):

3/139/005/PP2a

3/139/006/F4a

3/139/007/PP1a

Alle untersuchten Gesteine sind Partikelkalke, bei denen gut gerundete Gesteinstrümmer dominant vertreten sind. Ihr Anteil beträgt bei den untersuchten Proben zwischen 34 und 43 %. Diese Gerölle sind zumeist Partikelkalke mit deutlich erkennbaren Biogenen, Kalkooiden und Quarz in einer zumeist mikritischen Matrix. Der mittlere Durchmesser beträgt ca. 1-2 mm. Weitere Partikel, die in geringeren Mengen auftreten, sind Biogene, Kalkoide und Quarzklasten. In der Probe 3/139/006/F4a treten auch relativ scharf begrenzte tonmineralreiche Bereiche ("Mikrit") auf, die ebenfalls als Partikel angesprochen werden können.

Die Matrix der Partikel besteht in allen Proben aus sparitischem Zement. Die Probe 3/139/005/PP2a zeigt außerdem eine zentimeterstarke Lage, die größtenteils aus Pyrit und Asphalt besteht. Auch in dieser Lage vorkommende andere Partikel (Biogene) sind mit Asphalt oder Pyrit imprägniert. Im Gegensatz zu den anderen Gesteinen sind in dieser Probe auch die karbonatischen Partikel in den nicht zu der oben genannten Lage sehr stark suturartig verzahnt und zeigen daher intensive Karbonatlösungsprozesse an. Aus diesem Grunde ist hier auch die Packungsdichte der Partikel mit ca. 80 % sehr hoch, die beiden anderen Proben weisen Werte zwischen 60 und 70 % auf. Die Einregelung der Längsachsen der Partikel in diesen Gesteinen ist gut bis schlecht.

Die röntgenographisch bestimmten Tonminerale bestehen aus unterschiedlichen Anteilen von Chlorit, Berthierin, Kaolinit, Illit und dem unregelmäßigen Wechsellagerungsmineral Illit/Smectit. Insgesamt beträgt der durchschnittliche Tonmineralanteil 15 %. Karbonatminerale sind im Mittel mit ca. 75 % vertreten, es überwiegt Calcit, nur untergeordnet treten Dolomit und Siderit auf. Die Quarzgehalte sind kleiner 6 %, Goethit tritt in den untersuchten Gesteinen der Trümmerkalkserie nicht auf. In der Probe 3/139/005/PP2a treten aufgrund der oben erwähnten Lage hohe Gehalte an Pyrit und organischem Material auf. Entsprechend ihrer Zusammensetzung sind die Gesteine als tonige Kalksteine (3/139/006/F4a und 3/139/ 007/PP1a) bzw. stark karbonatische Mergelsteine (3/139/005/ PP2a) zu bezeichnen.

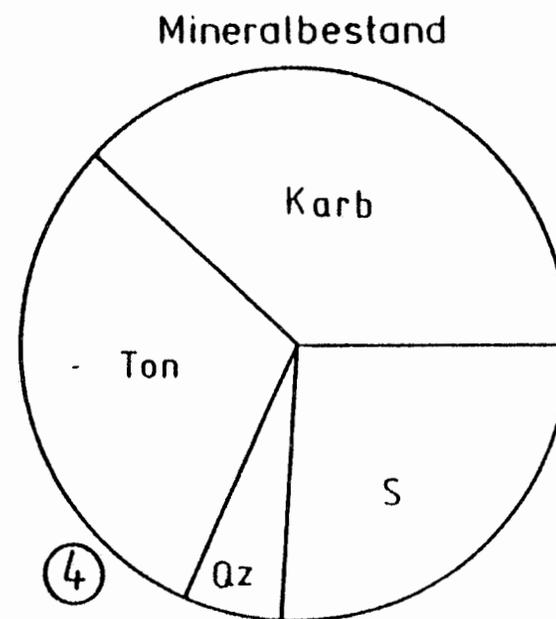
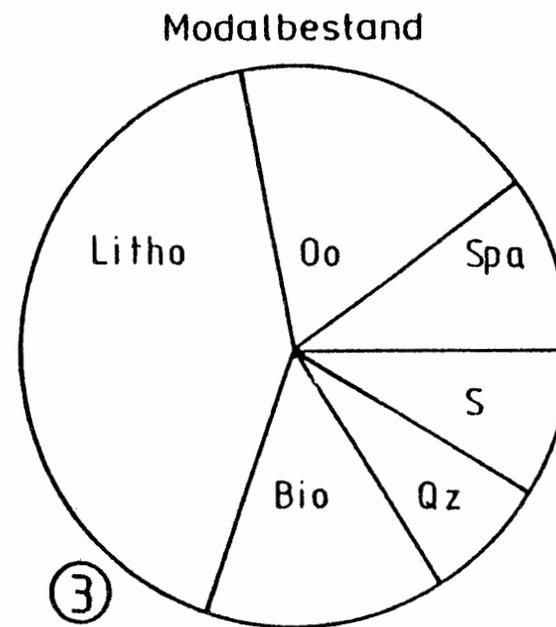
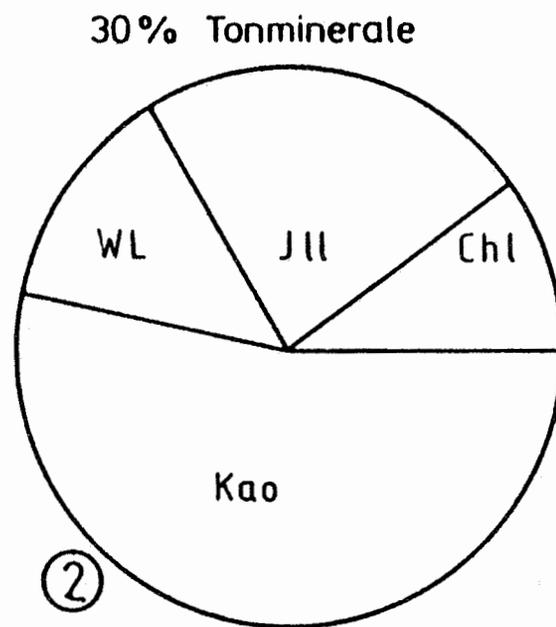
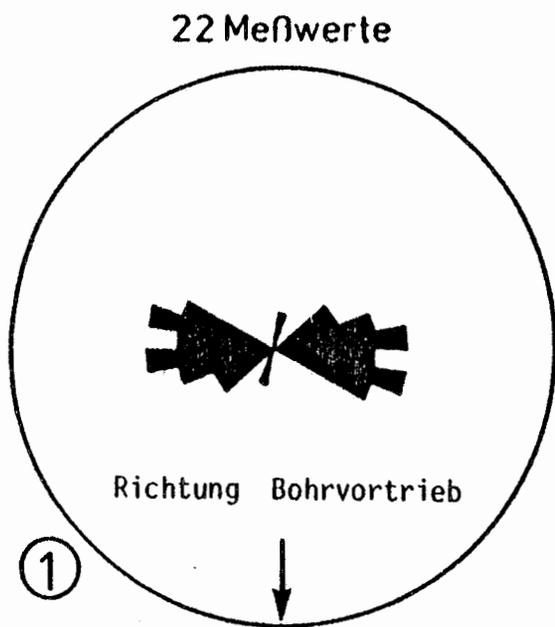
3/139

	005/PP2a	006/F4a	007/PP1a
Modalbestand (Vol.-%)			
Matrix: Mikrit		6	
Sparit	10	26	58
Limonit			
Partikel: Kalkooide	18	19	2
Brauneisenoide			
Lithoklasten	42	41	34
Biogene	14	7	4
Quarz	7	1	+
Feldspat			
opakes Material	5		2
braune Konkretionen	4		
Einregelung der Partikel	gut	schlecht	gut
Korngrößensortierung d. Partikel	mäßig	gut	gut
Mineralbestand (Gew.-%)+)			
Calcit	38	85	54
Dolomit			32
Siderit		2	2
Quarz	6	1	+
Feldspat			
Pyrit	17	1	1
organisches Material	9		1
Chlorit	3	1	6
Berthierin		7	
Illit	7	1	2
Wechsellagerung Illit/Smectit	4	+	
Smectit			
Kaolinit	16	2	2
Goethit			
Chemische Analyse (Gew.-%)			
CO ₂	16.7	38.4	38.9
C	7.2		0.8
S	9.2	0.5	0.3

Tab. 3.10: Mineralogische Untersuchungsergebnisse^{+) der Proben aus der Trümmerkalkserie (unterer Korallenoolith)}

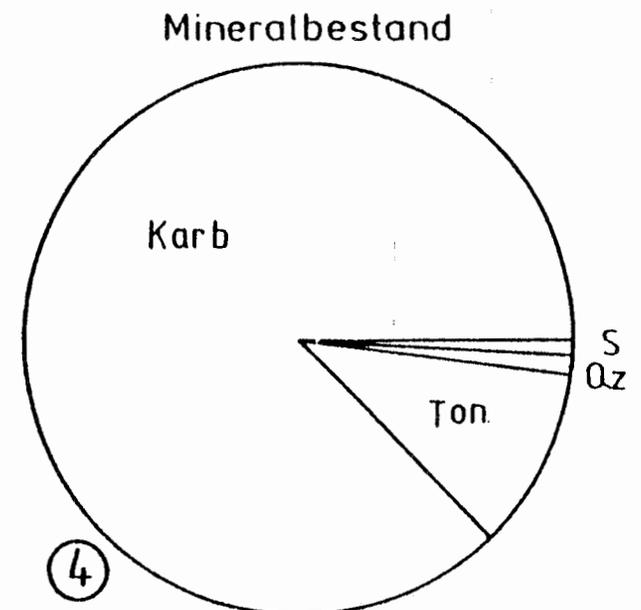
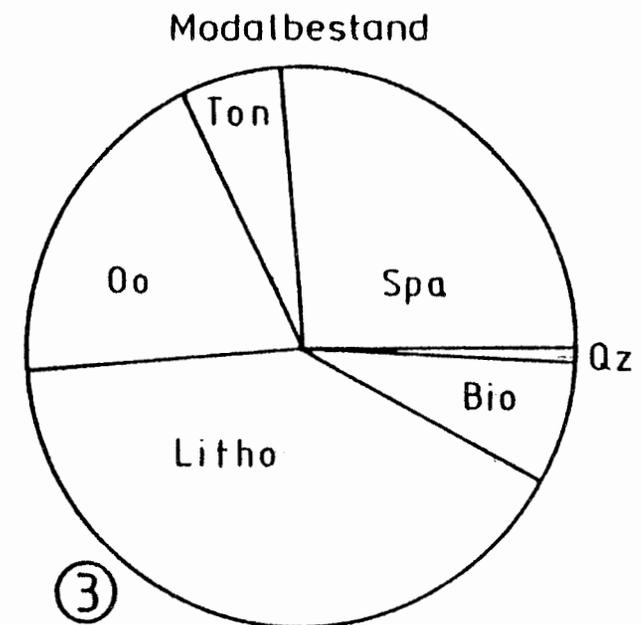
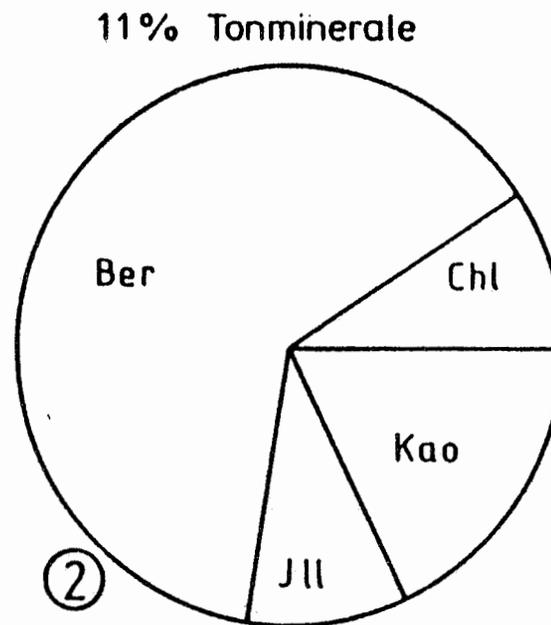
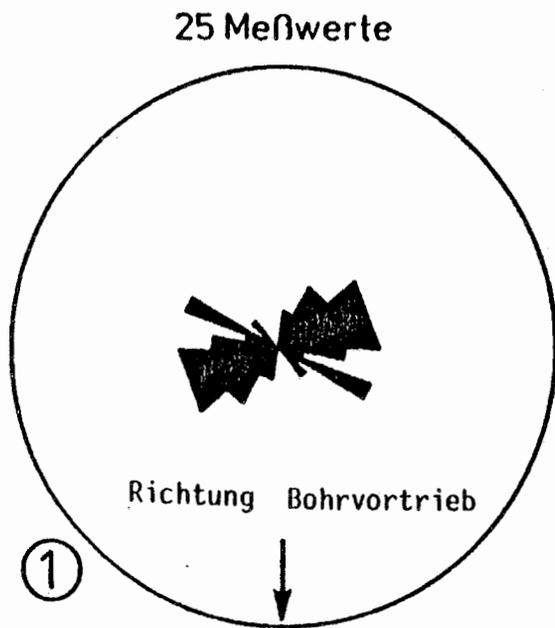
+) die Daten (Mittelwerte) sind über Standards rechnerisch ermittelt, daher nur als halbquantitativ zu betrachten

Die Ergebnisse der Untersuchungen an den Einzelproben sind in nachfolgenden Abbildungen 3.48 bis 3.50, die aus den Einzelergebnissen berechnete durchschnittliche Zusammensetzung in Abbildung 3.51 graphisch dargestellt. Die auf 100 % normierten drei Hauptkomponenten des Mineralbestandes der Einzelproben sind in Abbildung 3.52 im Dreieck Ton, Karbonat und Sand dargestellt.



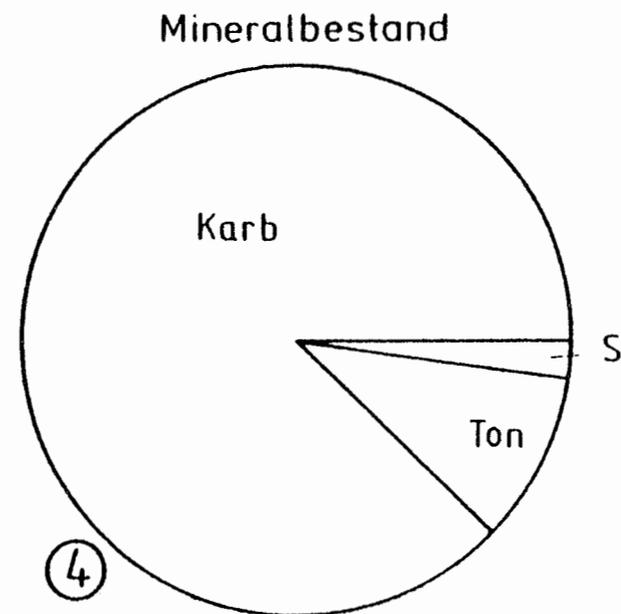
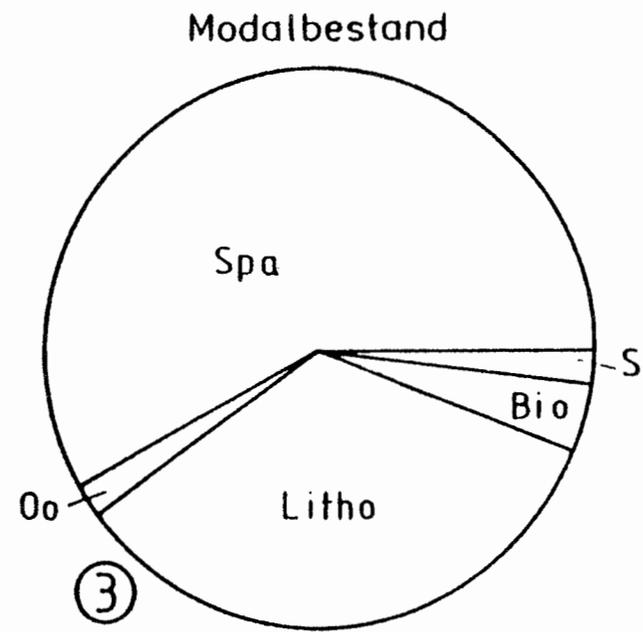
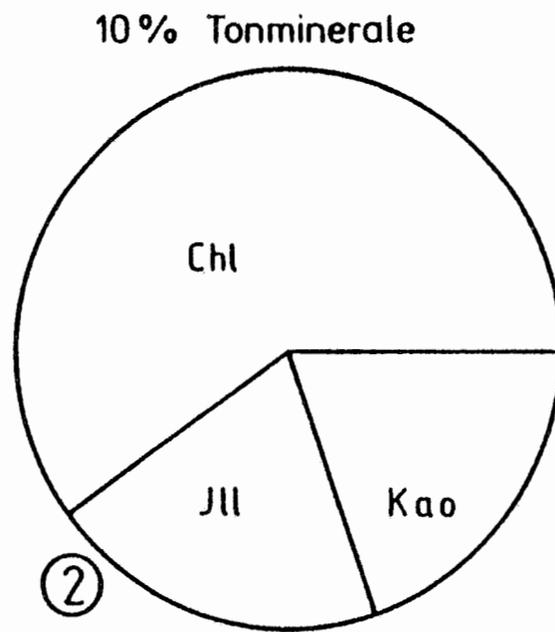
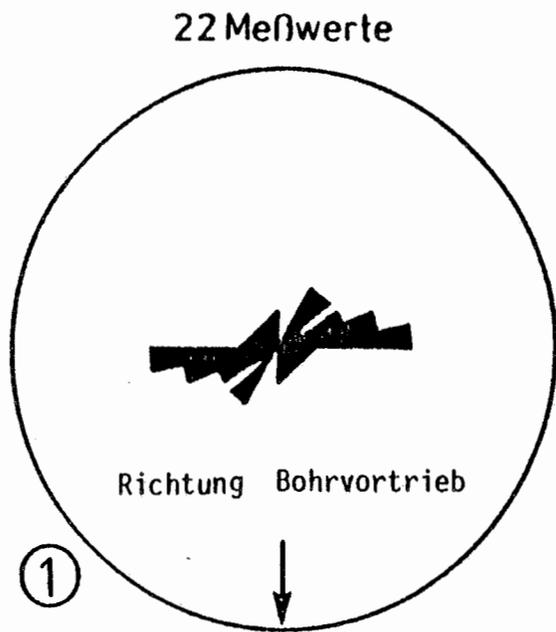
- ① Einregelung der Längsachsen von Bio- und Lithoklasten
- ② Tonmineralanteile am Tonanteil
- ③ Anteil der Einzelkomponenten
- ④ Quantitativer Mineralbestand

Abb. 3.48: Untersuchungsergebnisse für die Probe 3/139/005/PP2a (Trümmerkalkserie)



- ① Einregelung der Längsachsen von Bio- und Lithoklasten
- ② Tonmineralanteile am Tonanteil
- ③ Anteil der Einzelkomponenten
- ④ Quantitativer Mineralbestand

Abb. 3.49: Untersuchungsergebnisse für die Probe 3/139/006/F4a (Trümmerkalkserie)



- ① Einregelung der Längsachsen von Bio- und Lithoklasten
- ② Tonmineralanteile am Tonanteil
- ③ Anteil der Einzelkomponenten
- ④ Quantitativer Mineralbestand

Abb. 3.50: Untersuchungsergebnisse für die Probe 3/139/007/PP1a (Trümmerkalkserie)

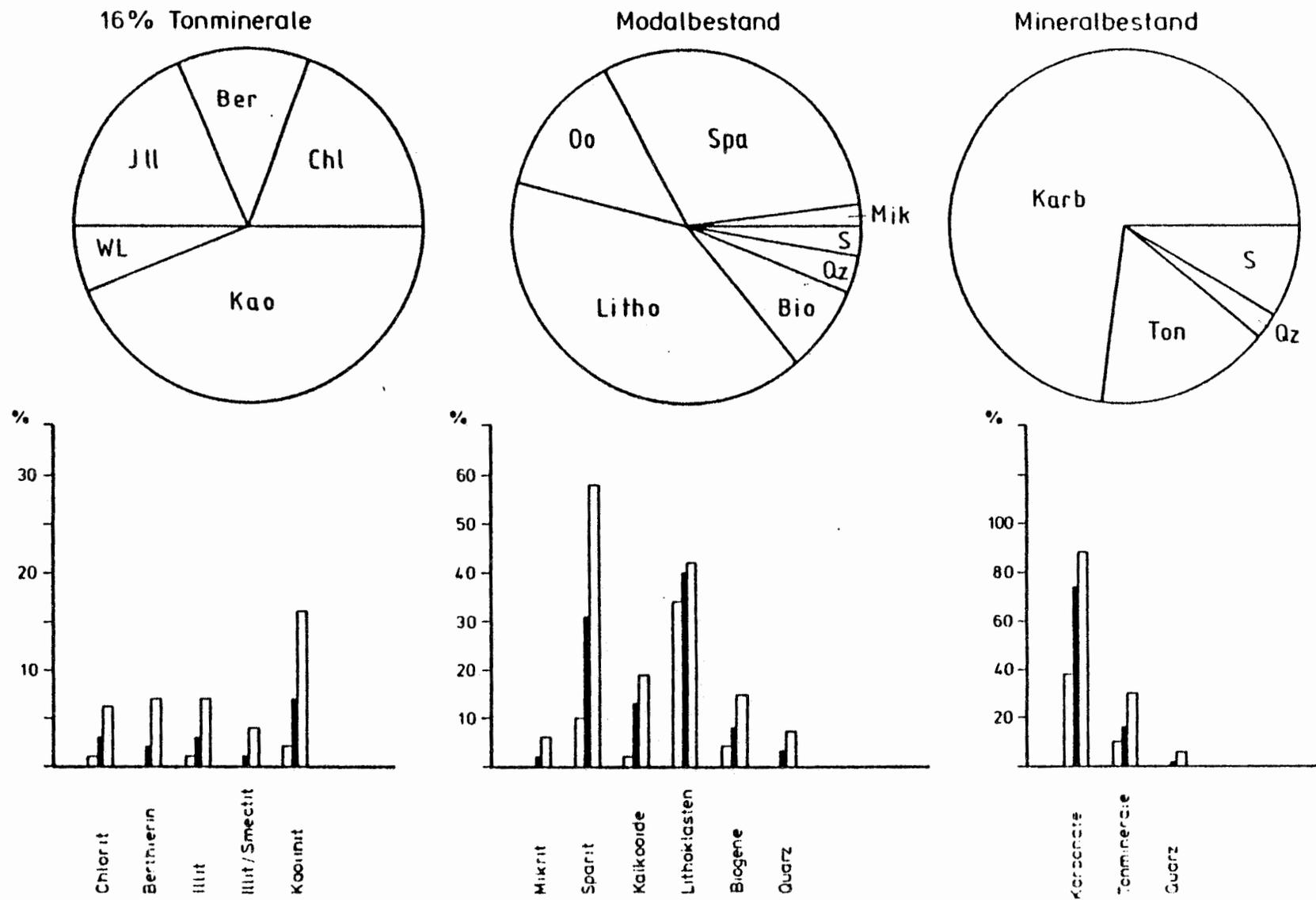


Abb. 3.51: Durchschnittliche Zusammensetzung der Trümmerkalkserie

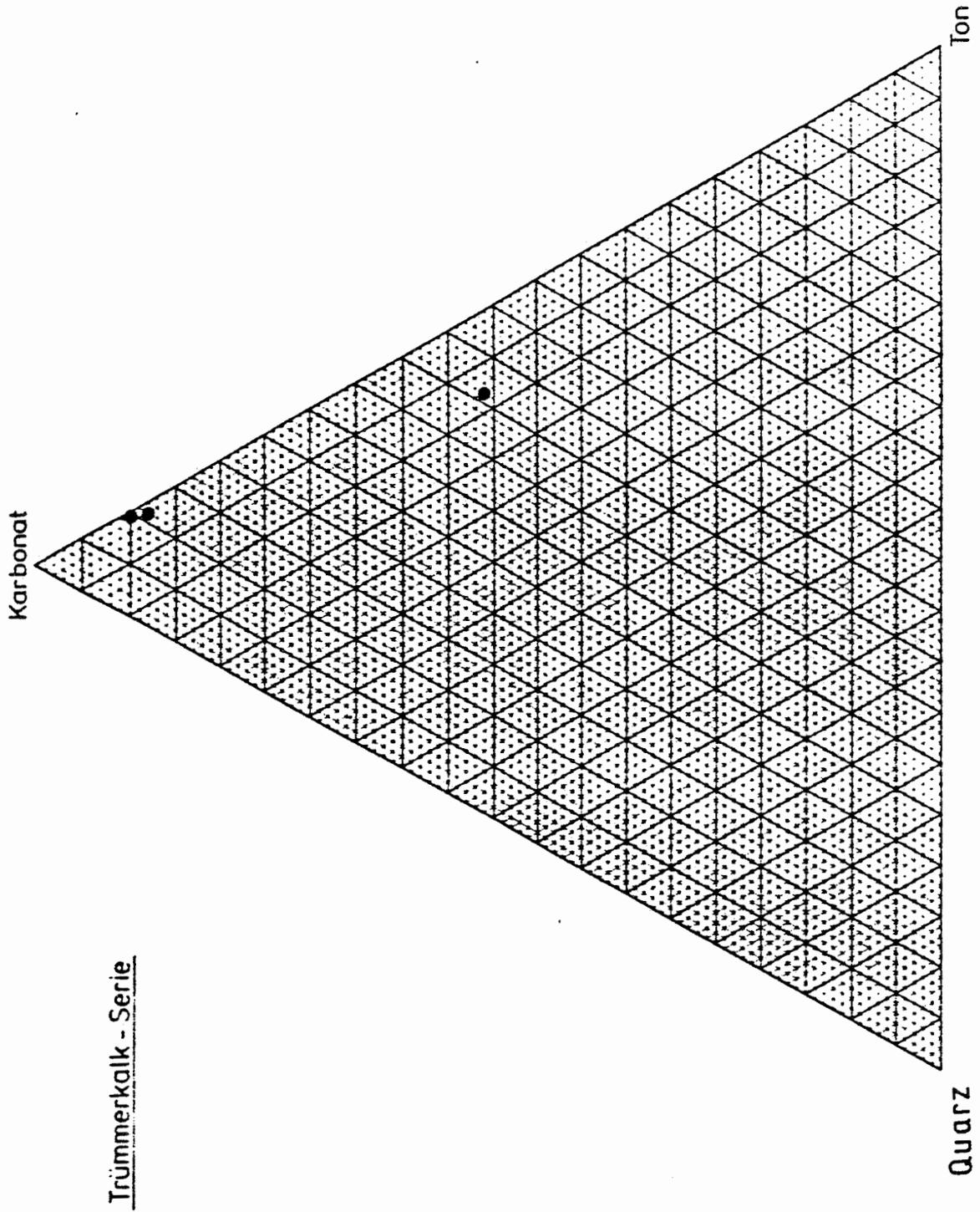


Abb. 3.52: Dreiecksdiagramm Trümmerkalk-Serie

3.4.9 Callovium (oberer Dogger)

Von den Gesteinen des Calloviums, der stratigraphisch tiefsten Einheit der untersuchten Gesteine, wurden drei Proben mineralogisch bearbeitet (Einzelergebnisse siehe Tab. 3.11):

3/139/008/F5a

3/139/009/F3a

5/95/010/FM2b

Die Gesteine dieser Einheit sind alle sandige Mergel- oder Tonsteine. Sie enthalten nur wenige Partikel (Biogene, Quarzklasten). Teilweise ist eine gewisse Strukturierung des Gesteins durch fleckenhaftes Zurücktreten von Tonmineralen ("Kalkkondensationen") oder durch z.T. lagige, z.T. fleckige Pyritanreicherungen gegeben. Charakteristisch für alle Proben ist das allerdings mengenmäßige geringe Auftreten von detritischen Hellglimmerblättchen, die bis ca. 0.2 mm groß sind. Diese Hellglimmerblättchen zeigen eine meist deutliche Einregelung.

Auch die Tonminerale des Mikrit sind eingeregelt, dieses ist durch ihr einheitliches Auslöschen bei gekreuzten Polarisatoren deutlich. Parallel zu dieser Einregelung verlaufen auch zumeist die Bruchflächen des Gesteins.

Die röntgenographisch bestimmten Tonminerale sind Chlorit, Kaolinit, Illit und das unregelmäßige Wechsellagerungsmineral Illit/Smectit. Berthierin und Smectit tritt in den untersuchten Proben nicht auf. Der durchschnittliche Tonmineralanteil beträgt 55 %.

Karbonatminerale (Calcit und Dolomit in sehr unterschiedlichen Mengenverhältnissen) sind mit durchschnittlich 28 % an der Zusammensetzung des Gesteins beteiligt. Der mittlere Quarzgehalt beträgt 13 %.

Entsprechend ihrer Zusammensetzung sind die Gesteine als teilweise sandige stark tonige Mergelsteine bzw. karbonatische Tonsteine zu bezeichnen.

3/139

5/95

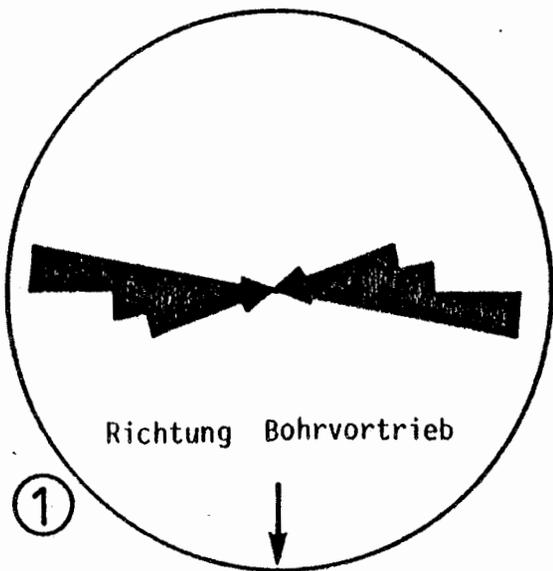
	008/F5a	009/F3a	010/FM2b
Modalbestand (Vol.-%)			
Matrix: Mikrit	86	80	77
Sparit			
Limonit			
Partikel: Kalkooide			
Brauneisenoide			
Lithoklasten			
Biogene	1	2	2
Quarz	8	14	18
Feldspat			
opakes Material	5	3	3
braune Konkretionen	+		
detritischer Hellglimmer	+	1	+
Turmalin			+
Einregelung des detritischen Hellglimmers	gut	mäßig	mäßig
Mineralbestand (Gew.-%) +)			
Calcit	+	14	5
Dolomit	39		26
Siderit			
Quarz	8	14	18
Feldspat			
Pyrit	5	5	3
organisches Material	+	1	
Chlorit	9	10	7
Berthierin			
Illit	22	26	17
Wechselagerung Illit/Smectit	7	17	16
Smectit			
Kaolinit	10	13	8
Goethit			
Turmalin			+
Chemische Analyse (Gew.-%)			
CO ₂	17.1	6.1	13.8
C	0.3	0.4	0.05
S	2.6	2.7	1.7

Tab. 3.11: Mineralogische Untersuchungsergebnisse^{+) der Probe aus dem Callovium (oberer Dogger)}

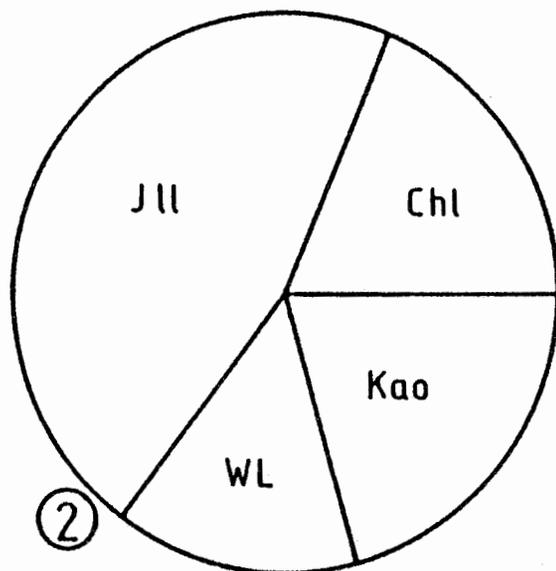
+) die Daten (Mittelwerte) sind über Standards rechnerisch ermittelt, daher nur als halbquantitativ zu betrachten

Die Ergebnisse der Untersuchungen an den Einzelproben sind in nachfolgenden Abbildungen 3.53 bis 3.55, die aus den Einzelergebnissen berechnete durchschnittliche Zusammensetzung in Abbildung 3.56 graphisch dargestellt. Die auf 100 % normierten drei Hauptkomponenten des Mineralbestandes der Einzelproben sind in Abbildung 3.57 im Dreieck Ton, Karbonat und Sand dargestellt.

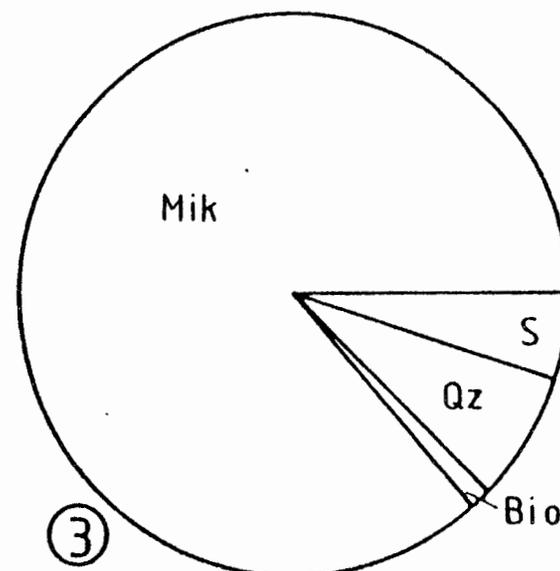
20 Meßwerte



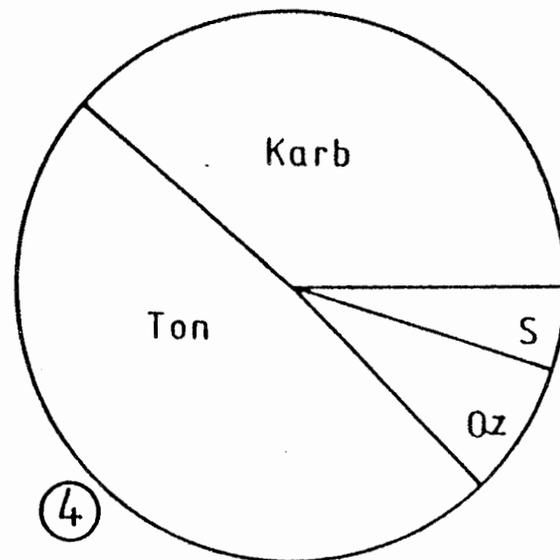
48% Tonminerale



Modalbestand



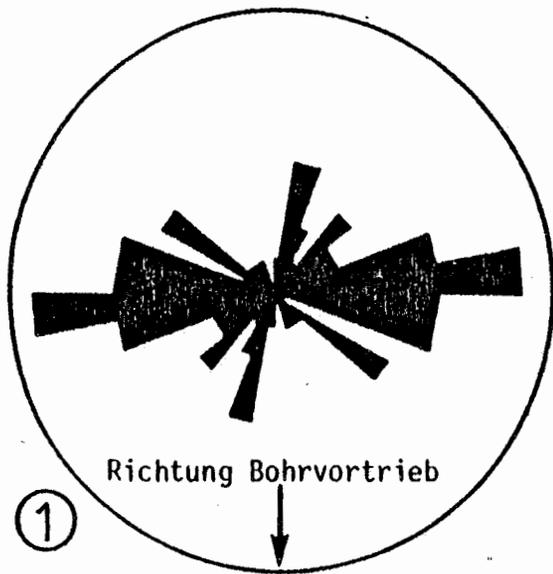
Mineralbestand



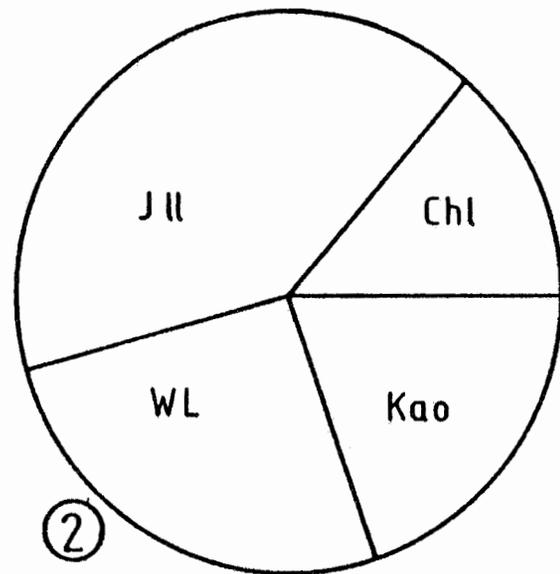
- ① Einregelung der Längsachsen von "Pyritschnüre"
- ② Tonmineralanteile am Tonanteil
- ③ Anteil der Einzelkomponenten
- ④ Quantitativer Mineralbestand

Abb. 3.53: Untersuchungsergebnisse für die Probe 3/139/008/F5a (Callovium)

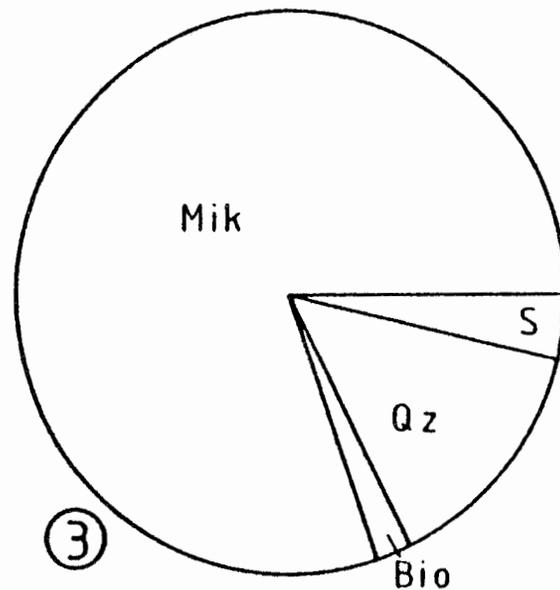
45 Meßwerte



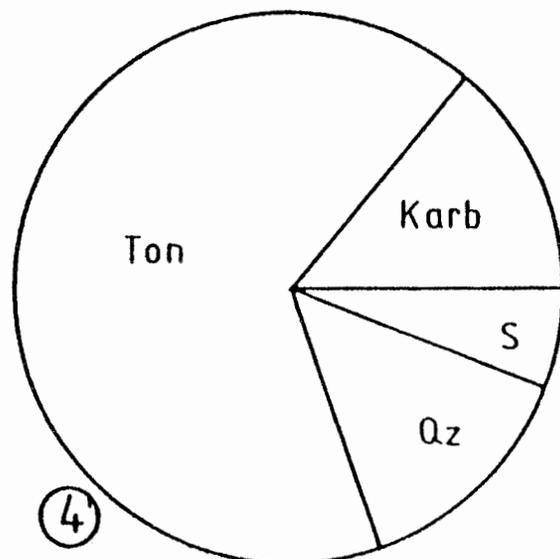
66% Tonminerale



Modalbestand

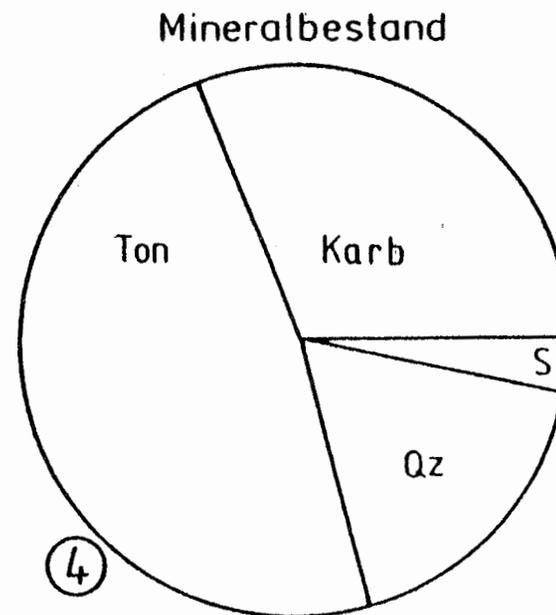
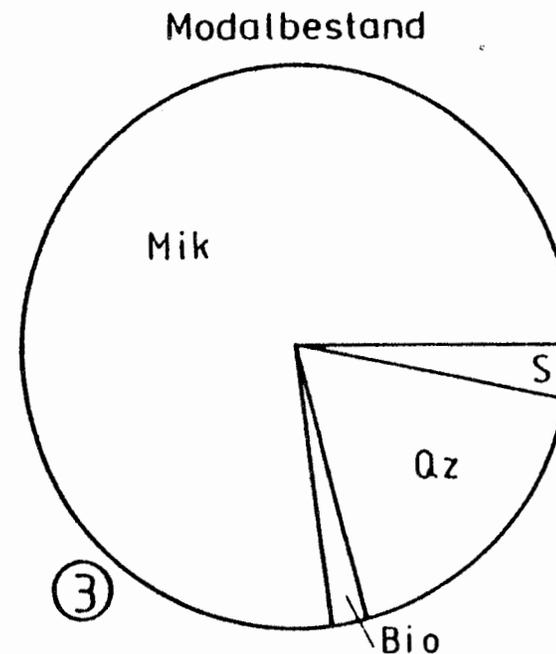
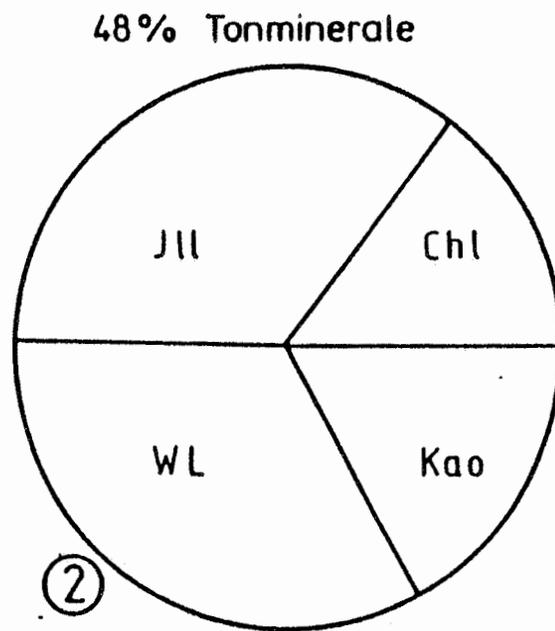
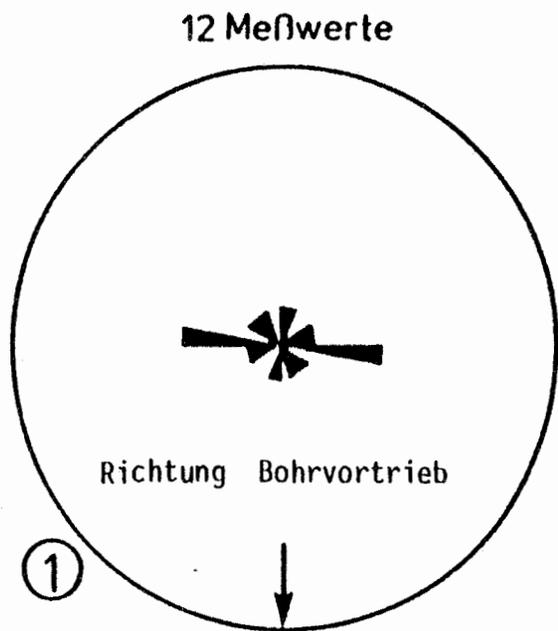


Mineralbestand



- ① Einregelung des Hellglimmerdetritus
- ② Tonmineralanteile am Tonanteil
- ③ Anteil der Einzelkomponenten
- ④ Quantitativer Mineralbestand

Abb. 3.54: Untersuchungsergebnisse für die Probe 3/139/009/F3a (Callovium)



- ① Einregelung des Hellglimmerdetritus
- ② Tonmineralanteile am Tonanteil
- ③ Anteil der Einzelkomponenten
- ④ Quantitativer Mineralbestand

Abb. 3.55: Untersuchungsergebnisse für die Probe 5/95/010/FM2b (Callovium)

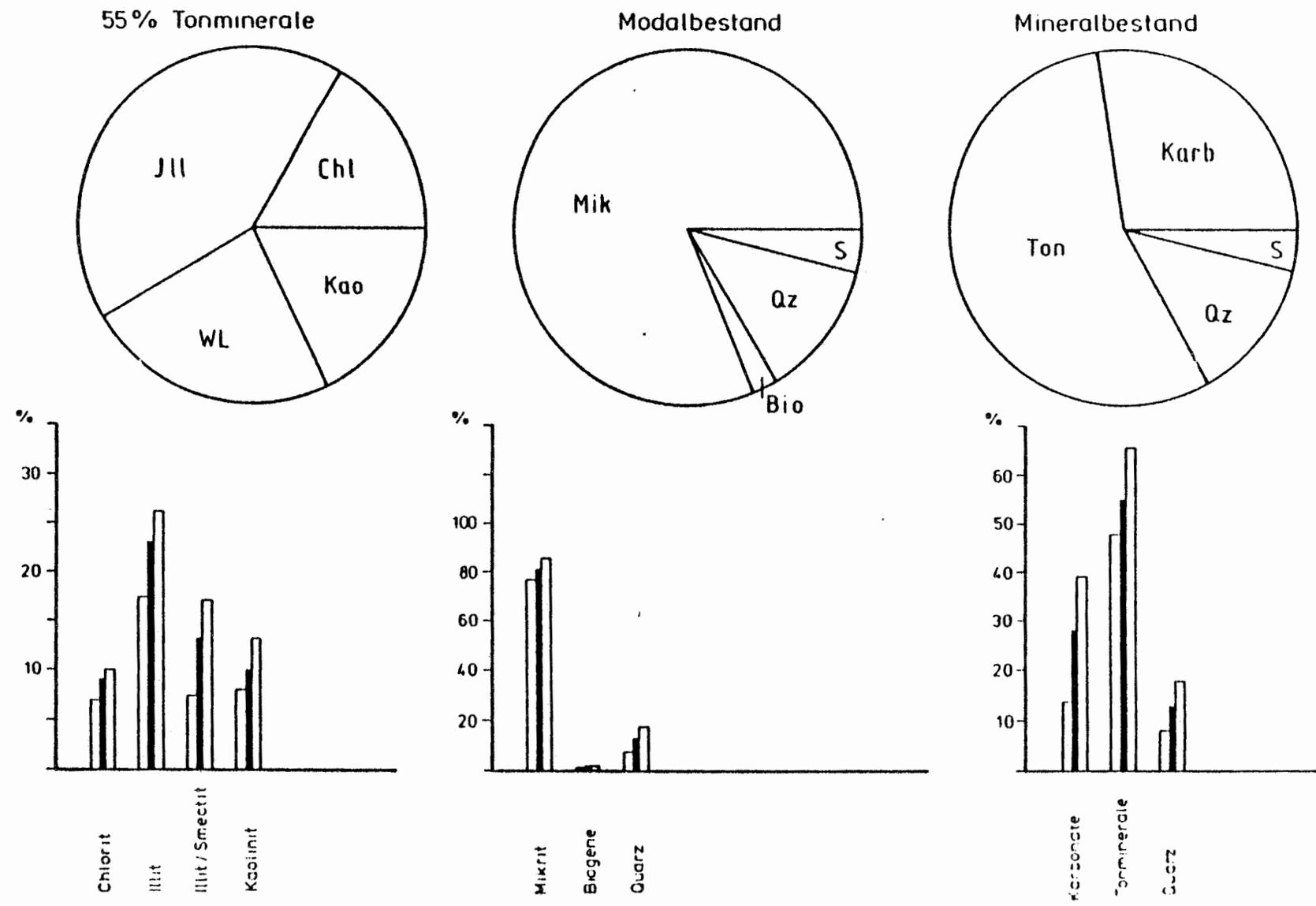


Abb. 3.56: Durchschnittliche Zusammensetzung des Callovium

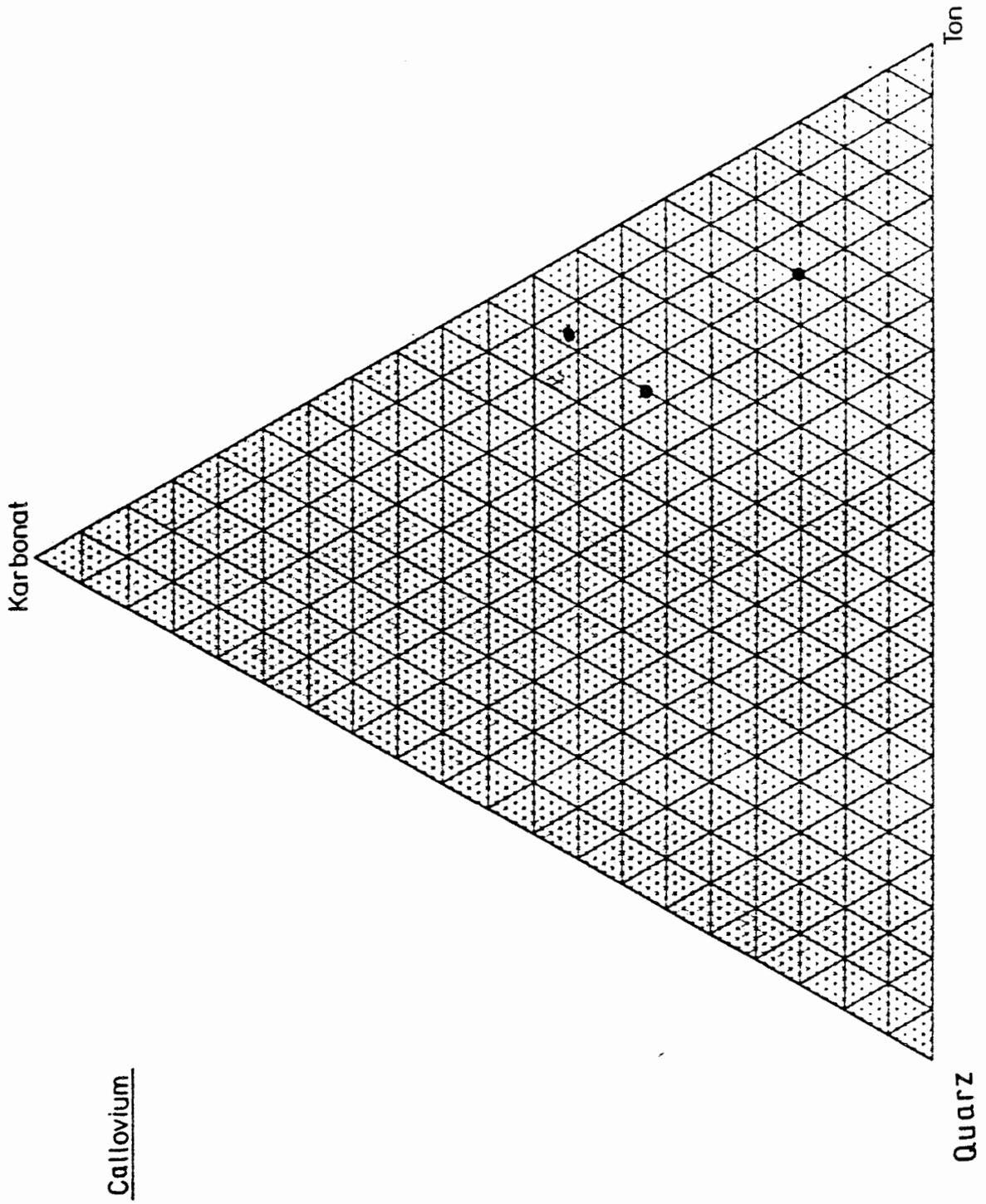


Abb. 3.57: Dreiecksdiagramm Callovium

3.5 Literatur

BAILEY, S.W. (1980): Summary of recommendations of AIPEA nomenclature committee on clay minerals. - American Mineral., 65: 1-7.

BAILEY, S.W. (1982): Nomenclature for regular interstratifications. - American Mineral., 67: 394-398.

BRINDLEY, G.W. & BROWN, G. (1980): Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification. - London: Mineralogical Society.

FLÜGEL, E. (1978): Mikrofazielle Untersuchungsmethoden von Kalken. Springer.

FÜCHTBAUER, H. & MÜLLER, G. (1970): Sediment-Petrologie, Bd. 2: Sedimente und Sedimentgesteine. Stuttgart: Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.

GOLESTANEH, F. (1968): Die Mineralparagenesen im Korallenoolitherz des südlichen Gifhorner Troges (Bleckenstedter Spezielmulde, westlich Braunschweig und nördlich Salzgitter) unter besonderer Berücksichtigung der Erztypen und ihrer regionalen Verteilung. - Dissertation Clausthal.

GOLESTANEH, F. & URBAN, H. (1973): Zur Mineralogie der Korallenoolith-Eisenerze im südlichen Gifhorner Trog. - N. Jb. Miner. Abh., 119. 2, 188-216.

JOHNS, W.D., GRIM, R. & BRADLEY, W.F. (1954): Quantitative estimation of clay minerals. - J. Sed. Petrol., 24: 242-251.

KÖSTER, H.M., KOHLER, E.E., KRAHL, J., KRÖSER, J. & VOGT, K. (1973): Veränderungen am Montmorillonit durch Einwirkung von 0,1 m AeDTE-Lösungen, 1 n NaCl-Lösung und 0,1 n Salzsäure. - N. Jb. Miner. Abh., 119. 1, 83-100.

LIPPMANN, F. & ZIMMERMANN, M. (1983): Die Petrographie des Knollenmergel, Mittlerer Keuper, Trias. - Geol. Rundschau, 72, 1105-1134.

MacEWAN, D.M.C., RUIZ AMIL, A. & BROWN, G. (1961): Inter-stratified Clay Minerals. - In: BROWN, G. (ed.): The X-ray identification and crystal structures of clay minerals: p. 393-445. London: The Mineralogical Society.

MÜLLER, G. (1964): Sediment-Petrologie, Bd. 1: Methoden der Sediment-Untersuchung. Stuttgart: Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.

ROYSE, C.F., WADELL, J.S. & PETERSEN, L.F. (1971): X-ray determination of calcite-dolomite: an evaluation. J. Sed. Petrol., 41, 2, 483-488.

THOREZ (1976): Practical identification of clay minerals. - Dison: Lelotte.

4. Tabellarische Zusammenstellung von früher ermittelten Gesteinsparametern und Vergleich mit den neuen Ergebnissen

In den Jahren 1978 bis 1982 wurden eine Reihe von Laboruntersuchungen an Eisenerzproben zur Ermittlung von Festigkeitskennwerten durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in dem Abschlußbericht der GSF zu den Eignungsprüfungen der Schachtanlage Konrad (GSF-T 136) und im Jahresbericht 1982 der GSF zu laufenden F+E-Arbeiten in der Schachtanlage Konrad (GSF-T 165) enthalten.

Die in diesen Berichten enthaltenen Untersuchungsergebnisse sind auf Anlage 30 tabellarisch zusammengestellt. Diese Zusammenstellung umfaßt im wesentlichen die Auflistung der Mittelwerte bzw. deren Bandbreite sowie die Herkunft des untersuchten Probenmaterials und die Bearbeiter. In Ergänzung zu Anlage 30 wurden darüber hinaus sämtliche Einzelergebnisse in der Anlage 31 zusammengestellt, aus der auch die entsprechenden Streubreiten der Einzeluntersuchungen zu entnehmen sind. Aufgrund dieser Zusammenstellungen kann festgestellt werden, daß im Rahmen der früheren Laboruntersuchungen entsprechend der Herkunft des Probenmaterials nur Proben aus dem Unteren Erzlager untersucht wurden. Für einen direkten Vergleich mit den neuen Ergebnissen der GSF aus dieser Teilaufgabe können somit nur diese Proben herangezogen, wobei wiederum nur einaxiale Druckfestigkeiten und Spaltzugfestigkeiten herangezogen werden können. Dabei handelt es sich entsprechend der petrographischen Zusammensetzung um Proben aus den Probennahmepunkten 3/138/010, 3/138/011 und 5/96/001 (Ergebnisse siehe Anlage 4 zu AP 2). Ergebnisse von Untersuchungen der BGR an Proben ebenfalls aus diesen Bohrungen stehen z.Zt. noch nicht zur Verfügung, sollen aber für eine Übertragbarkeit der vorliegenden Ergebnisse auf andere Grubenbereiche bzw. Lokalitäten herangezogen werden. Dies ist jedoch nicht mehr als Gegenstand dieses Arbeitspaketes anzusehen.

Die oben erwähnten vergleichbaren Festigkeitskennwerte (Mittelwerte) sind in nachfolgender Tabelle 4.1 zusammengestellt. Einzelergebnisse können den entsprechenden Anlagen 30 und 31 dieses und der Anlage 3 des Arbeitspaketes Nr. 2 entnommen werden.

	Proben- herkunft	Einaxiale Druckfestigkeit σ_D [MPa]	Spaltzug- festigkeit σ_{sz} [MPa]	Elastizitätsmodul E_D [GPa]	Verformungsmodul V [GPa]
frühere Untersuchungen (siehe Anlage 30)	672 552	32 - 63 28 - 38	- -	- -	- -
	672	-	-	20,8 - 24,4	-
	672	5,6 - 62,5	-	-	0,78 - 8,5
	552	51,8	3,0 - 3,4	28,7	25,0 - 31,3
neue Untersuchungen (siehe AP 2, TA 2219.12)	3/138/010	60,6	4,3	21,1	-
	3/138/011	46,8	-	16,9	-
	5/96/001	56,2	-	20,5	-

Tab. 4.1: Zusammenstellung der vergleichbaren Festigkeitskennwerte aus früheren und neueren Untersuchungen durch GSF

5. Versuch einer Gebirgsklassifizierung

Zur geomechanischen Beurteilung eines Gesamtkomplexes Gebirge im Felshohlraumbau wurde in der Vergangenheit mehrfach versucht, Klassifizierungsschemata zur quantitativen Beschreibung von Felsmassen zu finden und aufzustellen.

Eine der ersten Gebirgsklassifikationen wurde von Lauffer (1958) entwickelt. Dieses Schema ist speziell auf den Tunnel- und Stollenbau ausgerichtet. Es basiert auf zwei bautechnisch wichtigen Parametern, nämlich der freien Standzeit des Gebirges und der wirksamen Stützweite. Da diese Parameter als Grundlage für eine Klassifikation im Rahmen dieser Teilaufgabe fehlen, ist eine Gebirgsklassifikation nach Lauffer nicht möglich.

In neueren Klassifikationen (Barton et.al., 1974; Bieniawski, 1973, 1976) wird versucht, die Einteilung in Gebirgsklassen allein nach quantitativen Größen vorzunehmen. Damit will man zu einer möglichst objektiven Beurteilung kommen. In beiden Klassifikationssystemen wird insbesondere der Klüftung viel Bedeutung beigemessen, da von jeweils 6 Parametern 4 auf die Klüfte bezogen sind. Geringeren Stellenwert nehmen die Gesteinsfestigkeiten und die Gebirgsspannungen ein.

Barton et. al. verwenden folgende Kennzahlen für ihr Klassifizierungssystem:

1. RQD-Wert nach Deere (1963) [RQD]
2. Zahl der Klufscharen [Jn]
3. Zahl für Kluftrauhigkeit [Jr]
4. Zahl für Beschaffenheit der Klufflächenwandungen [Ja]
5. Abminderung für Gebirgswasser [JW]
6. Spannungsabminderungsfaktor [SRF]

Aus diesen 6 Parametern ermitteln Barton et.al. (1974) einen Wert für die Gebirgsqualität Q , die zwischen 0,001 für schlechten, rutschenden und quellenden Boden und 1000 für hochwertigen, fast bruchfreien Fels liegen kann:

$$Q = \frac{ROD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_w}{SRF} \quad [-]$$

Die zu drei Quotienten zusammengefaßten Einzelparameter repräsentieren Maßzahlen zur Beschreibung der Kluftkörpergröße ($\frac{ROD}{J_n}$), der Scherfestigkeit zwischen Kluftkörpern ($\frac{J_r}{J_a}$) und der aktiven Spannungen ($\frac{J_w}{SRF}$).

Nach dem Schema von Barton et.al. können die Einzelparameter innerhalb bestimmter Grenzen liegen, so daß sich für die drei Quotienten folgende Bereiche ergeben:

- a) $200 > \frac{ROD}{J_n} > 5$
- b) $4 \geq \frac{J_r}{J_a} \geq 2$
- c) $1 \geq \frac{J_w}{SRF} \geq 0.005$

Daraus ist ersichtlich, daß für die Beurteilung der Gebirgsqualität der Quotient "Kluftkörpergröße" den entscheidenden Einfluß hat. Durch den Quotient "Scherfestigkeit" wird die Gebirgsqualität verbessert und kann durch den Quotient "Spannungen" auch zur deutlichen Abminderung führen.

Die Beurteilung der Gebirgsqualität für die nach Barton et.al. (1974) angegebenen Bereiche ist in Tab. 5.1 zusammengestellt.

Gebirgsqualität Q	Beurteilung
0,001 - 0,01	außergewöhnlich schlecht
0,01 - 0,1	extrem schlecht
0,1 - 1,0	sehr schlecht
1,0 - 4	schlecht
4 - 10	mittelmäßig
10 - 40	gut
40 - 100	sehr gut
100 - 400	extrem gut
400 - 1000	außergewöhnlich gut

Tab. 5.1: Beurteilung der Gebirgsqualität nach Barton et.al.
(1974)

Bieniawski (1973, 1976) beurteilt die Qualität eines Gebirges über den RMR-Gebirgskennwert (RMR = rock mass ratio), der sich ebenfalls aus sechs Einzelparametern ermitteln läßt. Diese Parameter sind:

- 1) der Kluftabstand
- 2) der RQD-Wert
- 3) die Kluftstellung
- 4) der Zustand der Klüfte
- 5) der Gebirgswasserzufluß
- 6) die einaxiale Druckfestigkeit

Für jeden Parameter gibt Bieniawski Wertebereiche an und weist diesen Bereichen bestimmte Bewertungszahlen zu. Durch Summation der einzelnen Bewertungszahlen kann nach Bieniawski eine zugeordnete Gebirgsklasse ermittelt werden.

Eine Zusammenfassung der Klassifizierungsschemata nach Barton et.al. und Bieniawski stellt Fig. 5.1 dar.

Klassifikationsparameter und ihre Bewertung								
Parameter		Wertebereich						
1	Gesteinsfestigkeit Dunke Last Index ISRM (1972)	> 8 MN/m ²	4-8 MN/m ²	2-4 MN/m ²	1-2 MN/m ²	Für diesen niedrigen Bereich wird der einachsige Druckversuch vorgeschlagen		
		Finale Lage Druckfestigkeiten	> 200 MN/m ²	100-200 MN/m ²	50-100 MN/m ²	25-50 MN/m ²	10-25 MN/m ² 3-10 MN/m ² 1-3 MN/m ²	
	I_1	15	12	7	4	2 1 0		
2	RQD Wert (nach Debm, 1963)	90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%		
	I_2	20	17	13	8	3		
3	Kluftwand	> 3 m	1-3 m	0,3-1 m	50-300 mm	< 50 mm		
	I_3	30	25	20	10	5		
4	Zustand der Klüfte	sehr raue Oberflächen, nicht durchgehend, keine Kluftöffnung	leicht raue Oberflächen, Kluftöffnung < 1 mm	leicht raue Oberflächen, Kluftöffnung < 1 mm	glatte Oberflächen oder Kluftöffnung < 5 mm dick	weiche Kluftfüllung > 5 mm dick oder Kluftöffnung > 5 mm durchgehende Klüfte		
		hart Kluftwandung	harte Kluftwandung	weiche Kluftwandung	Kluftfüllung < 5 mm dick oder Kluftöffnungen 1-5 mm, durchgehende Klüfte			
	I_4	25	20	12	6	0		
5	Gebirgswasser	Zufluß auf 10 m Tunnellänge	keine	Zufluß oder	< 25 l/min. oder	25-125 l/min. oder	> 125 l/min. oder	
		Kluftwasserdruck große Hauptspannung		0	0,0-0,2	0,0-0,5	> 0,5	
	allg. Verhältnisse	vollständig trocken	oder	feucht	oder	Wasser unter niedrigem Druck	oder	schwierige Gebirgswasserprobleme
	I_5		10	7	4	0		
6	Streich- und Fallrichtung der Klüfte	sehr günstig	günstig	mäßig gut	ungünstig	sehr ungünstig		
		Tunnel (s. unten)	0	2	-5	-10	-12	
	I_6	0	-2	-7	-15	-25		
	Böschungen	0	-5	-25	-50	-60		

Fig. 5.1. : Zusammenfassung der Gebirgsklassifizierungsschemata nach Barton et al. (1974) und Bieniawski (1976) aus (5)

Einfluß der Raumstellung (Streichen und Fallen) der Klüfte im Tunnelbau					
Streichen normal zur Tunnelachse			Streichen parallel zur Tunnelachse		Fallwinkel
Fallen in Vortriebsrichtung		Fallen gegen Vortriebsrichtung			
$\beta: 45^\circ - 90^\circ$	$\beta: 20^\circ - 45^\circ$	$\beta: 45^\circ - 90^\circ$	$\beta: 20^\circ - 45^\circ$	$\beta: 45^\circ - 90^\circ$	$\beta: 20^\circ - 45^\circ$
sehr günstig	günstig	mäßig gut	ungünstig	sehr ungünstig	mäßig gut
unabhängig vom Streichen					
ungünstig					

Bestimmung der Gebirgsklasse					
$\Sigma I_i = I_1 + \dots + I_6$	81-100	61-80	41-60	21-40	< 20
Klasse	I	II	III	IV	V
Beschreibung	sehr guter Fels	guter Fels	mäßig guter Fels	schlechter Fels	sehr schlechter Fels

Bedeutung der Gebirgsklasse					
Klasse	I	II	III	IV	V
durchschnittliche Standzeit	10 Jahre bei 5 m Spannweite	6 Monate bei 4 m Spannweite	1 Woche bei 3 m Spannweite	5 Stunden bei 1,5 m Spannweite	10 Minuten bei 0,5 m Spannweite
Kohäsion der Felsmasse	> 0,3 MN/m ²	0,2 - 0,3 MN/m ²	0,15 - 0,2 MN/m ²	0,1 - 0,15 MN/m ²	< 0,1 MN/m ²
Reibungswinkel der Felsmasse	> 45°	40° - 45°	35° - 40°	30° - 35°	< 30°

Gebirgsklassifikation nach Bieniawski

	RQD	Zahl für Kluftausigkeiten (J)	Abminderung für Gebirgswasser (Jw)
Klassifikationskennwerte, mit Bereichen	sehr schlecht	< 25	trocken
	mäßig gut	50-75	mäßig oder Zufluß
	ausgezeichnet	> 90	sehr starker Zufluß
Gebirgsqualität	Zahl der Kluftscharen (Jn)	Zahl für Beschaffenheit der Kluftflächenwandungen (Ja)	Spannungsabminderungsfaktor (SRF)
	weng Klüfte	unzersetzte Kluftflächenwandungen	günstige Verhältnisse
	drei Kluftscharen	etwas zersetzte Kluftbelege	offene Klüfte, Scherzonen
	zerbrochenes Gebirge	dicker Trennschichten	druckhafter Gebirge
Q	Kluftkopergüte	Sicherheitskopern zwischen Kluftkopern	Aktive Spannungen
	$Q = \frac{RQD}{J_n}$	$\times \frac{J_a}{J_n}$	$\times \frac{J_w}{SRF}$
Tunnelbauverhältnisse	sehr schlecht	$200 > \frac{RQD}{J_n} > 0,5$	$1 > \frac{J_w}{SRF} > 0,005$
	mäßig gut	4-10	$4 > \frac{J_a}{J_n} > 0,02$
	extrem gut	> 100	

Gebirgsklassifikation nach Barton et al.

Im Rahmen der gesamten Teilaufgabe wurden bzw. konnten im Hinblick auf eine Gebirgsklassifikation lediglich durch Ermittlung während der Bohrarbeiten und während anschließender felsmechanischer Laboruntersuchungen für petrographische Einheiten die RQD-Werte und einaxiale Druckfestigkeiten ermittelt werden.

Danach ist erkennbar, daß der Versuch einer Gebirgsklassifikation sowohl nach Barton et.al. als auch nach Bieniawski aufgrund des vorliegenden Datenmaterials aussichtslos erscheint. Für eine Klassifikation nach Barton et.al. fehlen allein 5 von 6 erforderlichen Parametern. Für eine Klassifikation nach Bieniawski fehlen 4 von 6 erforderlichen Parametern. Hinzu kommt, daß die Klassifikationsschemata auf den Tunnelbau ausgerichtet sind, um einen Anhalt für die Dimensionierung und das Einbringen eines Ausbaus zu besitzen.

Das im Rahmen dieser Teilaufgabe ermittelte Datenmaterial (Festigkeitskennwerte, RQD-Werte) wurde über Bohrungen ermittelt, die aus bestehenden Strecken bankrecht in die hangenden und liegenden Nebengesteinsschichten abgeteuft wurden. Die Querschnitte der Bohrungen (Durchmesser) sind erheblich kleiner als die der bestehenden Strecken. Ebenso hat die Bohrtechnik teilweise einen erheblichen Einfluß auf den Erhaltungszustand und das Ausbringen des Bohrkernmaterials, aus dem sich aus diesem Grunde keine Kluftparameter ermitteln lassen, wie sie für eine Gebirgsklassifizierung benötigt werden. Hinzu kommt, daß mit den Bohrungen Gesteinsschichten des unverritzten Gebirges erbohrt wurden. Für eine Gebirgsklassifizierung sind jedoch Angaben wichtig, die aus der Aufnahme von Kluftparametern entlang der Streckenmäntel gewonnen werden.

Es wird daher vorgeschlagen, die fehlenden Parameter für eine Gebirgsklassifizierung nach Barton et. al. und Bieniawski (siehe dazu Fig. 5.1) in bestehenden, in der Auffahrung befindlichen bzw. noch aufzufahrenden Strecken unter Berücksichtigung stratigraphisch/petrographischer Gesichtspunkte (siehe dazu Anlage 22 bis 29) zu ermitteln.

Für den Versuch, zu einer Gliederung in Homogenbereiche, die für eine endgültige Gebirgsklassifizierung von Bedeutung sein können, zu kommen, wurden die vorliegenden Ergebnisse der einaxialen Druckversuche (Mittelwerte getrennt für die einzelnen Bohrungen nach stratigraphisch/petrographischen Gesichtspunkten in den Tabellen 5.1 bis 5.4 zusammengestellt. Darüber hinaus wurden die erzielten Festigkeiten in Anlehnung an [5] für Sedimentgesteine wie folgt eingestuft:

< 25 MPa	-	sehr geringe Festigkeit
25 - 50 MPa	-	geringe Festigkeit
50 - 100 MPa	-	mittlere Festigkeit
100 - 200 MPa	-	große Festigkeit
> 200 MPa	-	sehr große Festigkeit

Stratigraphie	Petrographie	Teufen	Probenreihe	Mittlere Druckfestigk. σ_D (MPa)	Bandbreite σ_D (MPa)	Festigkeit $\sigma_{DMittel}$	Bandbreite Festigkeit	
Unteres Kimmeridge	Mergelstein	0,00-	3/137/001	27,2	27,2	gering	gering	
	Kalkstein- Mergelstein		3/137/002	47,3	17,6 - 63,9	gering	sehr ger.-mittel	
		3/137/003	58,8	48,0 - 69,6	mittel	gering-mittel		
		29,00	3/138/001	57,1	32,5 - 88,0	mittel	gering-mittel	
	3/138/002		55,2	55,2	mittel	mittel		
Mittlerer Korallenoolith	Oberes Lager	29,00-	3/138/003	41,1	26,7 - 51,7	gering	gering-mittel	
			Kalkstein, erzführend	43,00	3/138/004	53,9	38,3 - 69,2	mittel
	3/138/005	40,1			23,5 - 53,7	gering	sehr ger.-mittel	
	Zwischen- mittel	Mergelstein, erzführend	43,00-	3/138/006	29,0	13,6 - 41,4	gering	sehr ger.-gering
			56,00	3/138/007	23,1	22,1 - 24,1	sehr ger.	sehr gering
	Unteres	Kalkstein, erzführend	56,00-	3/138/008	56,8	45,6 - 62,3	mittel	gering-mittel
			66,00	3/138/009	47,5	39,4 - 51,7	gering	gering-mittel
	Lager	Eisenoolith, mergelig	66,00-	3/138/010	60,6	54,4 - 69,8	mittel	mittel
			76,80	3/138/011	46,8	42,2 - 55,6	gering	gering-mittel

Tab. 5.1: Mittlere Festigkeiten und Bandbreiten der Ergebnisse aus der Bohrung 3/137 + 138

Stratigraphie		Petrographie	Teufen	Probenreihe	Mittlere Druckfestigk. σ_D (MPa)	Bandbreite σ_D (MPa)	Festigkeit $\sigma_{DMittel}$	Bandbreite Festigkeit
Unterer Korallenoolith	Erzkalk- serie	Kalkstein, erzführend	0,00- 12,30	3/139/001	33,5	33,5	gering	gering
				3/140/001	41,0	41,0	gering	gering
				3/140/002	-	-	-	-
	Fladenton- stein- serie	Mergelstein	12,30- 39,00	3/139/004	-	-	-	-
	Trümmer- kalk- serie	Kalkstein	39,00- 55,55	3/139/005	72,5	64,7 - 80,3	mittel	mittel
				3/139/006	66,0	44,6 - 98,7	mittel	gering-mittel
				3/139/007	107,2	106,2 - 108,2	groß	groß
Callovium	Mergelstein	55,55- 56,70	3/139/007a	60,0	48,5 - 71,6	mittel	gering-mittel	
	Tonstein kalkig	56,70- 63,72	3/139/008	42,3	35,4 - 49,1	gering	gering	
			3/139/009	46,8	44,9 - 48,6	gering	gering	
			3/139/010	47,9	45,1 - 50,7	gering	gering-mittel	

Tab. 5.2: Mittlere Festigkeiten und Bandbreiten der Ergebnisse aus der Bohrung 3/139 + 140

Stratigraphie	Petrographie	Teufen	Probenreihe	Mittlere Druckfestigk. σ_D (MPa)	Bandbreite σ_D (MPa)	Festigkeit $\sigma_{DMittel}$	Bandbreite Festigkeit	
Unterer Korallenoolith	Erzkalk- serie	Kalkstein, 1,65-	5/95/003	-	-	-	-	
		erzführend 15,60	5/95/004	46,8	46,8	gering	gering	
	Fladen- tonstein- serie	Mergelstein	15,60-	5/95/004a	-	-	-	-
				5/95/005	-	-	-	-
			34,90	5/95/007	45,0	41,2 - 50,3	gering	gering-mittel
	Trümmer- kalk- serie	Kalkstein Mergelstein	34,90- 53,65	5/95/007a	-	-	-	-
Callovium	Tonstein, kalkig	53,65- 56,50	5/95/010	64,2	56,9 - 69,8	mittel	mittel	

Tab. 5.3: Mittlere Festigkeiten und Bandbreiten der Ergebnisse aus der Bohrung 5/95

Stratigraphie	Petrographie	Teufen	Probenreihe	Mittlere Druckfestigk. σ_D (MPa)	Bandbreite σ_D (MPa)	Festigkeit $\sigma_{DMittel}$	Bandbreite Festigkeit
Unteres Kimmeridge	Kalkstein, tonig	87,49-75,00	5/96/011	66,4	43,7 - 82,8	mittel	gering-mittel
Oberer Korallenoolith	Kalkstein	75,00	5/96/010	82,5	46,6 - 110,3	mittel	gering-groß
			5/96/008	-	-	-	-
			5/96/007	62,6	31,8 - 89,2	mittel	gering-mittel
	Kalkstein, Mergelstein	36,50	5/96/006	97,1	42,0 - 128,0	mittel	gering-groß
Mittlerer Korallenoolith	Oberes Lager	36,50 27,00	5/96/005	111,5	28,0 - 157,1	groß	gering-groß
			5/96/004	125,6	67,5 - 161,0	groß	mittel-groß
	Zwischenmittel	27,00	5/96/003	69,2	47,4 - 81,6	mittel	gering-mittel
			Kalkstein, tonig	7,50	5/96/002	53,7	32,7 - 74,0
	Unteres Lager	Eisenoolith kalkig	7,50-0,00	5/96/001	56,2	47,9 - 64,2	mittel

Tab. 5.4: Mittlere Festigkeiten und Bandbreiten der Ergebnisse aus der Bohrung 5/96

In gleicher Weise sind die Ergebnisse früherer Untersuchungen (siehe Tab. 4.1 und Anlagen 30 und 31) wie folgt einzustufen (Tab. 5.5).

Probenherkunft	Petrographie./ Stratigraphie	mittl. Druckf. σ_D (MPa)	Bandbreite σ_D (MPa)	Festigk. σ_D mittel	Bandbreite Festigkeit
672		41,7	23,1-78,0	gering	sehr ger.-mittel
552	Unteres	33,0	17,5-61,3	gering	sehr ger.-mittel
672	Lager	37,4	5,6-62,5	gering	sehr ger.-mittel
552		51,8	45,2-57,7	mittel	gering-mittel

Tab. 5.5: Einstufung früherer Untersuchungen nach einaxialen Druckfestigkeiten

Auf der Basis dieser gewählten Einteilung würden sich demnach Bereiche mit gleichgroßen Festigkeiten zu einem Homogenbereich zusammenfassen lassen. Eine Betrachtung der Zusammenstellungen (Tab. 5.1 bis 5.5) läßt erkennen, daß eine Zuordnung nach stratigraphisch/petrographischen Gesichtspunkten auch einer Gliederung in Homogenbereiche entsprechen könnte.

Es ist aber auch erkennbar, daß eine Übertragbarkeit von einem Grubenbereich zum anderen nicht unbedingt möglich ist. So weist z. B. das Obere Lager (erbohrt in der Bohrung 3/138) mittlere Druckfestigkeiten zwischen 40 und 54 MPa auf, während die gleiche Gesteinseinheit (erbohrt in der Bohrung 5/96) mittlere

Druckfestigkeiten von 111 bis 126 MPa aufweist. Insgesamt weisen alle in der Bohrung 5/96 erbohrten Gesteinshorizonte deutlich größere Festigkeiten auf, als die gleichen in der Bohrung 3/137 + 138 erbohrten Gesteinshorizonte (Hangendschichten des Erzlagers). Ähnliches scheint auch auf die Liegendbohrungen zuzutreffen. Es fehlen aber z. T. vergleichbare Festigkeitswerte. Eine endgültige Gliederung in Homogenbereiche und Erstellung einer endgültigen Gebirgsklassifikation ist nach diesem Kenntnisstand nur unter Beteiligung und Mitarbeit der BGR und des Betriebes P+S möglich und kann nicht mehr im Rahmen dieses Arbeitspaketes erfolgen. Aufgrund der Schwierigkeit der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Grubenbereiche, wird weiterhin empfohlen, die notwendigen Informationen und Ergebnisse durch weitere Bohrungen zu erhalten.

Über eine weitere Bearbeitung dieses Punktes ist daher unter Hinzuziehung der BGR und des Betriebes P+S noch zu diskutieren. Ebenfalls ist dann noch über Art, Umfang und Beteiligung der verschiedenen Bearbeiter zu entscheiden.

6. Anmerkungen zur Standsicherheitsberechnung

Im Auftrag der GSF wurden in 1982 erste Festigkeitsberechnungen für ein Strecken-Pfeiler-System der Schachtanlage Konrad durchgeführt.

Weiterhin wurden im Rahmen dieser Berechnungen mögliche plastische Zonen im gebirgsmechanischen Nahbereich sowie die Spannungsverteilung um die Einzelstrecken und die resultierenden Ausbauwiderstände ermittelt (siehe [6]).

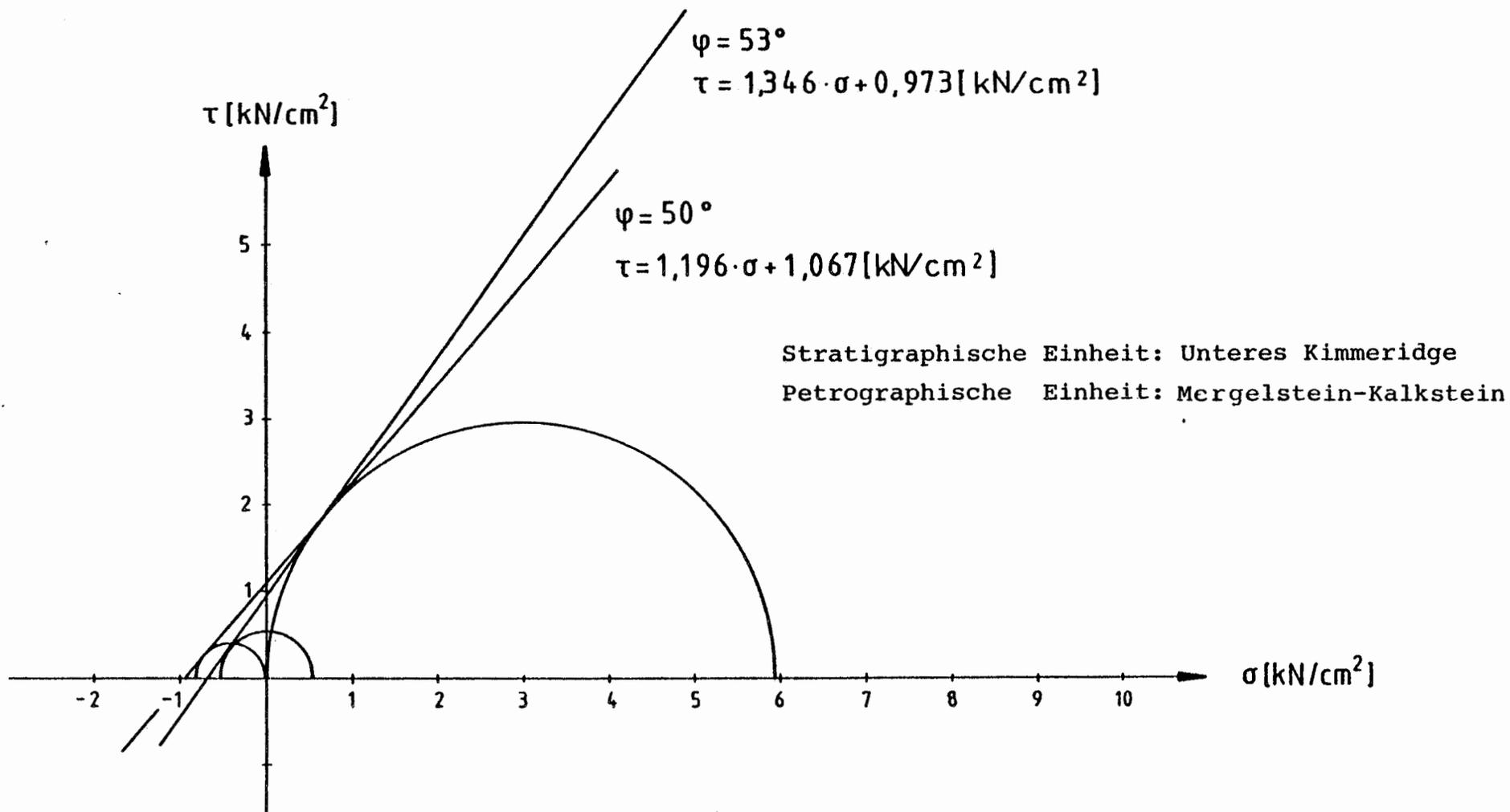
Für die Berechnungen wurde das Kammermodell A zugrunde gelegt (siehe dazu [7]) und Finite-Element-Berechnungen für ein Strecken-Pfeiler-System mit einem Breitenverhältnis $D/B = 3$ ($D =$ Pfeilerbreite, $B =$ Streckenbreite) mit dem Charakteristikenverfahren durchgeführt. Dafür wurden sowohl maximale als auch minimale Stoffparameter verwendet. Die angesetzten Stoffparameter wurden aufgrund von Laborversuchen an Eisenerzproben festgelegt. Das Ergebnis dieser Berechnungen war, daß die gewählten Kammer-Pfeiler-Systeme als standsicher einzustufen sind.

Weitere Berechnungen werden z.Zt. von der BGR im Rahmen der Teilaufgabe 2219.09 durchgeführt. Daher ist es der GSF nicht möglich, gezielt Vorschläge für weitere Untersuchungen zu Standsicherheitsberechnungen zu machen (Parameterermittlung).

7. Literatur

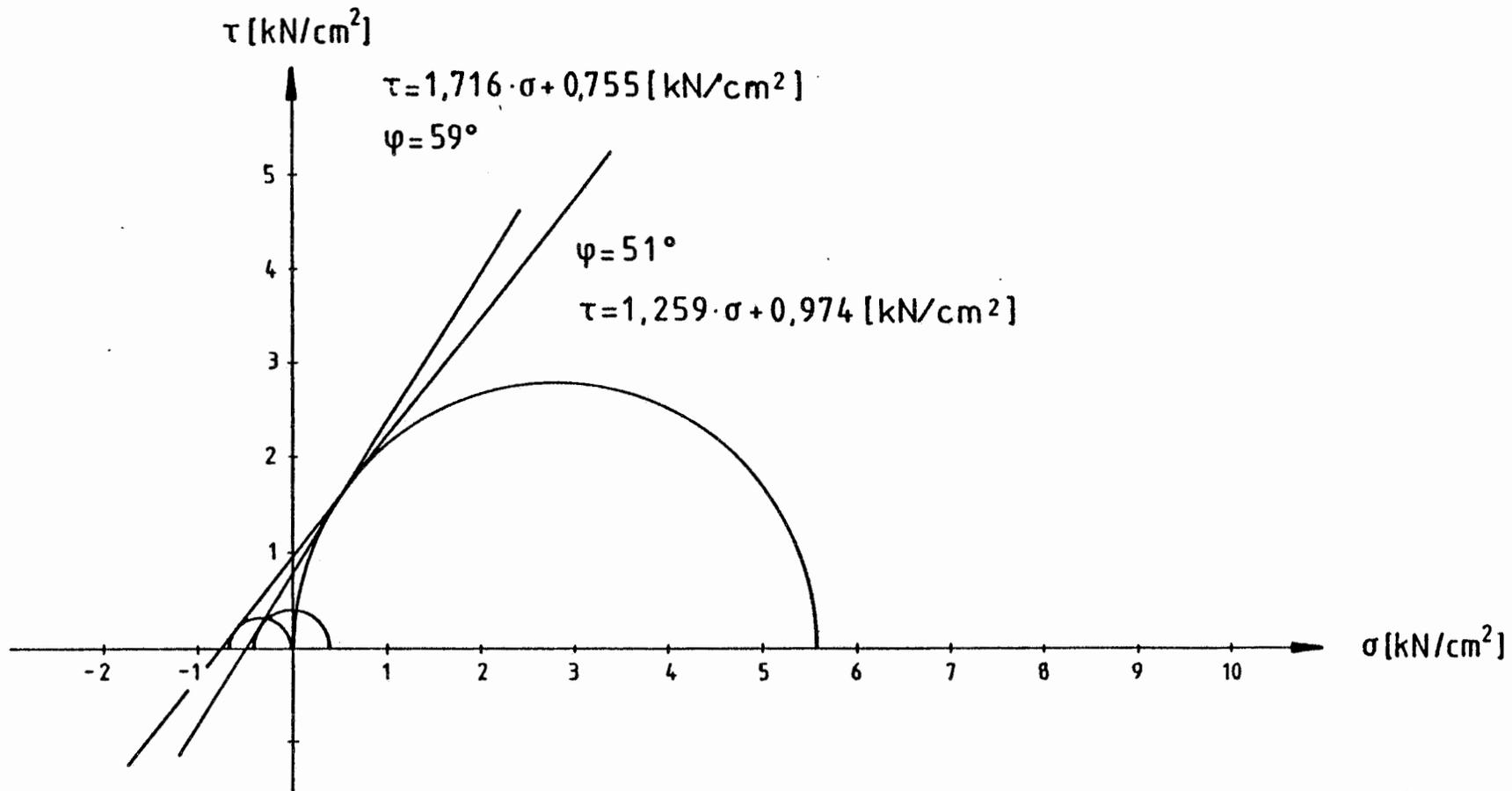
- [1] Laufer, H. (1958) Gebirgsklassifizierung für den Stollenbau
Geologie und Bauwesen, 24, H.1, S. 46-51
- [2] Barton, N. (1974) Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support
Lien, R.
Lunde, J.
Rock Mechanics, 6, S. 189-236
- [3] Bieniawski, Z.T.(1973) Engineering Classification of Jointed Rock Masses
Trans.S.African Inst. Civ.Eng., 15, S. 335-343, Johannesburg
- [4] Bieniawski, Z.T. (1976) Rock Mass Classifications in Rock Engineering
Proc. of the Symp. on Exploration for Rock Engineering, 1, S. 97-106
Johannesburg
- [5] Bender, F. (1984) Angewandte Geowissenschaften
Band III
- [6] GSF (1983) Aktuelle Ergebnisse der laufenden F+E-Arbeiten in der Schachanlage Konrad zur Endlagerung radioaktiver Abfälle, Jahresbericht 1982, GSF-T 165
- [7] GSF (1982) Eignungsprüfung der Schachanlage Konrad für die Endlagerung radioaktiver Abfälle
Abschlußbericht GSF-T 136

Coulomb'sche Bruchkurve für die Probenreihe
Konrad: 3/137/003



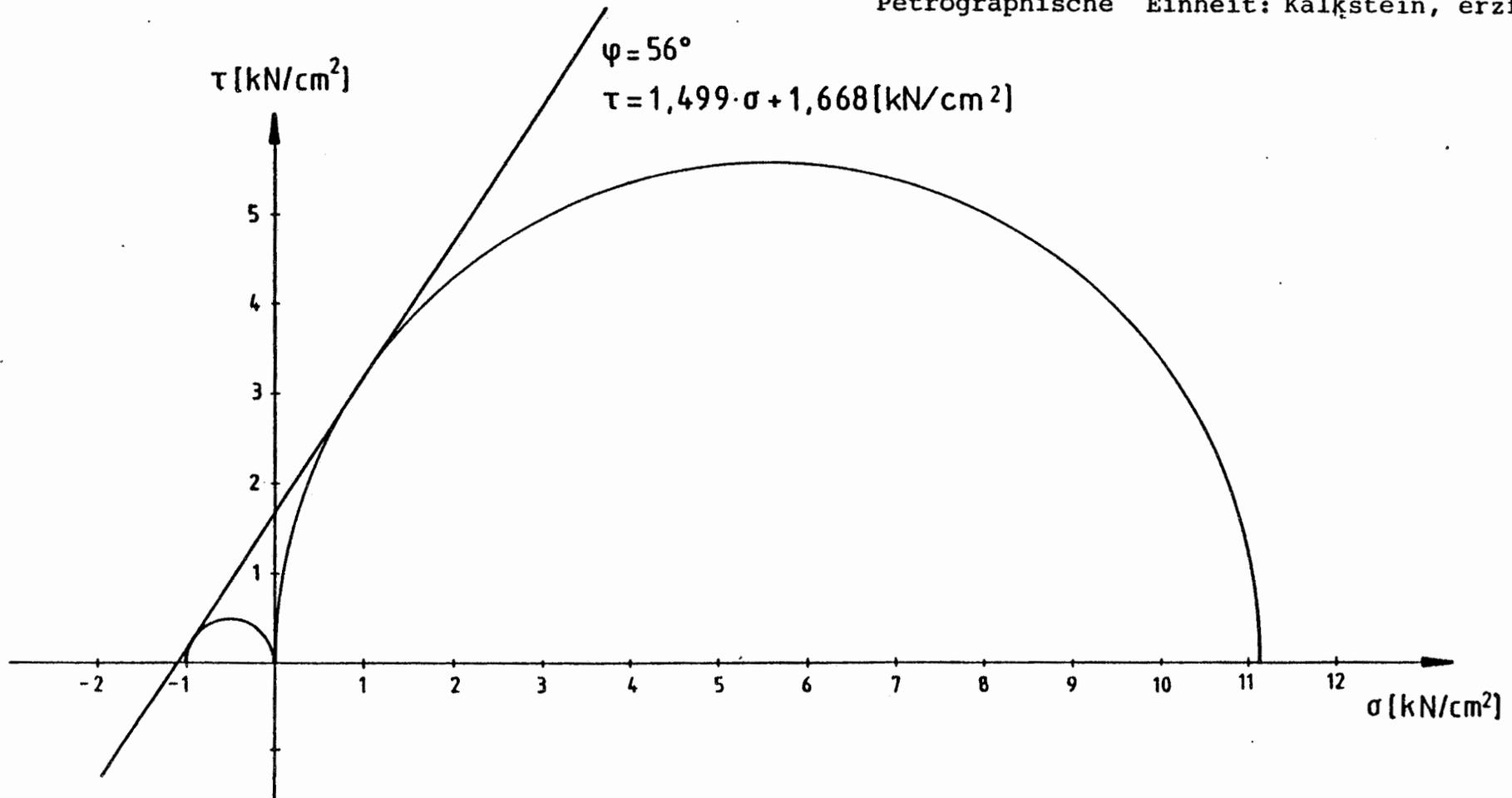
Coulomb'sche Bruchkurve für die Probenreihe
Konrad: 3/138/002

Stratigraphische Einheit: Unteres Kimmeridge
Petrographische Einheit: Kalkstein-Mergelstein



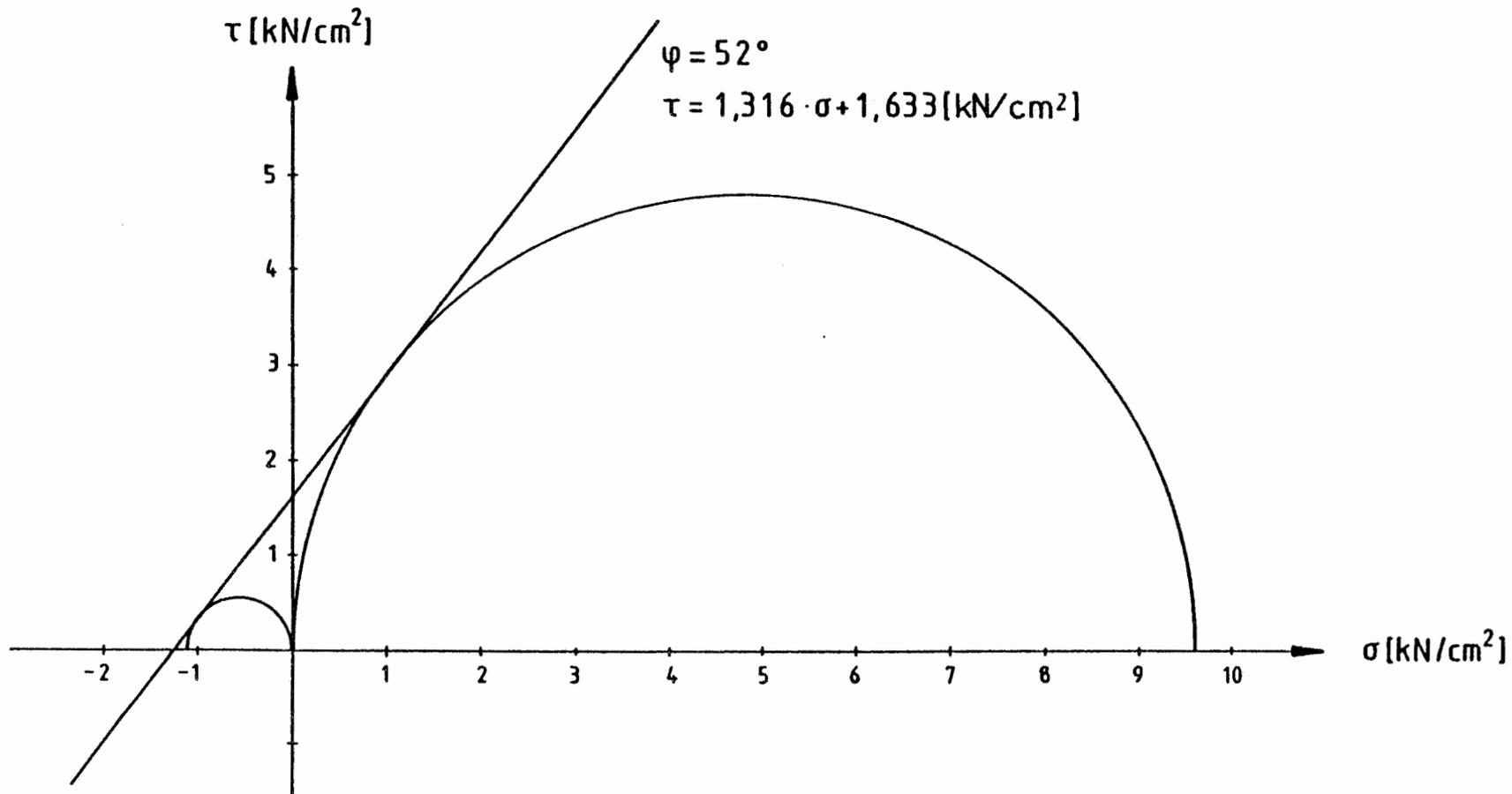
Coulomb'sche Bruchkurve für die Probenreihe
Konrad: 5/96/005

stratigraphische Einheit: Mittlerer Korallenoolith
Petrographische Einheit: Kalkstein, erzführend



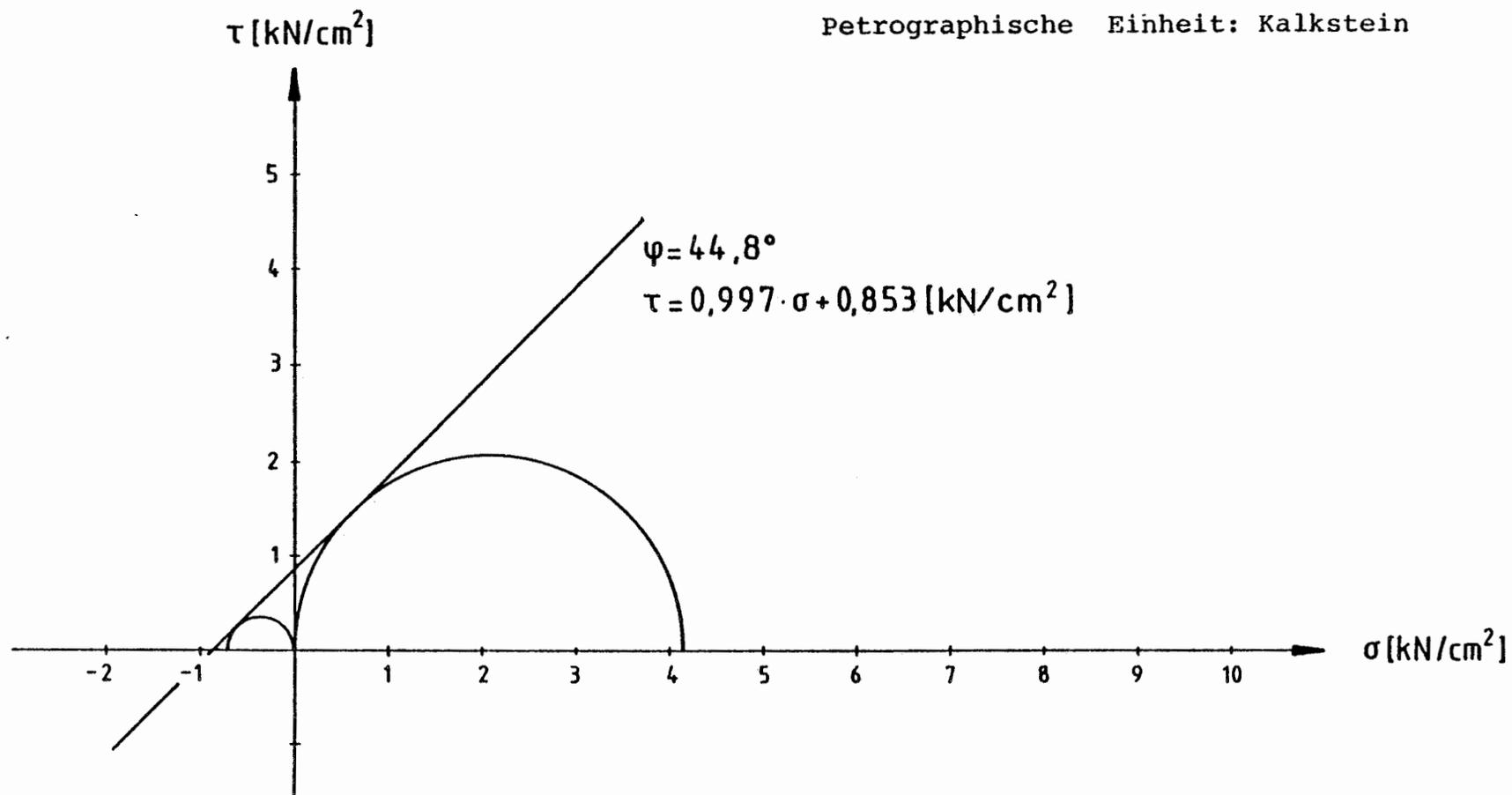
Coulomb'sche Bruchkurve für die Probenreihe
Konrad:5/96/006

Stratigraphische Einheit: Oberer Korallenoolith
Petrographische Einheit: Kalkstein - Mergelstein



Coulomb'sche Bruchkurve für die Probenreihe
Konrad: 3/138/003

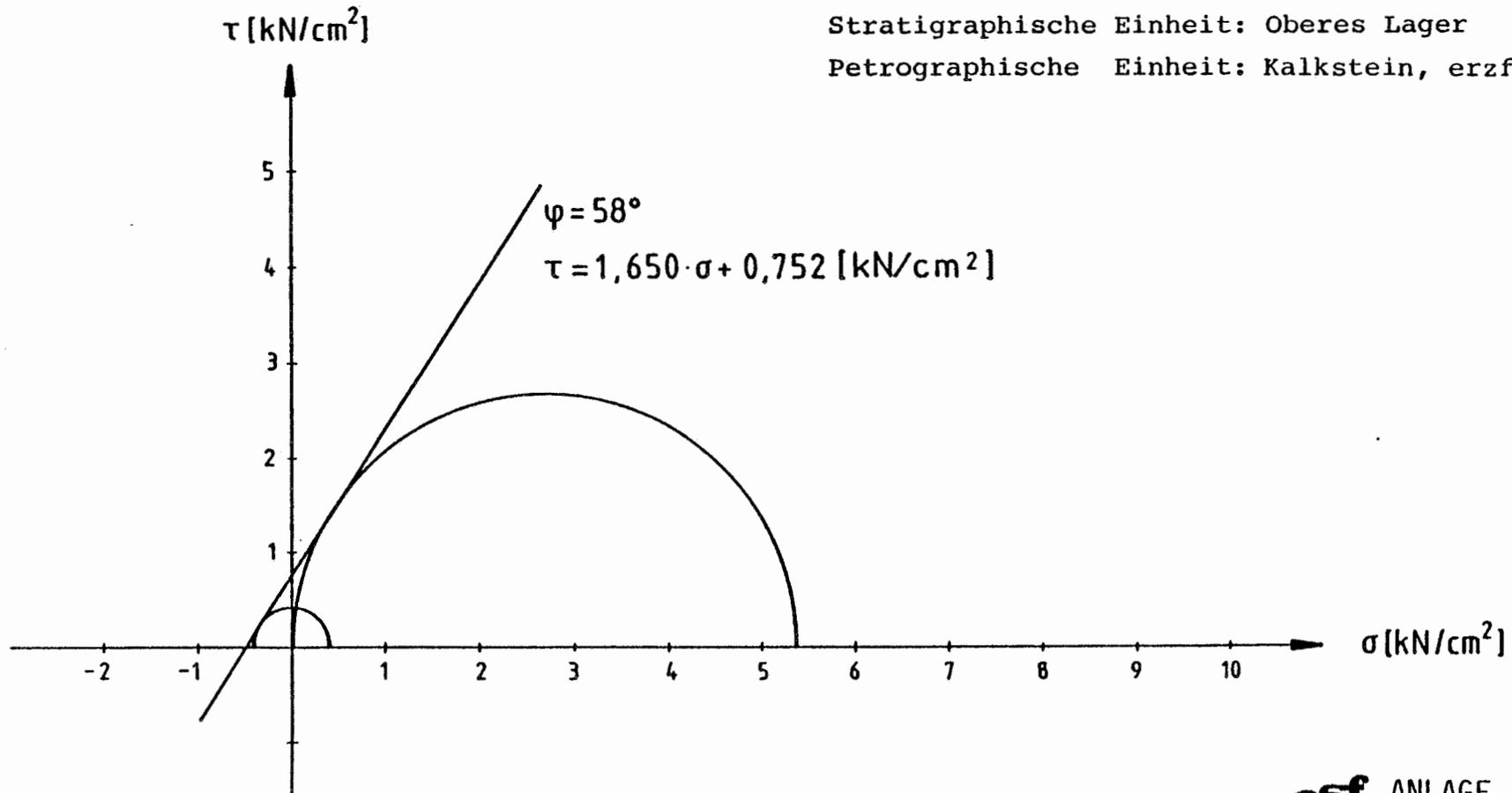
Stratigraphische Einheit: Oberes Lager
Petrographische Einheit: Kalkstein



Coulomb'sche Bruchkurve für die Probenreihe
Konrad: 3/138/004

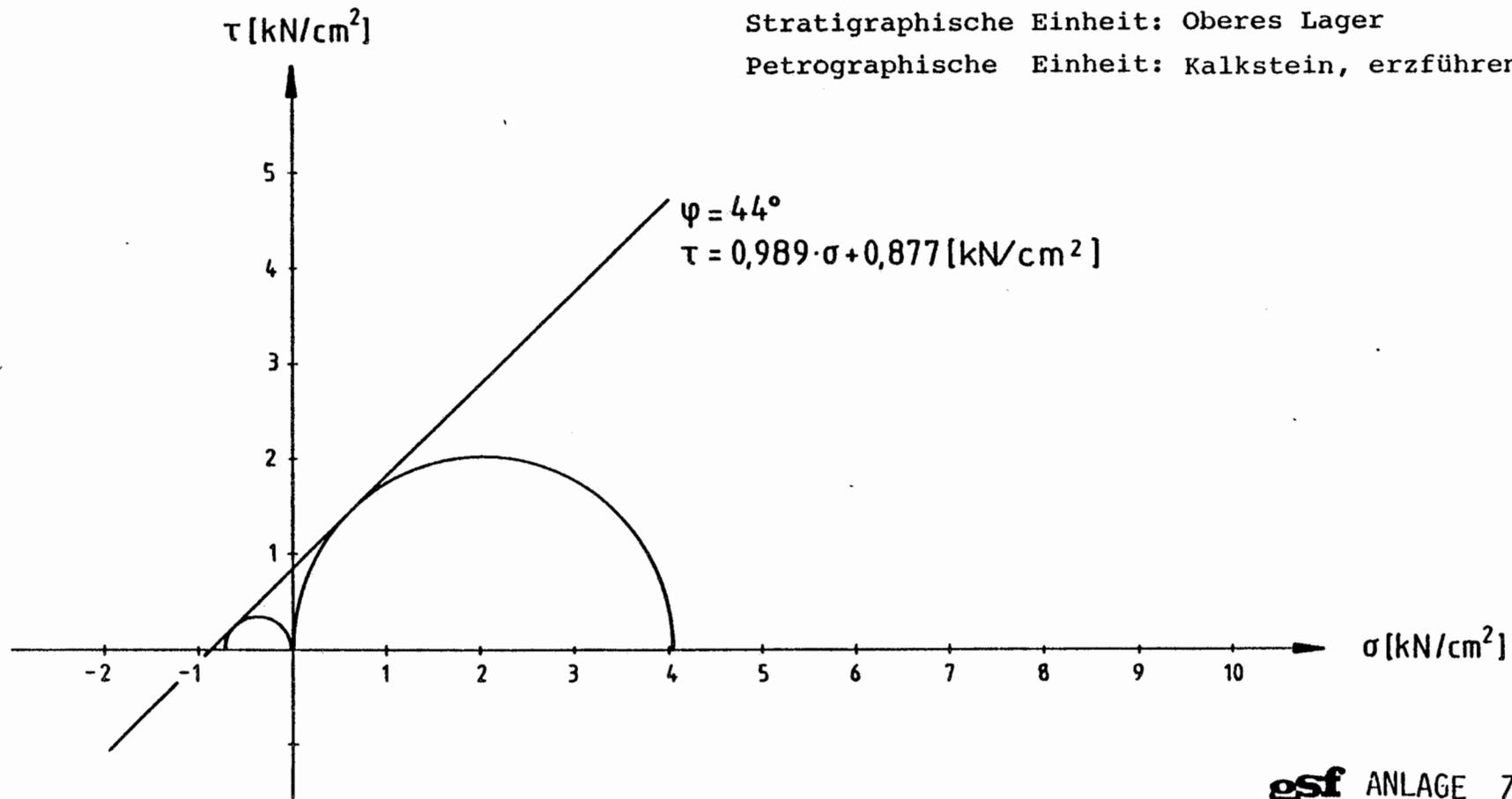
Stratigraphische Einheit: Oberes Lager

Petrographische Einheit: Kalkstein, erzführend



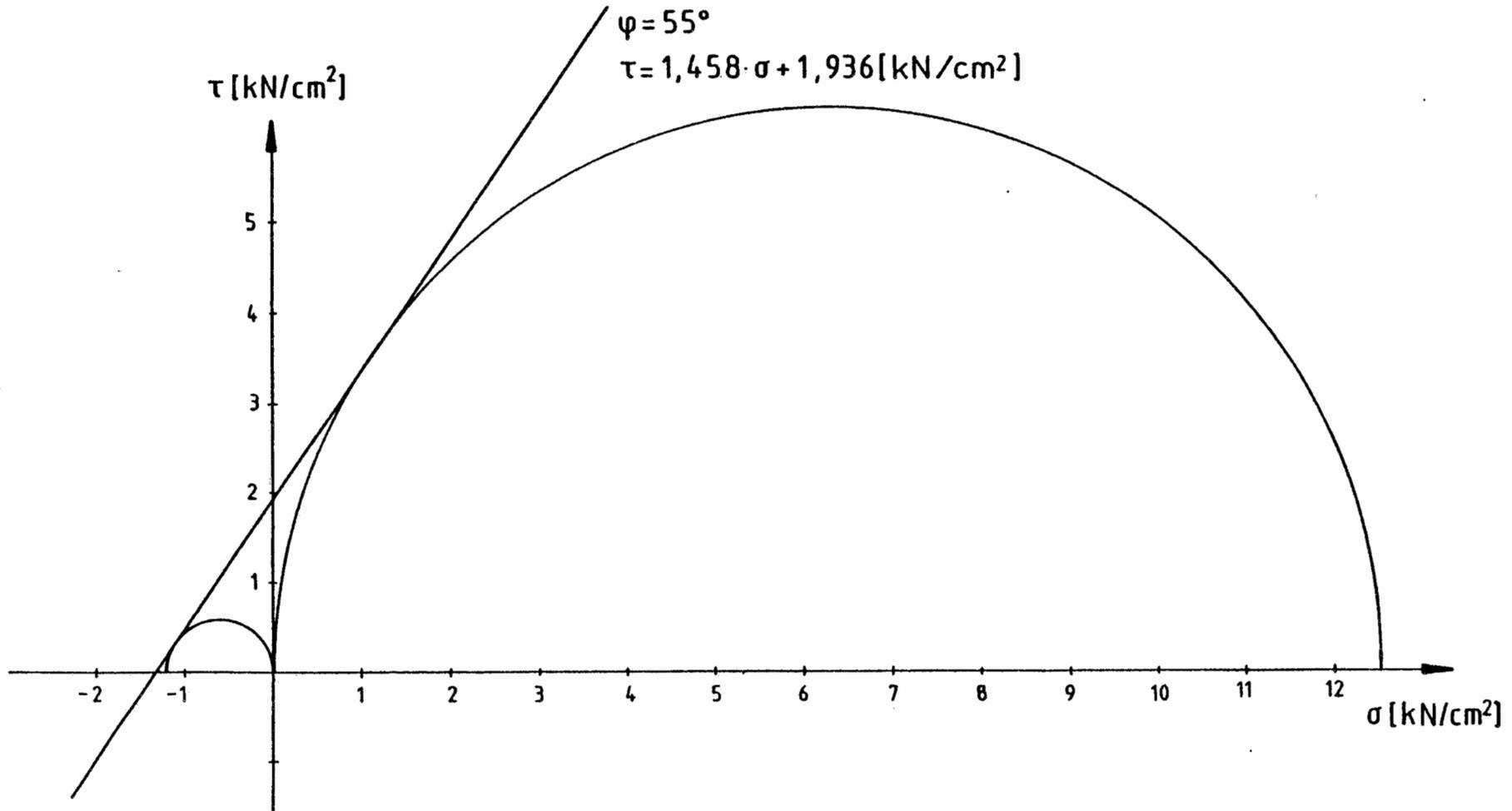
Coulomb'sche Bruchkurve für die Probenreihe
Konrad: 3/138/005

Stratigraphische Einheit: Oberes Lager
Petrographische Einheit: Kalkstein, erzführend



Coulomb'sche Bruchkurve für die Probenreihe
Konrad: 5/96/004

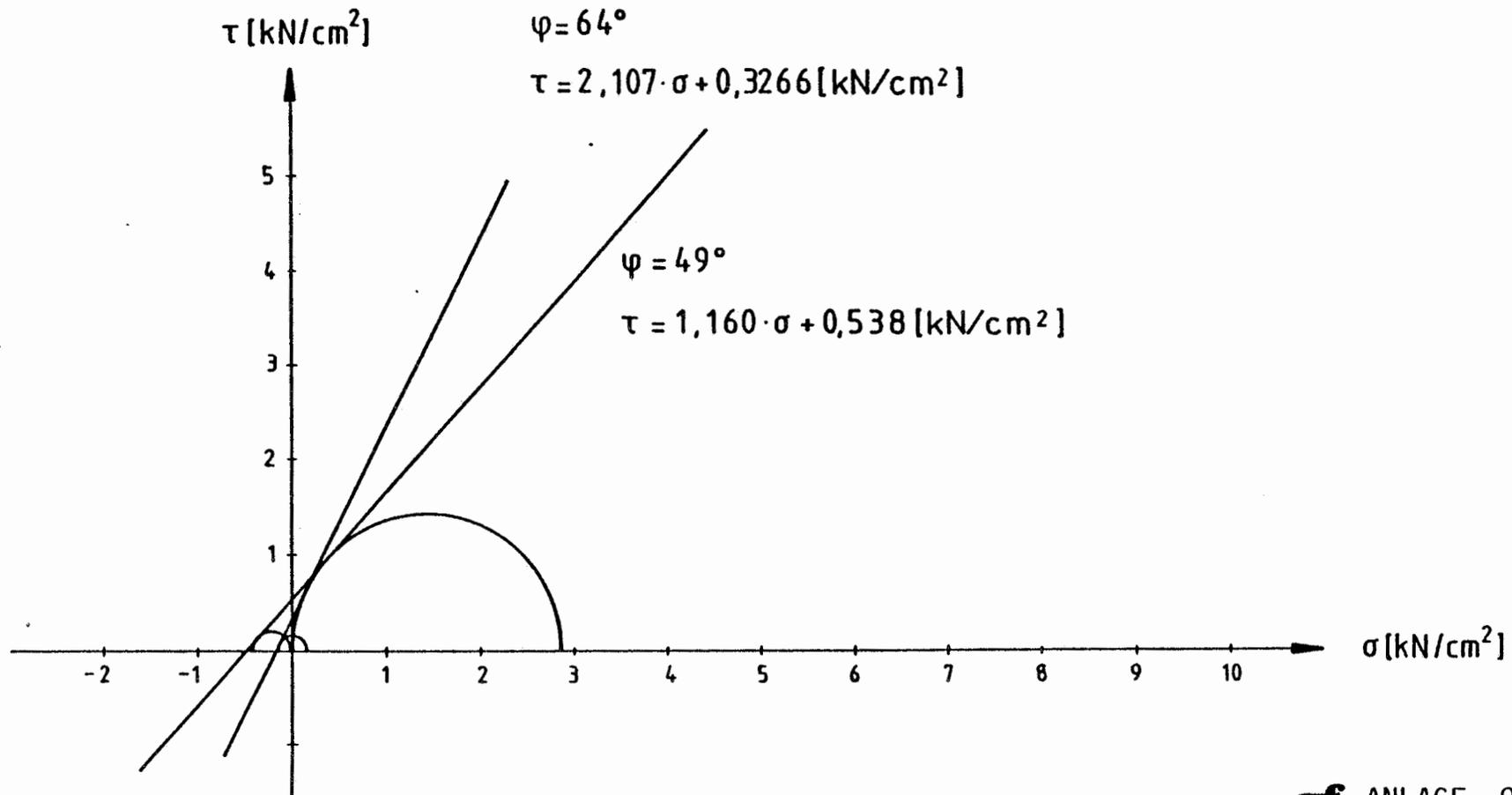
Stratigraphische Einheit: Oberes Lager
Petrographische Kalkstein, erzführend



Coulomb'sche Bruchkurve für die Probenreihe
Konrad:3/138/006

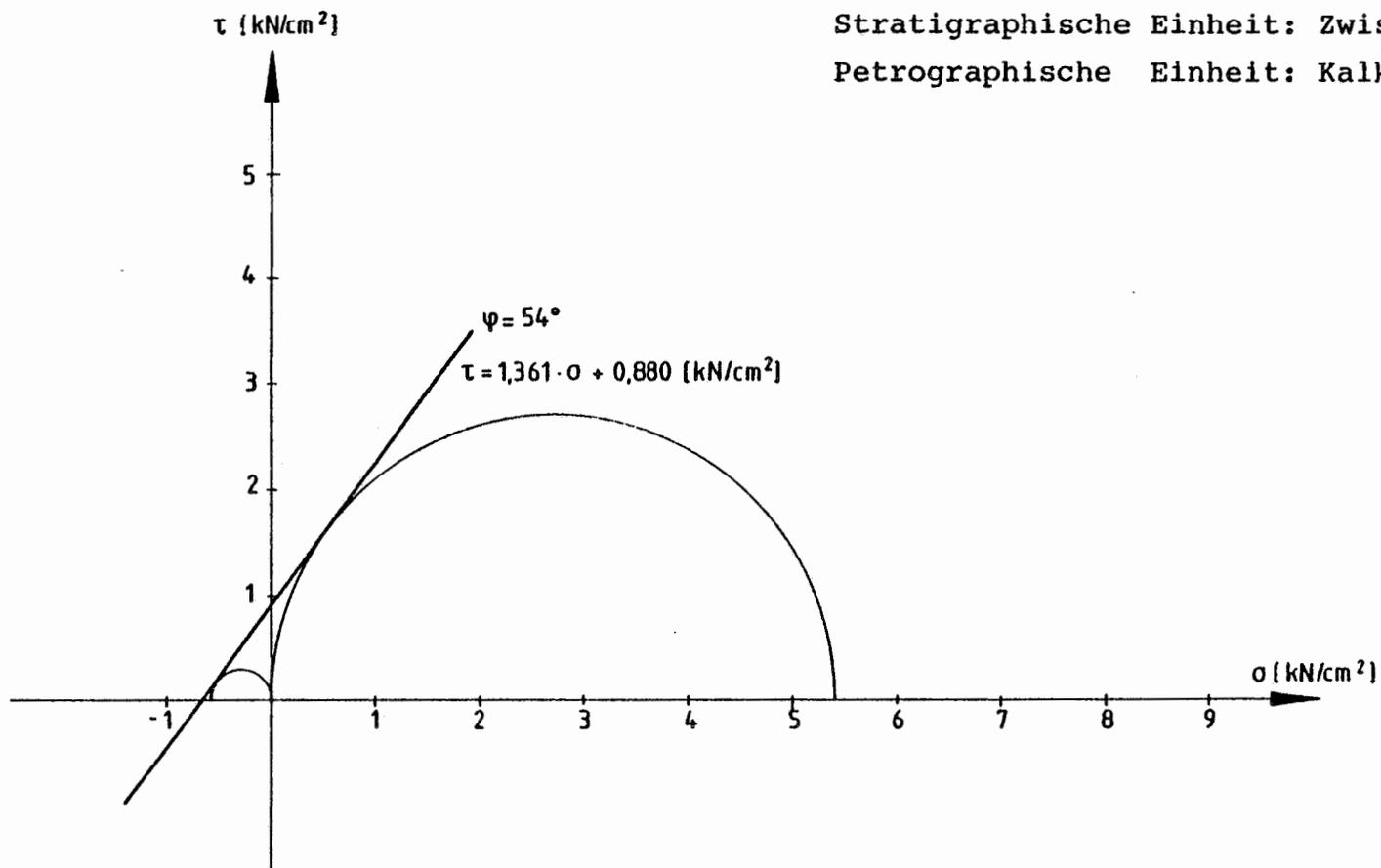
Stratigraphische Einheit: Zwischenmittel

Petrographische Einheit: Mergelstein, erzführend



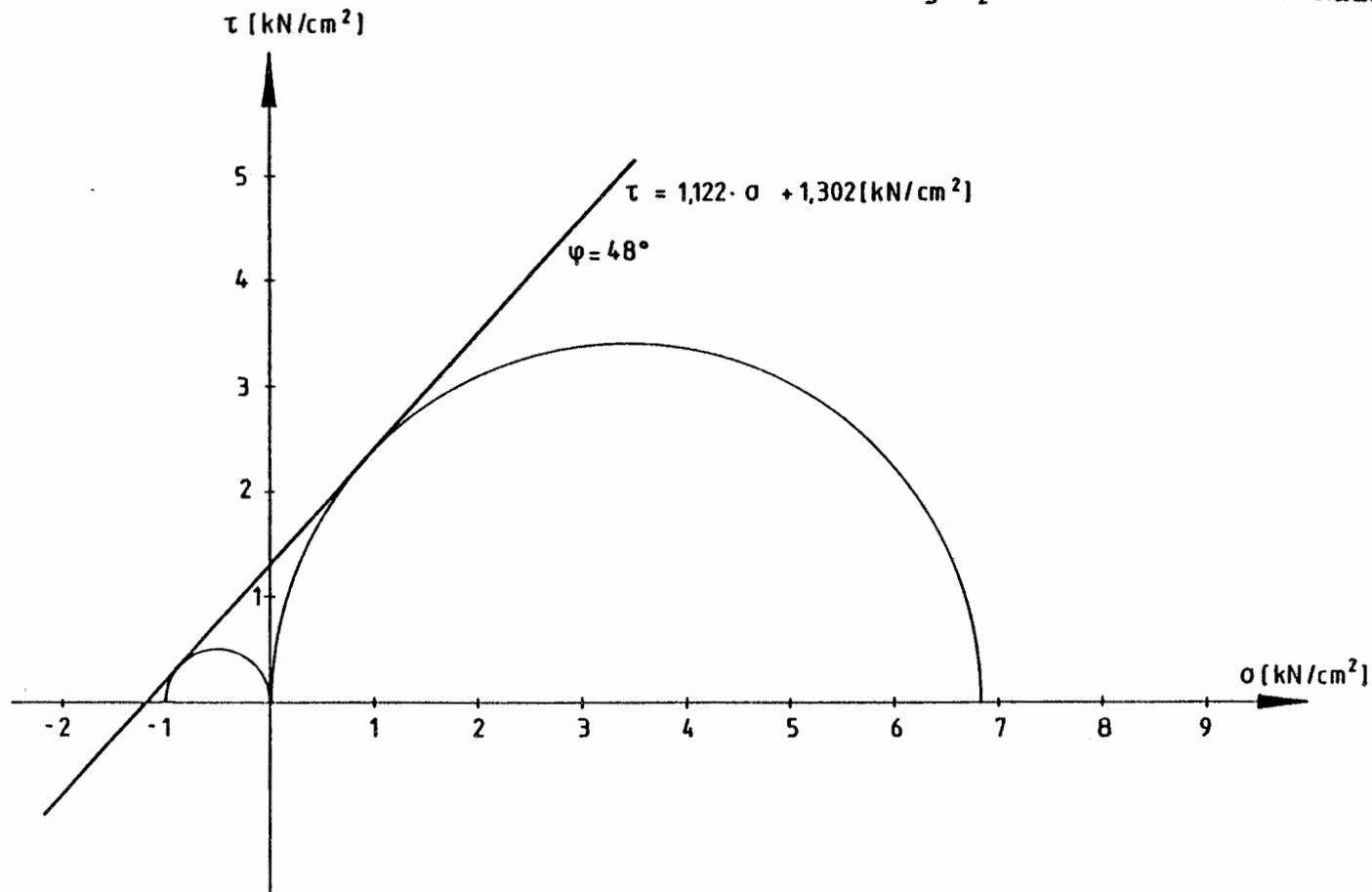
Coulomb'sche Bruchkurve für die Probenreihe
Konrad: 5/96/002

Stratigraphische Einheit: Zwischenmittel
Petrographische Einheit: Kalkstein, tonig



Coulomb'sche Bruchkurve für die Probenreihe
Konrad: 5/96/003

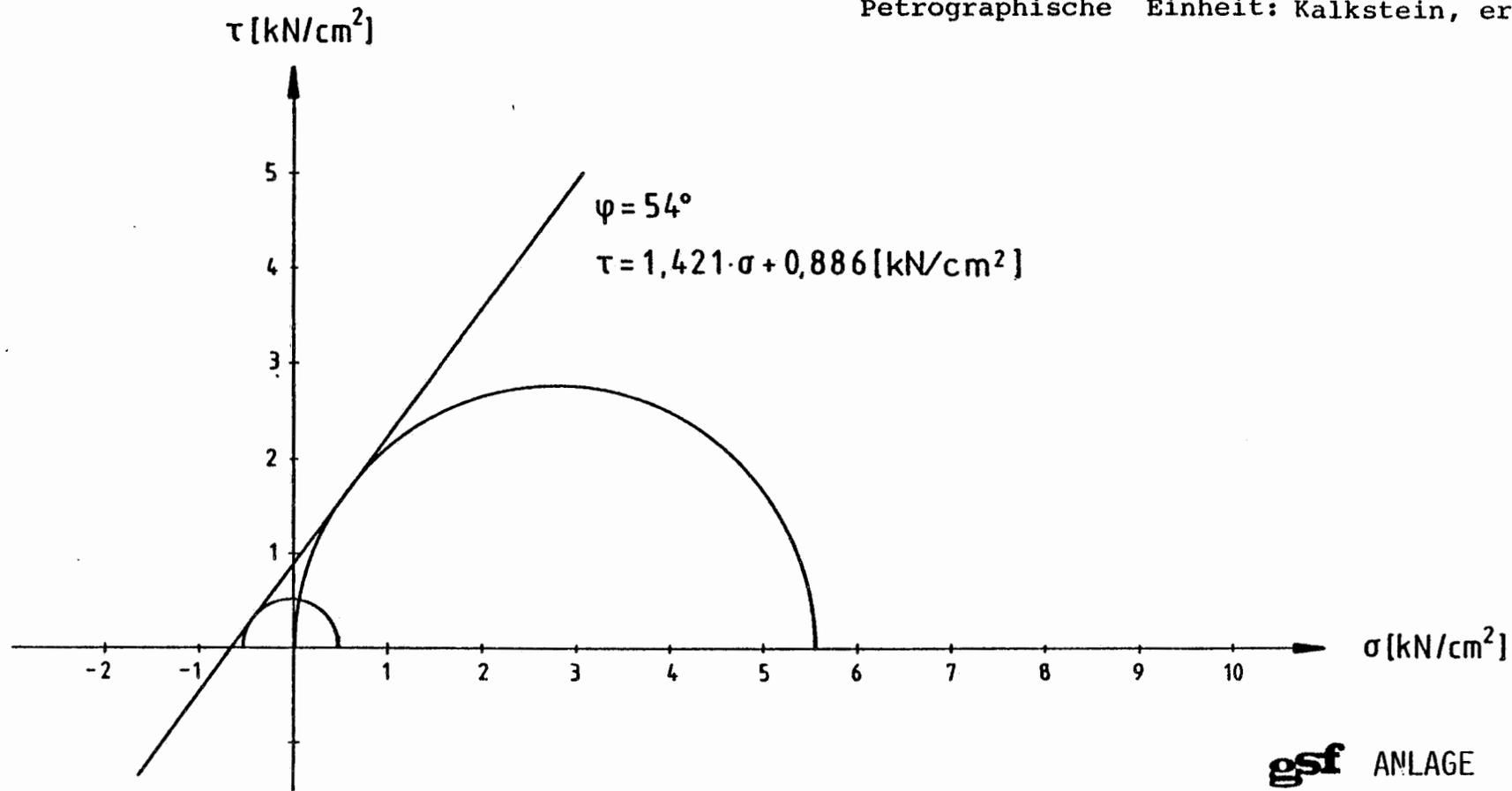
Stratigraphische Einheit: Zwischenmittel
Petrographische Einheit: Kalkstein



Coulomb'sche Bruchkurve für die Probenreihe
Konrad:3/138/008

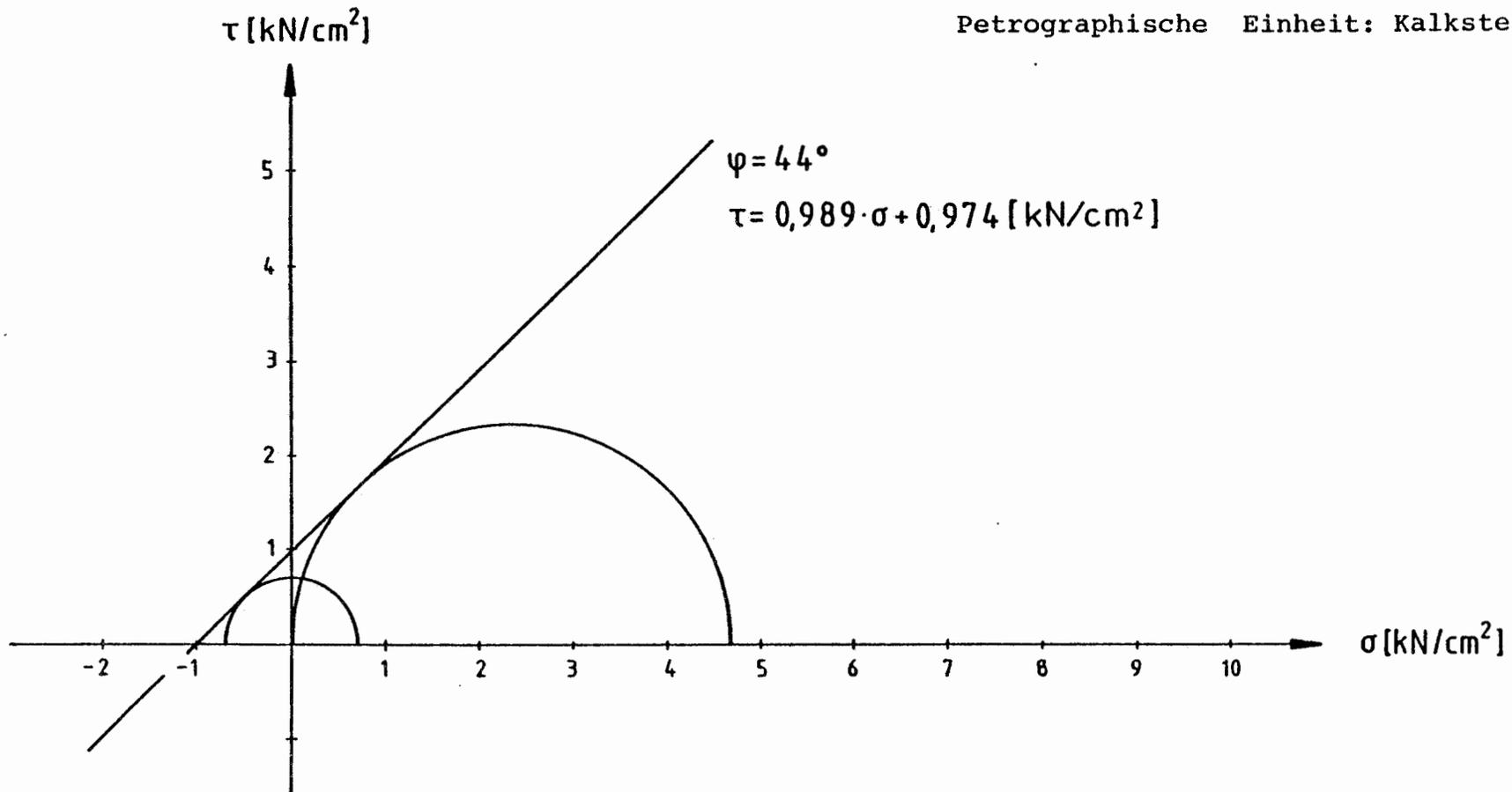
Stratigraphische Einheit: Unteres Lager

Petrographische Einheit: Kalkstein, erzführend



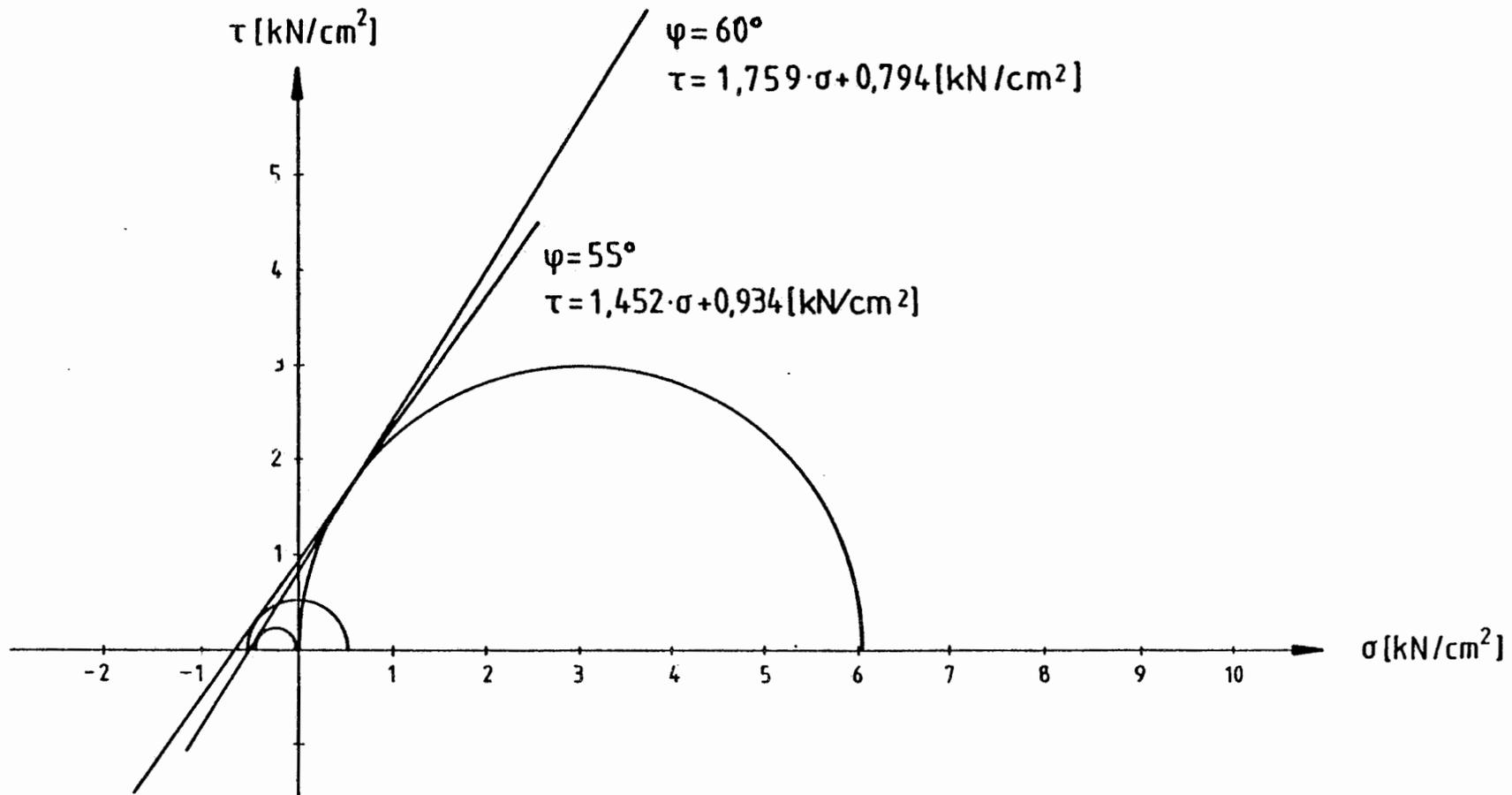
Coulomb'sche Bruchkurve für die Probenreihe
Konrad:3/138/009

Stratigraphische Einheit: Unteres Lager
Petrographische Einheit: Kalkstein, erzführend



Coulomb'sche Bruchkurve für die Probenreihe
Konrad: 3/138/010

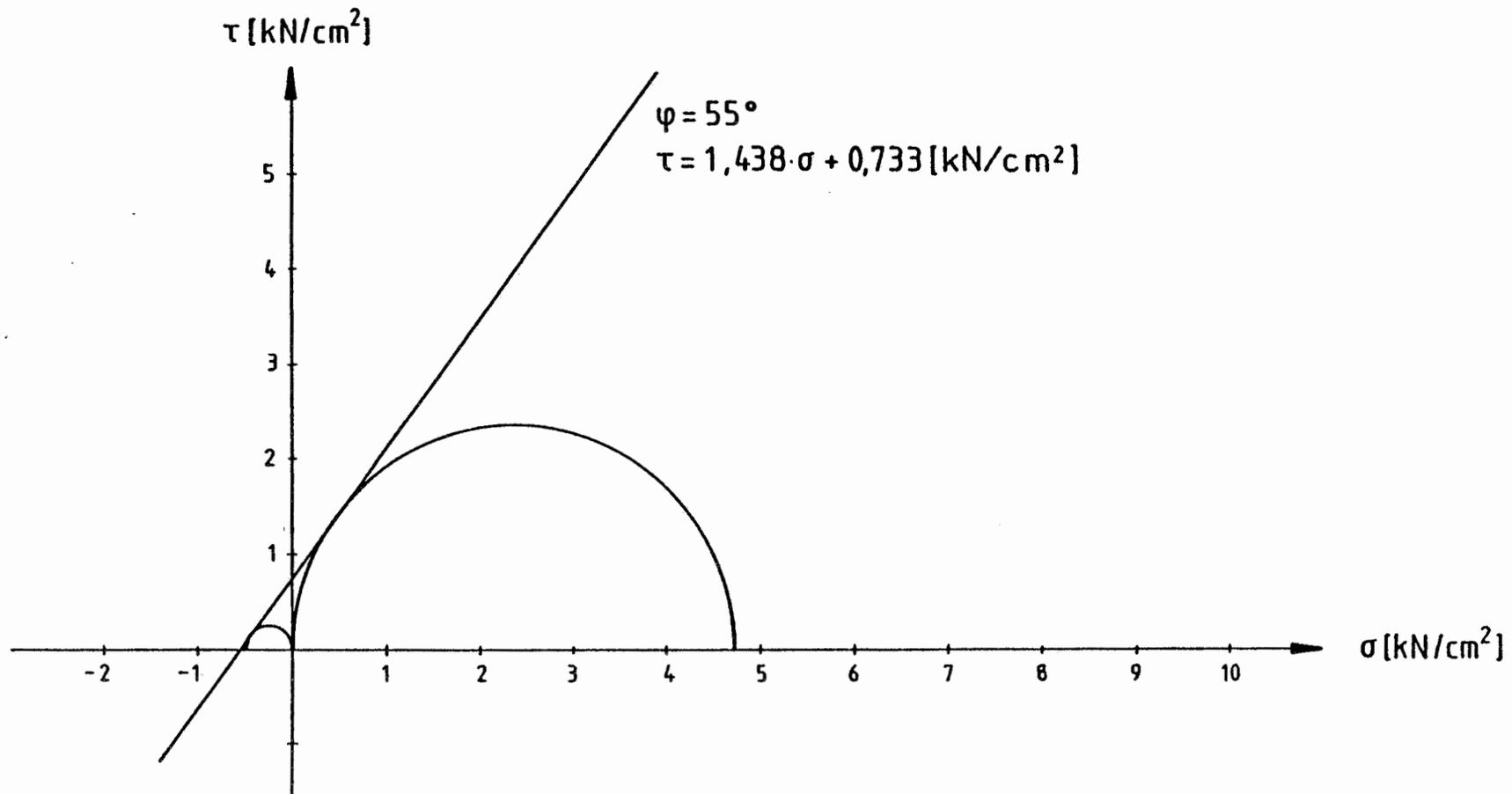
Stratigraphische Einheit: Unteres Lager
Petrographische Einheit: Eisenoolith, mergelig



Coulomb'sche Bruchkurve für die Probenreihe
Konrad: 5/95/004

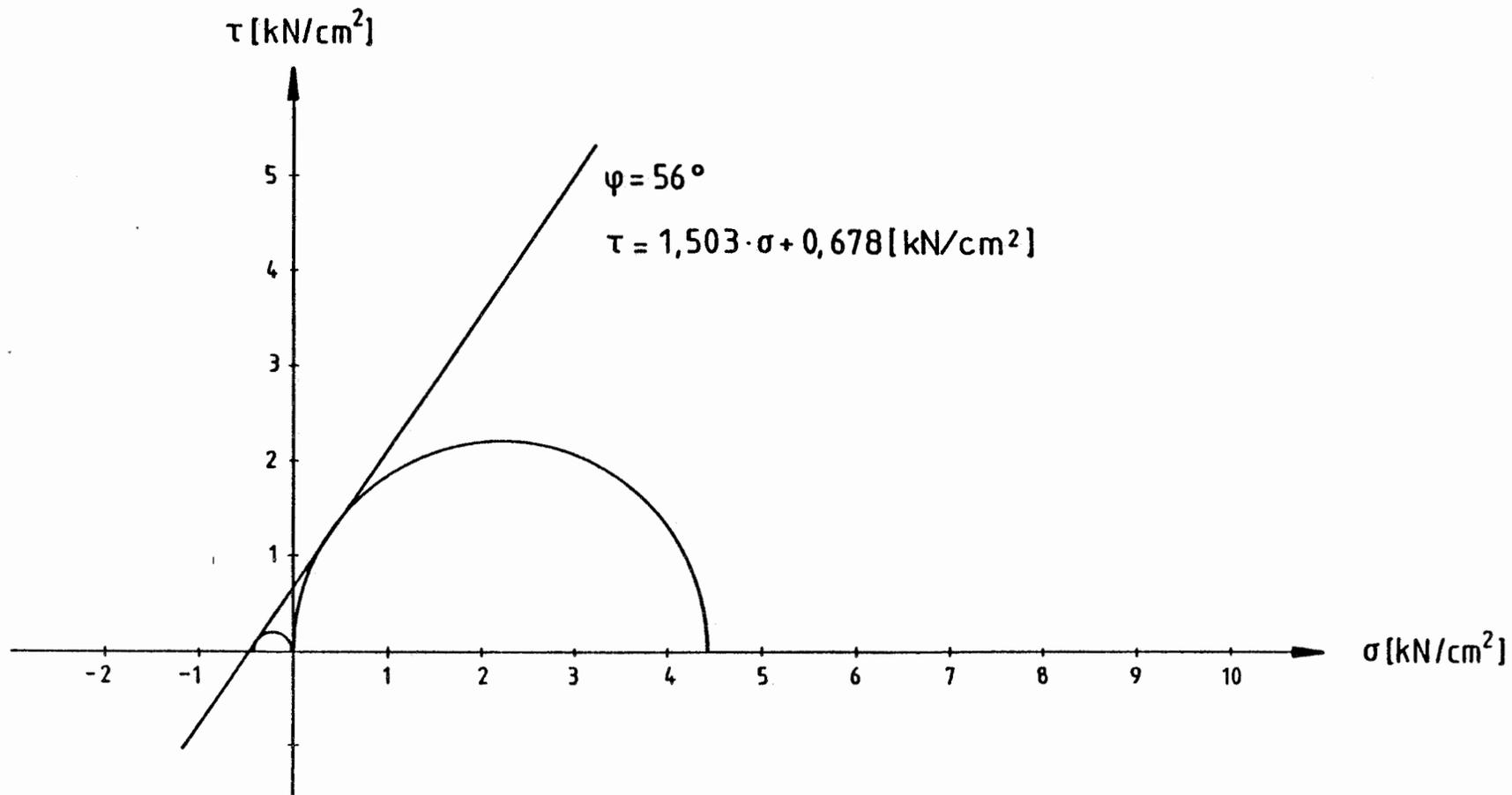
Stratigraphische Einheit: Erzkalkserie

Petrographische Einheit: Kalkstein, erzführend



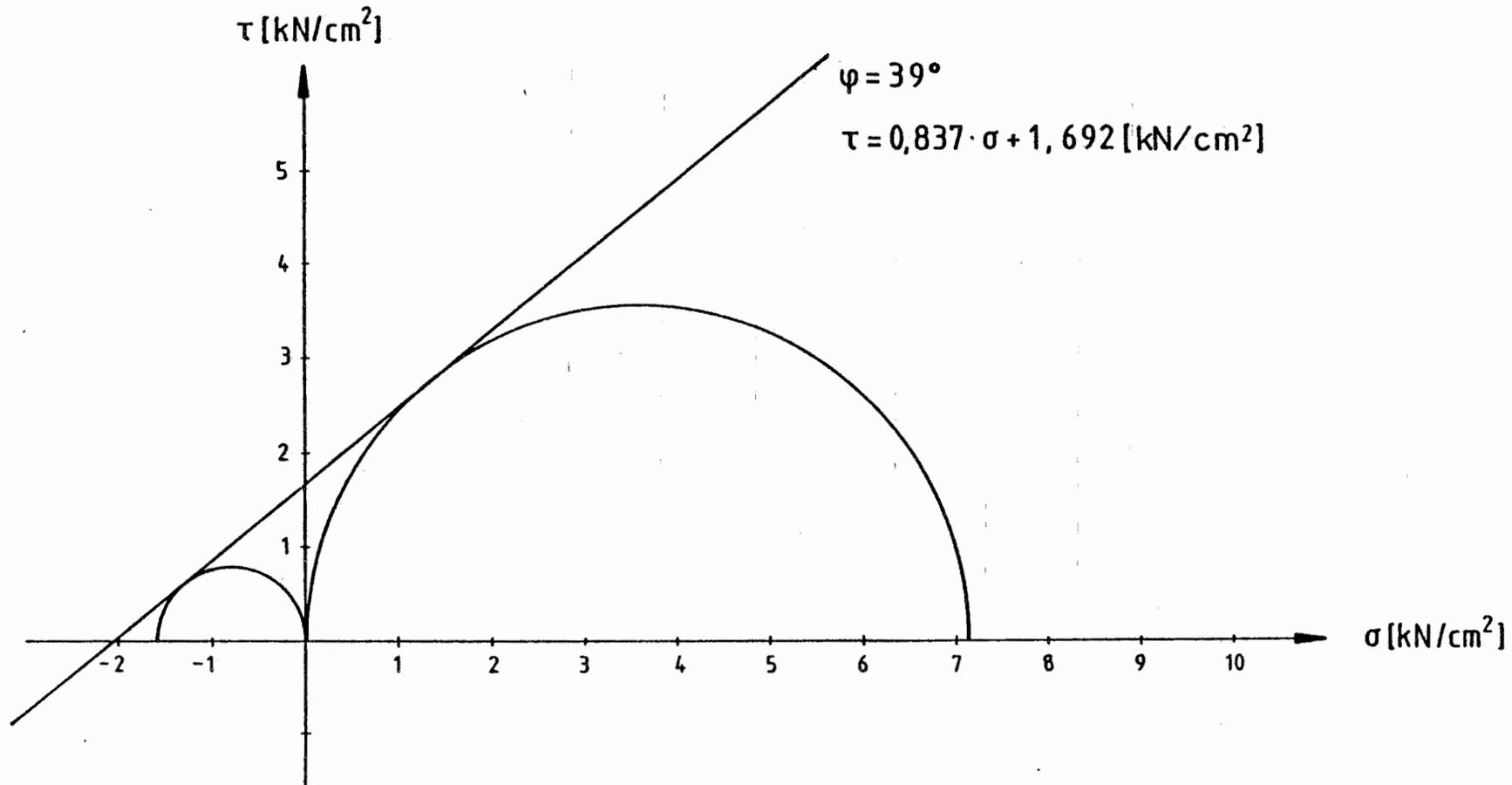
Coulomb'sche Bruchkurve für die Probenreihe
Konrad:5/95/007

Stratigraphische Einheit: Fladentonsteinserie
Petrographische Einheit: Mergelstein



Coulomb'sche Bruchkurve für die Probenreihe
Konrad:3/139/005

Stratigraphische Einheit: Trümmerkalkserie
Petrographische Einheit: Kalkstein.

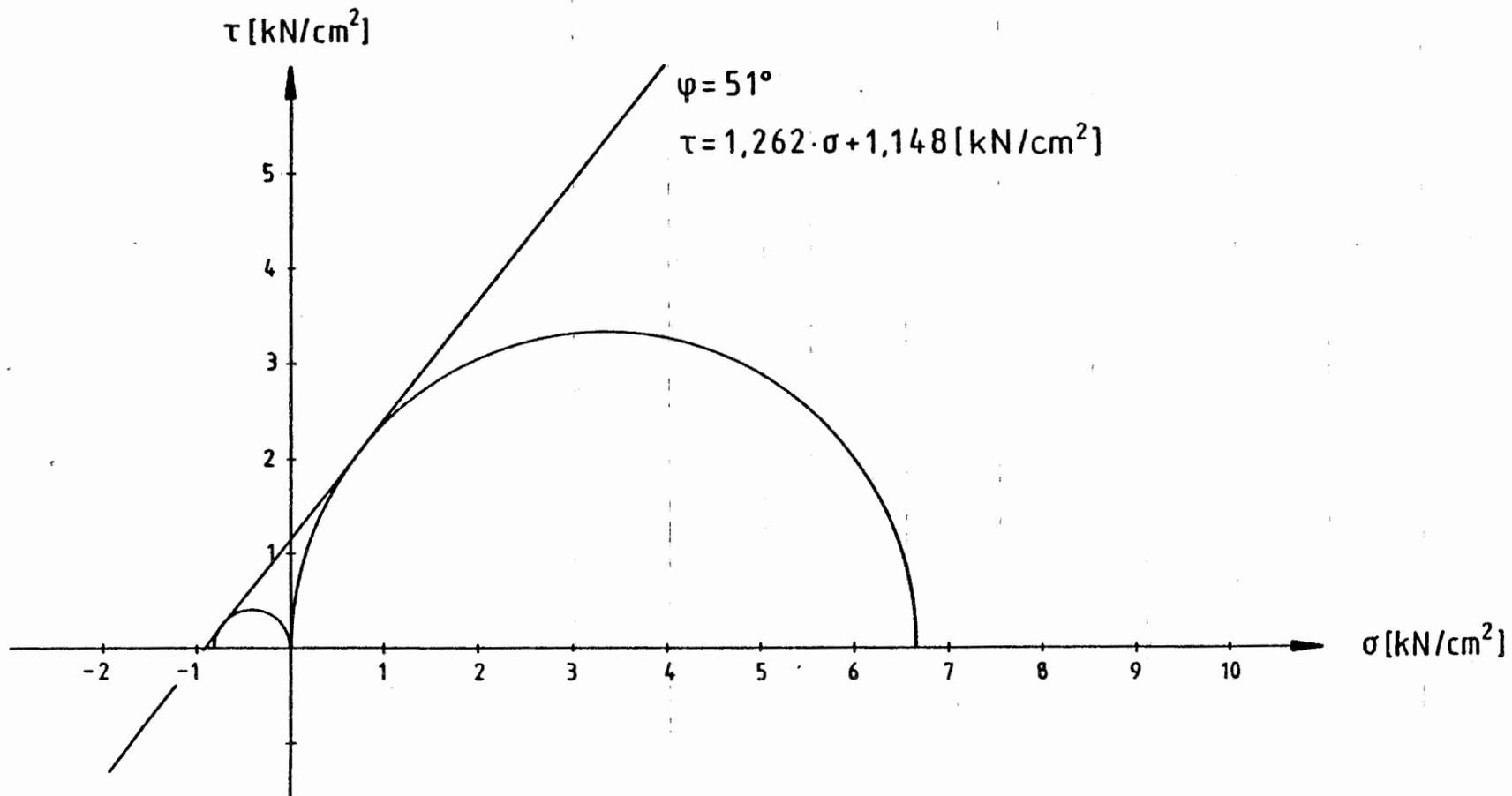


Coulomb'sche Bruchkurve für die Probenreihe

Konrad:3/139/006

Stratigraphische Einheit: Trümmerkalkserie

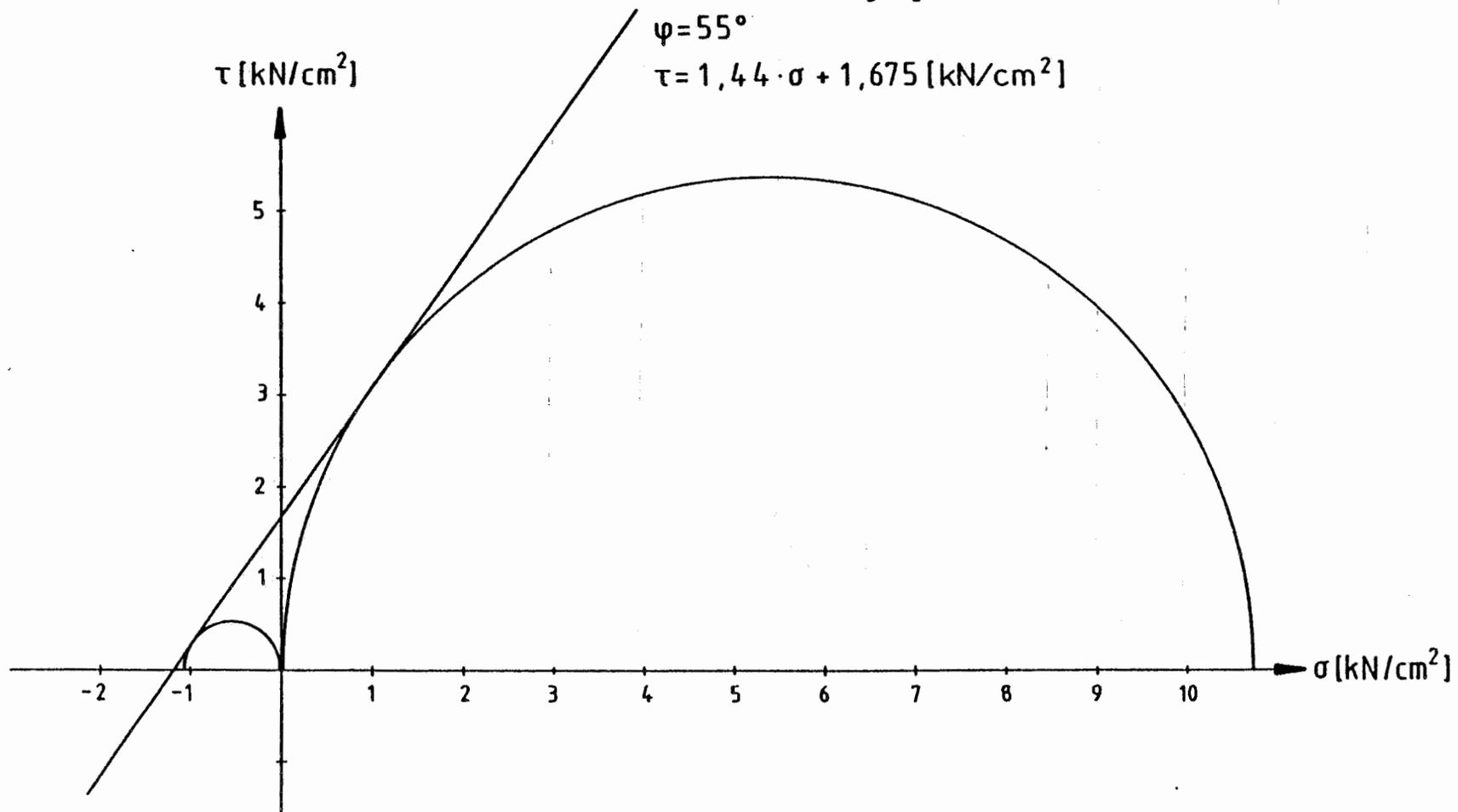
Petrographische Einheit: Kalkstein



Coulomb'sche Bruchkurve für die Probenreihe
Konrad:3/139/007

Stratigraphische Einheit: Trümmerkalkserie

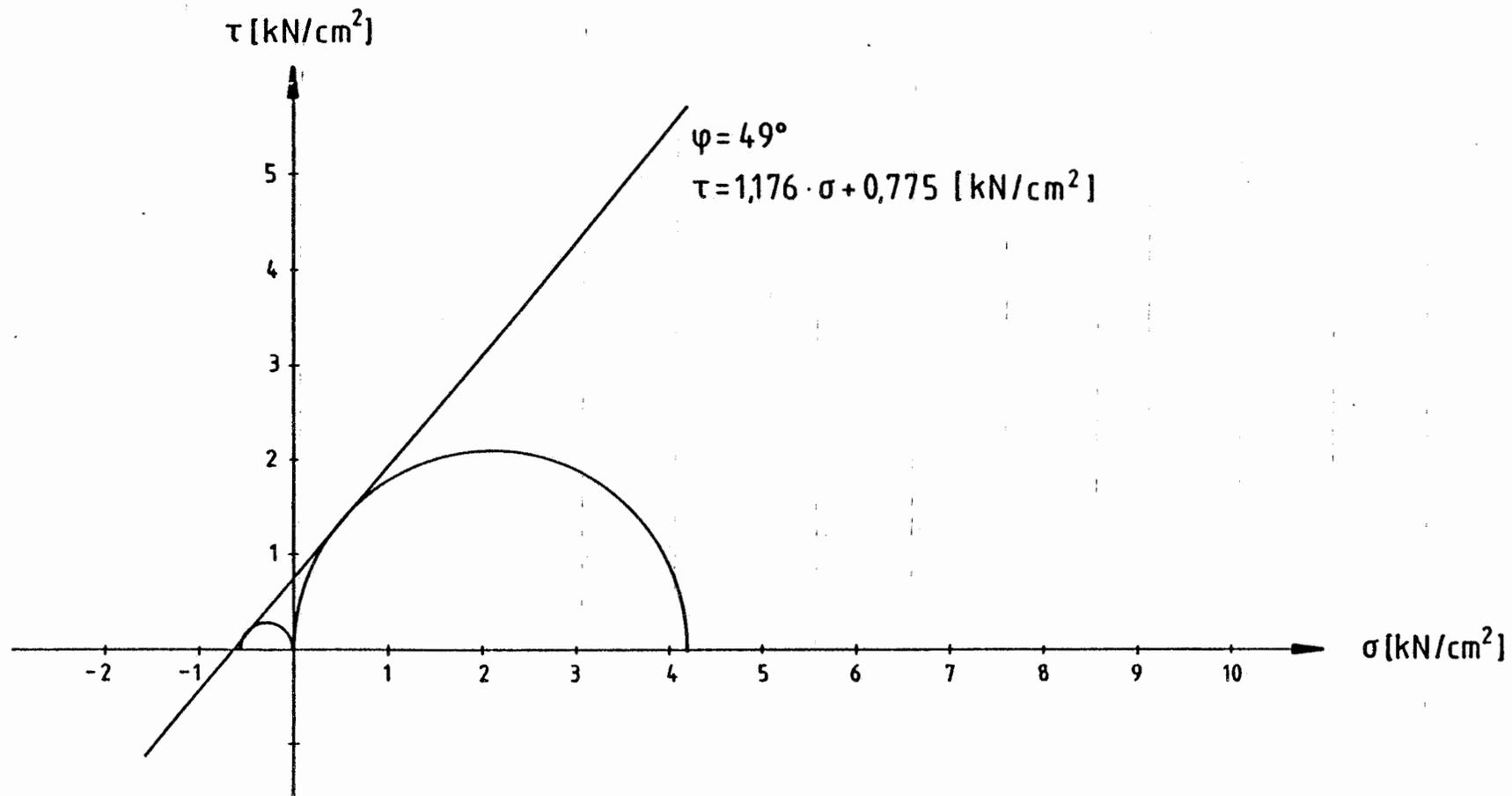
Petrographische Einheit: Kalkstein



Coulomb'sche Bruchkurve für die Probenreihe
Konrad:3/139/008

Stratigraphische Einheit: Callovium

Petrographische Einheit: Tonstein, kalkig

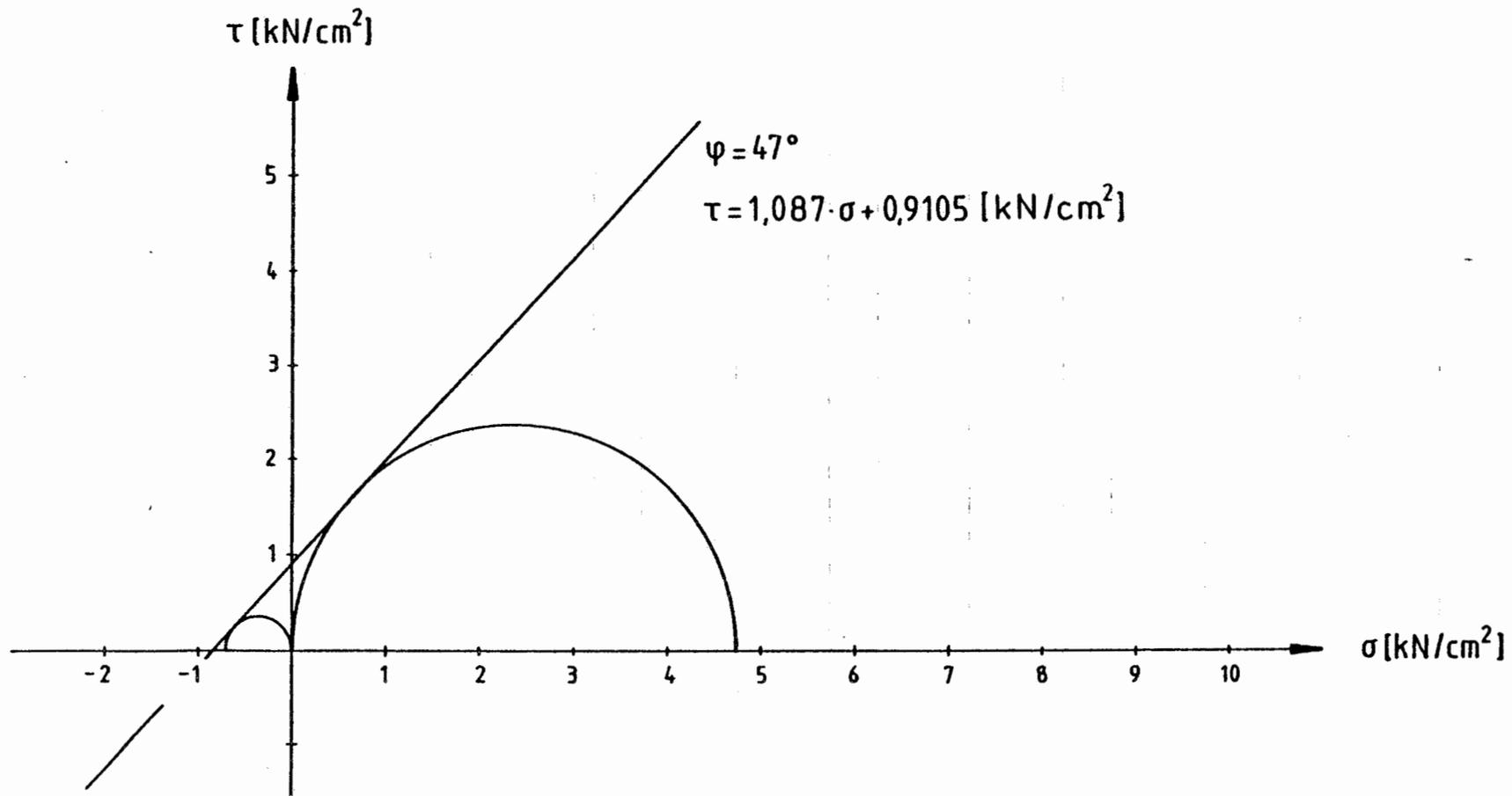


Coulomb'sche Bruchkurve für die Probenreihe

Konrad:3/139/009

Stratigraphische Einheit: Callovium

Petrographische Einheit: Tonstein, kalkig



Zusammenfassung felsmechanische Laboruntersuchungen Bohrungen 3/137+138

Stratigraphie	Petrographie	Teufen	Probenreihe	Einaxiale Festigkeiten [MPa]				Bruchwege [mm]				Spaltzugfestigkeiten [MPa]				Torsionsfestigkeiten [MPa]					
				N	MW	S	\bar{S}	N	MW	S	\bar{S}	N	MW	S	\bar{S}	N	MW	S	\bar{S}		
Unteres Kimmeridge	Mergelstein	0,00- 29,00	3/137/001	1	27,200	-----	-----	1	0,400	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----			
	Kalkstein- Mergelstein		3/137/002	11	54,545	20,828	11,115	11	0,539	0,217	0,112	4	7,213	0,287	0,203	2	4,835	1,478	1,045		
			3/137/003																		
			3/138/001																		
			3/138/002																		
Mittlerer Korallenoolith	Oberes Lager	29,00- 43,00	3/138/003	4	41,100	10,761	5,381	4	0,608	0,127	0,063	1	7,190	-----	-----	-----	-----	-----			
			Kalkstein, erzführend	3/138/004	7	47,986	14,137	7,576	7	0,528	0,069	0,038	2	7,005	0,898	0,635	1	3,920	-----	-----	
	3/138/005																				
	Zwischenmittel		Mergelstein erzführend	3/138/006	5	26,640	9,050	5,298	5	0,704	0,131	0,082	1	4,140	-----	-----	1	1,460	-----	-----	
				3/138/007																	
	Unteres Lager		Kalkstein, erzführend	56,00- 66,00	3/138/008	7	52,772	7,402	3,933	7	0,562	0,047	0,025	-----	-----	-----	-----	2	6,045	1,322	0,935
					3/138/009																
			Eisenoolith mergelig	66,00- 76,80	3/138/010 3/138/011	6	53,700	7,875	4,547	6	0,620	0,068	0,040	1	4,270	-----	-----	1	5,360	-----	-----

Zusammenfassung felsmechanische Laboruntersuchungen Bohrungen 3/139+140

Stratigraphie	Petrographie	Teufen	Probenreihe	Einaxiale Festigkeiten [MPa]				Bruchwege [mm]				Spaltzugfestigkeiten [MPa]				Torsionsfestigkeiten [MPa]				
				N	MW	S	\bar{S}	N	MW	S	\bar{S}	N	MW	S	\bar{S}	N	MW	S	\bar{S}	
Unterer Korallenoolith	Erzkalkserie	Kalkstein, erzführend	0,00-12,30	3/139/001 3/140/001 3/140/002	2	37,250	5,303	3,750	2	0,745	0,191	0,135	8	6,360	1,080	0,513	---	-----	-----	-----
	Fladentonsteinserie	Mergelstein	12,30-39,00	3/139/004	-	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	Trümmerkalkserie	Kalkstein	39,00-55,55	3/139/005 3/139/006 3/139/007	8	77,913	14,780	8,038	8	0,588	0,092	0,054	6	11,463	0,535	0,378	---	-----	-----	-----
Callovium		Mergelstein	55,55-56,70	3/139/007a	2	60,050	16,334	11,550	2	0,565	0,134	0,095	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
		Tonstein, kalkig	56,70-63,72	3/139/008 3/139/009 3/139/010	6	45,633	5,421	3,833	6	0,845	0,131	0,093	4	6,440	1,361	1,113	---	-----	-----	-----

Zusammenfassung felsmechanische Laboruntersuchungen Bohrung 5/95

Stratigraphie	Petrographie	Teufen	Probenreihe	Einaxiale Festigkeiten [MPa]				Bruchwege [mm]				Spaltzugfestigkeiten [MPa]				Torsionsfestigkeiten [MPa]				
				N	MW	S	\bar{S}	N	MW	S	\bar{S}	N	MW	S	\bar{S}	N	MW	S	\bar{S}	
Unterer Korallenoolith	Erzkalkserie	Kalkstein, erzführend	1,65- 15,60	5/95/003 5/95/004	1	46,800	-----	-----	1	0,750	-----	-----	3	5,707	0,653	0,377	-----	-----	-----	-----
	Fladentonsteinserie	Mergelstein	15,60- 34,90	5/95/004a 5/95/005 5/95/007	4	44,975	3,285	1,912	4	0,645	0,060	0,030	2	4,615	0,219	0,155	-----	-----	-----	-----
	Trümmerkalkserie	Kalkstein, Mergelstein	34,90- 53,65	5/95/007a	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	3	4,157	0,844	0,487	-----	-----	-----
Callovium	Tonstein, kalkig	53,65- 56,50	5/95/010	7	64,217	5,424	2,050	7	1,026	0,062	0,023	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Zusammenfassung felsmechanische Laboruntersuchungen Bohrung 5/96

Stratigraphie	Petrographie	Teufen	Probenreihe	Einaxiale Festigkeiten [MPa]				Bruchwege [mm]				Spaltzugfestigkeiten [MPa]				Torsionsfestigkeiten [MPa]				
				N	MW	S	\bar{S}	N	MW	S	\bar{S}	N	MW	S	\bar{S}	N	MW	S	\bar{S}	
Unteres Klimmeridge	Kalkstein, tonig	87,49-75,00	5/96/011	8	66,400	13,270	4,692	8	0,574	0,061	0,022	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
Oberer Korallenoolith	Kalkstein	75,00	5/96/010 5/96/008 5/96/007	13	71,771	23,988	9,435	13	0,692	0,131	0,050	3	6,743	2,640	1,867	-----	-----	-----	-----	
	Kalkstein, Mergelstein	36,50	5/96/006	8	97,080	30,480	10,776	8	0,479	0,106	0,037	2	11,000	0,230	0,163	-----	-----	-----	-----	
Mittlerer Korallenoolith	Oberes Lager	36,50 27,00	5/96/005 5/96/004	11	117,909	43,355	18,444	11	0,511	0,119	0,052	7	10,821	2,999	1,684	-----	-----	-----	-----	
	Zwischenmittel	Kalkstein	27,00	5/96/003	7	69,230	12,830	4,849	7	0,394	0,073	0,028	4	9,215	0,570	0,285	-----	-----	-----	-----
		Kalkstein, tonig	7,50	5/96/002	7	53,690	14,441	5,446	7	0,464	0,063	0,024	6	5,768	2,034	0,830	-----	-----	-----	-----
Unteres Lager	Eisenoolith kaikig	7,50-0,00	5/96/001	8	56,160	6,590	2,330	8	0,550	0,065	0,023	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	

Bohrungen 3/137 + 138

Stratigraphie	Petrographie	Teufen	Probenreihe	Dichte ρ [kg/m ³]			Statisch E-Modul E_0 [GPa]			Dynamisch elastische Parameter									
				E-Modul E [GPa]			Schub-Modul G [GPa]			Querdehnungszahl ν [-]									
				N	MW	\bar{S}	N	MW	\bar{S}	N	MW	\bar{S}	N	MW	\bar{S}				
Unteres Kimmeridge	Mergelstein	0,00- 29,00	3/137/001	2	2.676,4	2,550	1	11,150	-----	2	44,995	0,465	2	17,825	0,245	2	0,263	0,005	
	Kalkstein- Mergelstein		3/137/002																
			3/137/003	16	2.752,4	11,912	10	21,498	2,956	16	49,710	1,516	16	19,088	0,737	16	0,299	0,015	
			3/138/001																
			3/138/002																
Mittlerer Korallenolith	Oberes Lager	29,00- 43,00	3/138/003	5	2.766,5	14,535	4	15,468	2,853	5	52,108	3,644	5	20,522	1,485	5	0,270	0,013	
			3/138/004																
			3/138/005	9	2.779,0	8,474	7	19,633	1,887	8	44,270	4,395	8	20,435	1,817	8	0,187	0,035	
	Zwischenmittel	43,00- 56,00	3/138/006																
			3/138/007	7	2.692,7	9,608	5	7,114	2,190	7	23,590	6,687	7	9,369	1,136	7	0,281	0,040	
Unteres Lager	56,00- 66,00	3/138/008																	
		3/138/009	7	2.817,7	12,772	7	17,065	0,813	7	38,989	1,221	7	16,187	0,418	7	0,204	0,023		
	Eisenolith, mergelig	66,00- 76,80	3/138/010 3/138/011	7	2.924,2	13,397	6	18,982	2,244	4	36,188	3,094	4	15,925	1,356	4	0,138	0,026	

Bohrungen 3/139 + 140

Stratigraphie	Petrographie	Teufen	Probenreihe	Statisch						Dynamisch elastische Parameter									
				Dichte ρ [kg/m ³]			E-Modul E_0 [GPa]			E-Modul E [GPa]			Schub-Modul G [GPa]			Querdehnungszahl ν [-]			
				N	MW	\bar{S}	N	MW	\bar{S}	N	MW	\bar{S}	N	MW	\bar{S}	N	MW	\bar{S}	
Unterer Korallenoolith	Erzkalkserie	Kalkstein, erzführend	0,00-12,30	3/139/001 3/140/001 3/140/002	11	2.549,2	25,824	2	12,335	1,555	11	25,266	2,026	11	9,836	0,723	11	0,284	0,010
	Fladentonsteinserie	Mergelstein	12,30-39,00	3/139/004	--	-----	-----	--	-----	-----	--	-----	-----	--	-----	-----	--	-----	-----
	Trümmerkalkserie	Kalkstein	39,00-55,55	3/139/005 3/139/006 3/139/007	15	2.619,2	12,693	8	26,769	4,814	15	46,001	2,733	15	18,203	1,221	15	0,266	0,015
Calloviuum		Mergelstein	55,55-56,70	3/139/007a	2	2.670,0	22,869	2	22,540	2,310	2	37,507	2,539	2	14,490	1,278	2	0,298	0,025
		Tonstein, kalkig	56,70-63,72	3/139/008 3/139/009 3/139/010	14	2.635,1	60,928	6	12,255	1,675	14	28,928	3,178	14	11,374	1,324	14	0,278	0,011

Bohrung 5/95

Stratigraphie	Petrographie	Teufen	Probenreihe	Dichte ρ [kg/m ³]			Statisch E-Modul E_0 [GPa]			Dynamisch elastische Parameter									
				E-Modul E [GPa]			Schub-Modul G [GPa]			Querdehnungszahl ν [-]									
				N	MW	\bar{S}	N	MW	\bar{S}	N	MW	\bar{S}	N	MW	\bar{S}	N	MW	\bar{S}	
Unterer Korallenolith	Erzkalkserie	Kalkstein, erzführend	1,65-15,60	5/95/003 5/95/004	4	2.637,8	9,563	1	17,230	-----	4	30,318	0,526	4	12,378	0,177	4	0,230	0,004
	Fladentonsteinserie	Mergelstein	15,60-34,90	5/95/004a 5/95/005 5/95/007	7	2.586,7	8,693	4	13,195	1,428	5	41,869	2,130	5	16,651	1,071	5	0,260	0,016
	Trümmerkalkserie	Kalkstein-Mergelstein	34,90-53,65	5/95/007a	3	2.594,5	25,513	---	-----	-----	1	53,320	-----	1	20,730	-----	1	0,286	-----
Callovium	Tonstein, kalkig	53,65-56,50	5/95/010	7	2.601,3	2,749	7	9,950	0,549	7	38,773	0,557	7	15,113	0,224	7	0,283	0,003	

Bohrung 5/96

Stratigraphie	Petrographie	Teufen	Probenreihe	Dichte ρ [kg/m ³]			Statisch E-Modul E_0 [GPa]			Dynamisch elastische Parameter									
				E-Modul E [GPa]			Schub-Modul G [GPa]			Querdehnungszahl ν [-]									
				N	MW	\bar{S}	N	MW	\bar{S}	N	MW	\bar{S}	N	MW	\bar{S}				
Unteres Kimmeridge	Kalkstein, tonig	87,49-75,00	5/96/011	8	2.643,0	7,184	6	24,907	1,179	8	47,856	1,398	8	18,520	0,557	8	0,292	0,005	
Oberer Korallenoolith	Kalkstein	75,00-	5/96/010																
			5/96/008 5/96/007	16	2.579,0	17,077	11	24,181	2,616	15	44,320	2,235	15	17,310	0,864	15	0,289	0,013	
	Kalkstein-Mergelstein	36,50	5/96/006	10	2.670,3	6,339	8	41,060	4,708	10	63,002	1,486	10	24,294	0,649	10	0,298	0,013	
Mittlerer Korallenoolith	Oberes Lager	36,50-27,00	5/96/005	20	2.659,9	7,025	12	42,004	2,566	18	66,465	2,199	18	26,358	0,865	18	0,261	0,006	
	5/96/004																		
	Zwischenmittel	Kalkstein	27,00	5/96/003	11	2.690,8	2,389	7	32,404	3,260	11	52,026	1,034	11	21,297	0,355	11	0,223	0,012
	Kalkstein, tonig	7,50	5/96/002	13	2.642,2	12,311	5	30,528	1,993	7	54,970	1,899	7	22,626	0,923	7	0,213	0,029	
Unteres Lager	Eisenoolith, kalkig	7,50-0,00	5/96/001	8	2.838,9	9,659	8	20,500	0,753	8	31,131	0,498	8	12,298	0,228	8	0,266	0,010	

Laboruntersuchungen an Eisenerzproben zur Ermittlung von Festigkeitskennwerten

Proben aus Strecke/Lokalität	Probenahmeort	durchgeführte Untersuchungen	ausgeführt von	Zeitpunkt/-raum	bestimmte bzw. ermittelte Parameter/Kennwerte	Ergebnisüberblick			Bemerkungen	GSF (Koch) (Seite)
						σ_D MPa	σ_Z MPa	F		
672 552	672 : Proben 1-3 aus Hangender Probe 4 aus liegendem 552 : Proben 1-4 aus Hangender	Einaxiale Zug- und Druckfestigkeitsversuche Mineralbestand Verschleisseigenschaften	Bergbau-Forschung GmbH Essen	1978	Druckfestigkeit σ_D Zugfestigkeit σ_Z Mineralbestand Verschleisskoeffizient F Verschleisskennziffer F_R	672 32 - 63 4,2 - 6,4 0,084 - 0,129 7,6 - 9,8	552 28 - 38 3,1 - 4,4 0,056 - 0,098 8,1 - 9,4	Untersuchungen zur Schneidbarkeit des Erzes, oolithischer Eisenerzstein	GSF-T 136 (B 6-38 - B 6-39)	
672	Horizontales Bohrloch in Ortsbrust, Proben aus 17,3/18,2/19,9 und 21,8 m Tiefe	Einaxiale Druckfestigkeitsversuche nach Empfehlung Nr.1 Versuchstechnik Fels	Fa. Interfels Bad Bentheim	1979	E-Modul E Querdehnungszahl ν	$E_{\text{mittel}} = 20,8 - 24,4 \text{ GPa}$ $\nu_{\text{mittel}} = 0,096 - 0,142$		Ergänzende Untersuchungen zu In-situ-Spannungsmessungen	GSF-T 136 (B 6-40 - B 6-41)	
Lokschuppen 5. Sohle	Pendelbohrung 5/78 Erzlagerebereich aus 17m Tiefe	Triaxiale Druckfestigkeits- und Frac-Versuche	Ruhr-Universität Bochum, Institut für Geophysik	1979 bis 1981	Restfestigkeit C_R Druckfestigkeit C_M Spannungsverformungskurven hydraul. Zugfestigkeit p_0 Frac-Gradient k	$C_R = 35 - 225 \text{ MPa}$ $C_M = 60 - 250 \text{ MPa}$ $p_0 = 11,5 \text{ MPa}$ $k = 1,22$	steigend mit zunehmendem Manteldruck	Manteldruck 0-60MPa Proben: $\varnothing 30 \text{ mm}; h=50 \text{ mm}$ $\varnothing 30 \text{ mm}; h=60 \text{ mm}$ liegt = 2,5 fach über mechanischer Zugfestigkeit In-situ: $p_0=3-10 \text{ MPa}$	GSF-T 136 (B 6-41 - B 6-45)	
672	Führungsbohrungen 1, 2, 3 für In-situ-Versuche zur Erprobung der Schlitzentlastungs- und Druckkissenbelastungsapparatur	Triaxiale Druckversuche Einaxiale Druckversuche	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) Hannover	1981	Druckfestigkeit σ_D Verformungsmodul V Reibungswinkel φ Kohäsion c	$\sigma_D = 5,6 - 62,5 \text{ MPa}$ $V = 780 - 8500 \text{ MPa}$ $\varphi = 28 - 30^\circ$ $c = 16 - 18 \text{ MPa}$		σ_D und V aus Bericht der BGR (Seite 11) entnommen Proben $\varnothing 52 \text{ mm}$ $h = 104 \text{ mm}$	GSF-T 136 (B 6-45)	
4. Sohle 5. Sohle	Bohrung 4/105 (Kern Nr. 6) Bohrung 5/78 (Kern Nr. 1, 7,9, 10)	Direkte Scherversuche - mit konst. Normalkraft - Mehrstufentechnik - mit behinderter Aufgleitung an Erzproben mit Schichttrennflächen	Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik, Universität Karlsruhe	1979	Spitzenscherkraft T Restreibungswinkel φ_r Spitzenreibungswinkel φ	$T = 1,8 \cdot N^{0,9} \text{ KN}$ $\varphi_r = 35^\circ$ $\varphi = 43^\circ$		Proben mit natürlichen und künstlichen Trennflächen aus Bohrkernen mit $\varnothing 26 \text{ cm}$ Rauigkeitsprofile ergaben keine signifikanten Unterschiede für die verschiedenen Trennflächen	GSF-T 136 (B 6-45 - B 6-51)	
552	Bohrkerne aus Gesteinsblöcken aus Firste ca. 10 m nördl. PP 1427	Einaxiale Druckversuche Triaxialversuche und Spaltzugversuche mit schüttungsparallelen Trennflächen	Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik, Universität Karlsruhe	1981 bis 1982	Druckfestigkeit σ_D Verformungsmodul V Querdehnungszahl ν Spaltzugfestigkeit σ_{Bz} E-Modul E Reibungswinkel φ Kohäsion c	$\sigma_D = 51,8 \text{ MPa}$ $V = 31300 \text{ MPa}$ (parallel belastet) $V = 25000 \text{ MPa}$ (normal belastet) $\sigma_{Bz} = 3,4 \text{ MPa}$ (normal belastet) $\sigma_{Bz} = 3,0 \text{ MPa}$ (parallel belastet) $E = 28722 \text{ MPa}$ $\varphi = 22,3 - 30,6^\circ$ $c = 8,4 - 18,8 \text{ MPa}$ $\nu = 0,23$		Untersuchungen zur Ermittlung der Substanz- und Verbandsparameter Bohrkerne $\varnothing 100 \text{ mm}$ Proben normal und parallel zur Trennfläche belastet Ergebnisse als Mittelwerte	GSF-T 136 (B 6-50 - B 6-52) GSF-T 165 (60 - 66)	
672 522	Bohrkerne aus a) oberem Kämpfer 14m nördl. PP 1458 b) Sohle 20m nördl. PP 9	Scherversuche an natürlichen Trennflächen	Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik, Universität Karlsruhe	1982	Reibungswinkel φ Restreibungswinkel φ_r	Bandbreite bzw. Mittelwert: $\varphi = 33,4 - 44,2^\circ; \varphi_r = 29,5^\circ$ $\varphi = 37,7 - 58,5^\circ; \varphi_r = 32,7^\circ$		Großbohrkerne $\varnothing 400 \text{ mm}$ Grosskluft KK 2 Schichtfläche	GSF-T 165 (64)	

	Erzproben aus Untersuchungsstrecke 672				Erzproben von Ort 552			
	1	2	3	4	5	6	7	8
Anzahl der untersuchten Prüfkörper	7	7	7	7	7	7	7	7

Druckfestigkeit in MPa								
mittlere	38,5	63,0	32,1	33,1	37,8	30,1	28,4	35,7
min.	23,1	46,2	25,9	25,9	29,4	17,5	19,9	17,5
max.	50,5	78,0	38,2	47,9	52,5	40,6	44,6	61,3
Anzahl der untersuchten Prüfkörper	7	7	7	7	7	7	7	7

Zugfestigkeit in MPa								
mittlere	4,5	6,4	4,2	4,6	4,3	3,2	3,1	4,4
min.	2,4	4,7	2,2	2,7	2,5	1,8	1,8	2,3
max.	6,4	8,9	7,3	7,2	5,5	4,6	4,5	4,6

Druck- und Zugfestigkeiten des Korallenoolitherzes, gemessen mit einer einaxialen Versuchsapparatur
 Bearbeiter: Bergbau-Forschung GmbH, Essen, 1978

Anlage 31
 Blatt 1



Teufe (m)	Probe-Nr.	Richtung	E-Modul [GPa]	ν [-]
17,3	1	axial	20,8	0,113
	2	vertikal	22,6	0,084
	3	horizontal	20,9	0,162
		<u>Mittel</u>	<u>21,4</u>	<u>0,120</u>
18,2	4	axial	21,7	0,148
	5	vertikal	16,8	0,071
	6	horizontal	23,8	0,070
		<u>Mittel</u>	<u>20,8</u>	<u>0,096</u>
19,9	7	axial	22,3	0,097
	8	vertikal	22,0	0,128
	9	horizontal	23,9	0,125
		<u>Mittel</u>	<u>22,7</u>	<u>0,117</u>
21,8	10	axial	21,2	0,122
	11	vertikal	22,4	0,118
	12	horizontal	29,7	0,187
		<u>Mittel</u>	<u>24,4</u>	<u>0,142</u>

Elastizitätsmodul E und Querdehnungszahl ν ermittelt an Gesteinsproben aus der Ortsbrust der Untersuchungsstrecke 672 nach "Empfehlung Nr. 1 des Arbeitskreises 19" der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau e.V.
 Bearbeiter: [REDACTED] Bad Bentheim, 1979

Anlage 31
 Blatt 2

Proben-Nr.	P_m MPa	c_s 1) MPa	c_M 2) MPa	c_R 3) MPa
T 1	0	60	60	(35) ⁴⁾
T 2	10,5	116	125	(74) ⁴⁾
T 3	20,0	140	151	129
T 4	31,5	130-150	161	159
T 5	42,0	150-170	191	-
T 6	51,0	170	227	224
T 7	60,0	190	252	-

- 1) axiale Spannung bei Bruchbeginn
- 2) maximale axiale Spannung (Druckfestigkeit)
- 3) Restfestigkeit
- 4) Restfestigkeit unmittelbar nach Bildung des Scherbruchs

Festigkeitswerte des Eisenerzes ermittelt aus sieben Triaxialversuchen

Bearbeiter: Ruhr-Universität Bochum, Institut für Geophysik,
1979-1981

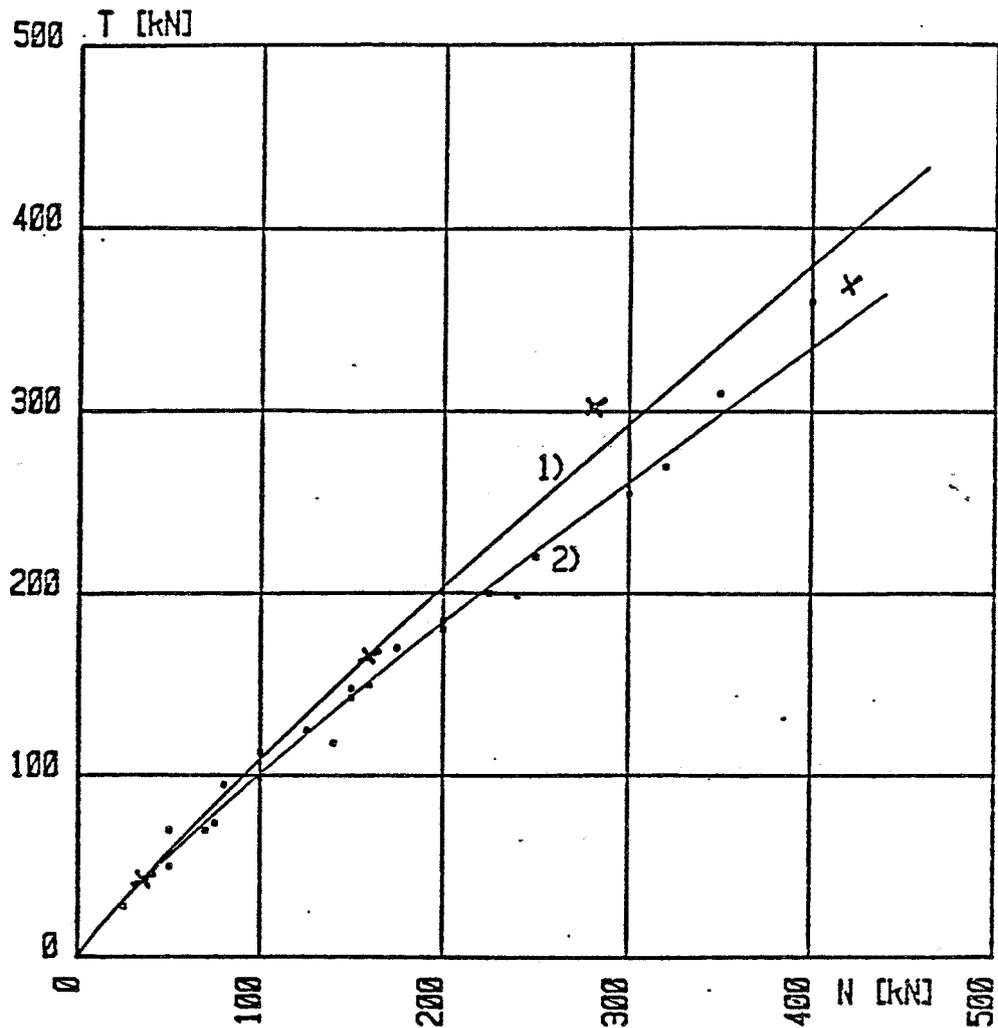
Anlage 31
Blatt 3

Proben-Nr. Labor-Nr.	Bohrung	einaxiale Druck- festigkeit MN/m ²	Verformungsmodul MN/m ²
1/81015	1	55,6	7.810
2/ "	1	38,8	5.230
3/ "	1	29,4	3.870
4/ "	1	29,2	7.240
5/ "	1	62,5	8.550
6/ "	2	18,7	3.420
7/ "	2	49,7	4.530
8/ "	2	45,8	3.660
9/ "	2	39,2	4.910
10/ "	4	30,3	1.540
11/ "	4	5,6	780
12/ "	2	44,3	6.400

Proben-Nr. Labor-Nr.	Bohrung	Reibungswinkel (φ°)	Kohäsion (c) MN/m ²
1/81015	1		
2/ "	1	28,6	16,8
3/ "	1		
4/ "	1		
5/81015	1		
6/ "	1	30,0	16,1
7/ "	1		
8/ "			
9/81015	2		
10/ "	2	27,9	18,1
11/ "	2		
12/ "	2		

Einaxiale Druckfestigkeiten, Verformungsmoduli, Reibungswinkel und Kohäsion aus 12 einaxialen und 12 dreiaxialen Druckversuchen
 Bearbeiter: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe,
 1981

Anlage 31
 Blatt 4



GRENZBEDINGUNG FÜR SPITZENREIBUNG

ZECHÉ KONRAD EISENERZ

Zusammenfassung aller Versuchsergebnisse

- | | |
|--------------------------------------|---------------------------|
| 1) Hüllkurve aus Einzelversuchen | $T = 1.74 \cdot N^{0.9}$ |
| 2) Hüllkurve aus Mehrstufenversuchen | $T = 1.88 \cdot N^{0.86}$ |
| 3) gewogener Mittelwert | $T = 1.8 \cdot N^{0.9}$ |
| 4) Restreibungswinkel | $\varphi_R = 35^\circ$ |

Zusammenfassung aller Scherversuche mit konstanter Normalkraft

Bearbeiter: Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik,
Universität Karlsruhe, 1979

Anlage 31
Blatt 5



1. Belastungsrichtung parallel zur Schüttungsebene

Probe Nr.	Druckfestigkeit (MN/m ²)	Elastizit.-Modul (MN/m ²)	Poissonzahl
ST 2P - 1	45,2	23 291	0,19
ST 6P - 1	51,8	32 175	0,23
ST 6P - 2	53,0	32 801	0,28
ST 6P - 3	54,4	30 349	0,25
ST 8P - 1	47,8	38 082	0,25
Mittelwerte aus 5 Proben	50,4 +/- 3,8	31 340 +/- 5340	0,24 +/- 0,03

2. Belastungsrichtung normal zur Schüttungsebene

Probe Nr.	Druckfestigkeit (MN/m ²)	Elastizit.-Modul (MN/m ²)	Poissonzahl
ST 2N - 1	49,6	24 123	0,22
ST 3N - 1	53,2	25 191	0,24
ST 3N - 2	51,4	23 632	0,21
ST 3N - 3	53,7	27 135	0,23
ST 4N - 1	57,7	30 437	0,25
Mittelwerte aus 5 Proben	53,1 +/- 3,0	26 104 +/- 2771	0,23 +/- 0,02

Mittelwerte aus allen 10 Proben 51,8 +/- 3,5 28 722 +/- 4868 0,24 +/- 0,03

Probenmaterial: Die Proben wurden im Rahmen einer Streckenerweiterung der Teilsohle 552, nördlich PP 1427 von der Firste entnommen.

Versuchsdurchführung: Zwei Lastzyklen mit zwischengeschalteten Latwechsell-pausen von 2 Minuten. Mit Ausnahme von Probe 2P-1 lagen die Laststufen bei 17 MN/m² und 30 MN/m². Die Belastungsgeschwindigkeit betrug einheitlich 1MN/m²min. Verformungsmessung mit DMS, Ermittlung der Moduli am letzten Wiederbelastungsast als Tangente zwischen 40% und 60% der Bruchfestigkeit.

Ergebnisse der einaxialen Druckversuche
 Bearbeiter: Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik,
 Universität Karlsruhe, 1982

1. Belastungsrichtung parallel zur Schüttungsebene

Probe lfd.Nr.	Errechnete Zugfestigk. (MN/m ²)
P1	2,25
P2	3,26
P3	2,02
P4	3,26
P5	4,09
Mittelwert aus 5 Proben	2,98 +/- 0,84

2. Belastungsrichtung normal zur Schüttungsebene

Probe lfd.Nr.	Errechnete Zugfestigk. (MN/m ²)
N1	3,01
N2	3,79
N3	3,70
N4	2,31
N5	4,03
Mittelwert aus 5 Proben	3,37 +/- 0,70

Mittelwert aus
allen 10 Proben 3,17 +/- 0,76

Probenmaterial: Die Proben wurden im Rahmen einer Streckenerweiterung
der Teilsohle 552, nördlich PP 1427 von der Firste entnommen.

Ergebnisse der Spaltzugversuche
Bearbeiter: Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik, Uni-
versität Karlsruhe, 1982

Anlage 31
Blatt 6b

gsf

Probenkombination	Reibungswinkel (°)	Kohäsion (MN/m ²)
Proben ST...P, nur 1.Laststufe	24,3	17,3
Proben ST...P, nur 2.Laststufe	29,6	11,7
Proben ST...P, nur 3.Laststufe	30,8	7,9
Proben ST...N, nur 1.Laststufe	19,7	21,0
Proben ST...N, nur 2.Laststufe	24,9	15,3
Proben ST...N, nur 3.Laststufe	30,2	8,9
Proben ST...P und ST...N, nur 1.Laststufe (Mittelwertbildung aus allen Bruchkreisen der 1.Laststufe)	22,3	18,8
Proben ST...P und ST...N, nur 2.Laststufe (Mittelwertbildung aus allen Bruchkreisen der 2.Laststufe)	28,1	12,6
Proben ST...P und ST...N, nur 3.Laststufe (Mittelwertbildung aus allen Bruchkreisen der 3.Laststufe)	30,6	8,4

Zusammenfassung verschiedener Bruchkreise aus den Drei-
axialversuchen
 Bearbeiter: Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik,
 Universität Karlsruhe, 1982

Anlage 31
 Blatt 6c

Probe Nr.	Proben- fläche (cm ²)	Normal- kraft (kN)	Scherkraft peak (kN)	Reibungs- winkel peak (°)	Scherkraft rest (kN)	Reibungs- winkel rest (°)	Anmerkun- gen
1/1 a	339	100	97,2	44,2	65,4	33,2	
b					59,7	30,8	
c					(48,0)	(25,6)	(1)
1/3 a	186	200	137,6	34,6	117,6	30,5	
b					90,0	24,2	
c					(102,0)	(27,0)	(1)
2/1 a	331	300	197,9	33,4	184,9	31,6	
b					177,7	30,6	
c					173,2	30,0	
3/1 a	313	400	278,0	34,8	243,8	31,4	
b					(270,2)	(34,0)	(2)
c					(279,3)	(34,9)	(2)
6/1 a	250	200	184,5	42,7	126,1	32,2	
b					120,3	31,0	
c					(116,0)	(30,1)	(1)
7/1 a	343	100	101,0	45,3	55,1	28,8	
b					59,4	30,7	
c					71,3	35,5	
7/2 a	388	400	501,8	51,5	367,7	42,6	
b					272,1	34,2	
7/3 a	450	300	273,7	42,4	201,2	33,8	
b					189,2	32,2	
c					192,6	32,7	
7/5 a	378	200	209,6	46,3	132,2	33,5	
b					(108,0)	(28,4)	(1)
c					(135,2)	(34,1)	(2)
9/1 a	365	300	251,3	40,0	195,3	33,1	
b					(175,0)	(30,3)	(1)
9/4 a	428	400	309,2	37,7	229,9	29,9	
b					226,2	29,5	
c					(230,9)	(30,0)	(2)
d					(240,6)	(31,0)	(2)
9/6 a	366	100	162,6	58,5	65,4	33,2	
b					70,5	35,2	
c					74,3	36,7	

Mittelwerte: (Ohne die Proben mit Anm.(2))

Restreibungswinkel Proben 1 bis 3: 29,5° +/- 2,9°

Restreibungswinkel Proben 6 bis 9: 32,7° +/- 3,3°

Restreibungswinkel alle Proben: 31,6° +/- 3,5°

Ergebnisse der Scherversuche

Anlage 31
Blatt 7a



Anmerkungen zu den Scherversuchen:

- (1) Die Kurve für die Scherkraft zeigte bei diesen Versuchen nach dem ersten Ansteigen ein Plateau und stieg später wieder weiter an. Der in Klammern gesetzte Wert für Scherkraft und Reibungswinkel wurde aus vorgenanntem Plateau ermittelt.
- (2) Die Kurve für die Scherkraft stieg beim Versuch stetig an und erreichte keinen horizontalen Verlauf. Der in Klammern gesetzte Wert für Scherkraft und Reibungswinkel entspricht hier dem Wert, der bei Versuchsende erreicht worden war. Er wurde nicht für die Berechnung der Mittelwerte herangezogen.

Ergebnis der Scherversuche aus dem Jahr 1979:

Restreibungswinkel: 35° (Ermittelt aus 4 Versuchen)

Probenmaterial:

Proben 1 bis 3: NW-SE streichende Großkluft, glatt, teilweise mit 1 - 2 mm Calcitbelag. Entnommen von Teilsohle 670, nördlich PP 1458

Proben 6 bis 9: Schichtflächen, teilweise mit dünnen Tonlagen. Entnommen von Teilsohle 522, nördlich Meßpunkt 9.

Versuchsdurchführung:

Alle Proben wurden bis zur Zerstörung der Scherfläche, höchstens jedoch dreimal geschert. Der Scherhub betrug einheitlich 40 mm, die Schergeschwindigkeit 0.4 mm/min. Die Spitzenreibungswerte wurden nur beim jeweils ersten Scherhub ermittelt, sind jedoch bei allen Versuchsplots vom Prozessrechner ausgegeben worden.

Ergebnisse der Scherversuche

Bearbeiter: Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik,
Universität Karlsruhe, 1982

Anlage 31
Blatt 7b