



GEOLOGICA BAVARICA

Herausgegeben
vom

BAYER. GEOLOGISCHEN LANDESAMT

Nr. 33

Sedimentpetrographische Untersuchung der Molasse-Bohrungen Schwabmünchen 1, Siebnach 1 und Rieden 1

(unter besonderer Berücksichtigung der Schwermineral-Analyse
von Spülproben)

von

Wolf-Dieter Grimm

Steimbke, Gewerkschaft Brigitta

Mit 4 Abbildungen und 10 Beilagen

Z. Nat.

487

MÜNCHEN 1957

10. Beilagen

An die Verfasser von Aufsätzen und Mitteilungen

Die der Schriftleitung der „Geologica Bavarica“ eingereichten *Manuskripte sollen satzfertig sein*, d. h. den „Anweisungen für die Verfasser naturwissenschaftlicher Arbeiten (Die Bonner Anweisungen)“ entsprechen. Demnach sind Satzänderungen entgegen der Niederschrift, soweit sie 10 % der Satzkosten überschreiten, vom Verfasser zu bezahlen. Im einzelnen ist folgendes zu beachten:

Aufbau

Titel: kurz und bezeichnend.

Name des Verfassers: in der Überschrift mit ausgeschriebenem Vornamen.

Gliederung: klar und übersichtlich; bei längeren Arbeiten Inhaltsverzeichnis.

Zusammenfassung: bei größeren Arbeiten erforderlich.

Äußere Form

Text: in Maschinenschrift, einseitig, 1¹/₂-zeilig, handgeschriebene Verbesserungen in Druckschrift. Unterscheiden zwischen Bindestrich (- kurz) und Gedankenstrich (— lang), zwischen ss und ß (Masse und Maße).

Angabe der Schriftart: Molasse wird **Molasse** (fett, für Überschriften); Hauptverwerfung wird **Hauptverwerfung** (gesperrt, für wichtige Angaben); Müller, K. wird MÜLLER, K. (Kapitälchen, für Autorennamen); Ceratites wird *Ceratites* (Kursiv, für Fossilnamen mit lateinischer Endung); } senkrechte Schlangenlinie am Rand für Kleindruck (Petit, bei Tabellen, Schichtenverzeichnissen von Bohrungen, Synonyma, Zitaten, Textabschnitten von untergeordneter Bedeutung u. a.).

Fußnoten (Petit): fortlaufend beziffern, nachträglich alphabetisch zwischenschalten, z. B. 6a).

Literaturzitate: durch Nennung des Verfassers, des Erscheinungsjahres und evtl. der betr. Seite; bei mehreren Arbeiten eines Verfassers im gleichen Jahr a, b, usw. hinzufügen (z. B. 1953 b). Bei mehreren Autoren einer Arbeit Namen in alphabetischer Folge und durch „&“ verbinden.

Schriftumsverzeichnis: am Schluß der Arbeit und alphabetisch geordnet. Beispiele für Literaturangaben

a) bei Zeitschriften:

LEUCHS, K.: Tektonische Untersuchungen im Wettersteingebirge. — Z. deutsch. geol. Ges., 87, S. 703—719, 3 Abb., Berlin 1935.

b) bei Büchern:

RINNE, F.: Gesteinskunde, 12. Aufl., 428 S., 589 Abb., Leipzig (Max Jännecke) 1940.

Bebildung

Bilder im Text sind „Abbildungen“, auf Tafeln stehen „Figuren“ oder „Bilder“ (bei Photographien).

Auf jeder Vorlage notwendig: Name und Anschrift des Verfassers, Nummer der Abbildung bzw. Tafel, gewünschte Verkleinerung (Satzspiegelgröße berücksichtigen!), Hinweis für „oben“ bzw. „unten“.

Alle *Vorlagen druckfertig* einreichen und zwar im Original. Vorlagen gegebenenfalls größer als ihre endgültige Wiedergabe zeichnen; nach Möglichkeit für einfarbigen Druck. Maßstab und Himmelsrichtung nicht vergessen. Beschriftung in magerer Blockschrift, keine Kunschrift. Photos hochglänzend, weiß. Jede Vorlage mit kurzem erläuternden Text (Petit) versehen (z. B.: Abb. 11. Querprofil der . . .), der im Manuskript dort stehen muß, wo die Vorlage eingefügt werden soll. Bei reichlichem Bildmaterial frühzeitig mit der Schriftleitung in Verbindung treten.

Alle Druckangelegenheiten sind mit der Schriftleitung zu erledigen, *in keinem Fall un-mittelbar mit der Druckerei*.

Sonderdrucke werden in unveränderter Form gedruckt, nur mit Zitateiste versehen.

Der Verfasser erhält 50 Exemplare seiner Arbeit kostenfrei. Bei zwei und mehr Verfassern einer Arbeit erhöht sich die Gesamtzahl der Freixemplare auf 75.

GEOLOGICA **BAVARICA**

Herausgegeben
vom

BAYER. GEOLOGISCHEN LANDESAMT

Nr. 33

Sedimentpetrographische Untersuchung der Molasse-Bohrungen Schwabmünchen 1, Siebnach 1 und Rieden 1

(unter besonderer Berücksichtigung der Schwermineral-Analyse
von Spülproben)

von

Wolf-Dieter Grimm

Steimbke, Gewerkschaft Brigitta

Mit 4 Abbildungen und 10 Beilagen

SUB Göttingen 7
110 334 620



M Ü N C H E N 1 9 5 7



2 11-7-70
Gesamtherstellung: Akademische Buchdruckerei F. Straub, München

Inhaltsverzeichnis

	Seite
A. Zusammenfassung	5
B. Einleitung	5
C. Methodisches	7
D. Petrographie und Sedimentationsablauf	10
E. Die Schwermineral-Analyse von Spülproben	21
F. Die Mineral-Verteilung in den Molasse-Profilen	24
G. Schrifttum	33

A. Zusammenfassung

Bei der geologischen Bearbeitung der Molasse in den Bohrungen Schwabmünchen 1, Siebnach 1 und Rieden 1 wurde eine kontinuierliche, möglichst erschöpfende Bearbeitung der Spülproben durchgeführt. Erstmals wurde dabei versucht, Schwermineral-Untersuchungen an Spülproben vorzunehmen. Es zeigte sich, daß bei geringem Nachfall und unter normalen lithologischen Bedingungen, wie sie im oberen Teil des Molasse-Profiles bis zur Basis der Oberen Meeres-Molasse vorlagen, eine Schwermineral-Analyse ohne Vorbehandlung der Spülproben durchaus möglich ist. Unter widrigen Umständen, wie sie in der Sandstein- und Schwermineralien-armen Unteren Süßwasser-Molasse gegeben waren, muß nachgefallenes Schwermineralien-reiches Gestein durch eine kritische Sandstein-Auslese aus den Spülproben ausgeschieden werden. Voraussetzung hierfür ist eine genaue Kenntnis des gesamten Gesteinsprofils, wie sie durch die Methode der kontinuierlichen, quantitativen petrographischen Spülproben-Auslese möglich ist. Durch Kombination der Schwermineral-Analyse aus normalen Spülproben, aus Sandstein-Fractionen und — im untersten Teil — aus Kernserien konnten somit durchgehende Schwermineral-Profile durch die Molasse gewonnen werden. Die Schwermineral-Analyse von Spülproben in der Westmolasse würde wesentlich erleichtert, wenn die Verrohrung bis dicht unterhalb der Basis der Oberen Meeres-Molasse erfolgte; dadurch wird Nachfall aus der Oberen Meeres-Molasse in tiefere Schichten verhindert und somit eine Analyse aus normalen Spülproben ohne Auslese der Sandstein-Fraktion im ganzen Profil möglich.

Die Untersuchung der Gesteine und Schwermineralien erbrachte wesentliche neue Erkenntnisse sowie wichtige Bestätigungen früherer Untersuchungs-Ergebnisse bezüglich Stratigraphie, Ablagerungsbedingungen und Altersverhältnissen der Molasse im betrachteten Raum. Dabei wurde durch die Aufstellung mehrerer Schwermineral-Leitgrenzen eine Ergänzung und Beurteilung der lithologisch begründeten Stufengliederung möglich.

B. Einleitung

Seit etwa 1948 ist die deutsche Erdölindustrie an der Aufschließung des Westteils der Molasse tätig. In einer ersten Phase, bis 1951, wurde versucht, die strukturelle Situation des Gebietes zwischen Isar und Bodensee mit zahlreichen CF-Bohrungen zu erforschen. Dabei konnte der stratigraphische und fazielle Aufbau der höheren Molasse-Schichten (Obere Süßwasser-Molasse, Süßbrackwasser-Molasse, Obere Meeres-Molasse) geklärt werden (LEMCKE und v. ENGELHARDT & FÜCHTBAUER 1953). Durch die Tiefbohrung Scherstetten 1 wurde darüber hinaus erstmalig ein Gesamtprofil durch die Molasse und ihren mesozoischen Untergrund bis ins Kristallin gegeben (ROLL 1952; Geologica Bavarica, Nr. 24, 1955).

Man erkannte bald, daß die flachen CF-Bohrungen keinen Hinweis gaben auf die erdölgeologisch wichtigen Strukturen der tieferen Molasse-Schichten, da diese nicht bis in die erschlossenen Teufen hinauf abgebildet werden (prae-helvetische Tektonik; Transgressionsfläche an der Basis der Oberen Meeres-Molasse). Deshalb setzte 1951 die zweite Phase der Aufschlußtätigkeit mit reflexionsseismischen Untersuchungen im Gebiet zwischen Bodensee und Lech ein (ELBERSKIRCH & LEMCKE 1955). Die Ergebnisse führten in verschiedenen Gebieten zum Ansatz von Tiefbohrungen (VOLZ 1956).

In den Konsortialgebieten Kaufbeuren und Mindelheim der Erdölgesellschaften Gewerkschaft Brigitta, Gewerkschaft Elwerath und Wintershall AG wurden im Jahre 1955 drei Aufschlußbohrungen durch die Gewerkschaft Brigitta niedergebracht: Schwabmünchen 1, Siebnach 1, Rieden 1 (Lageplan Abb. 1). Sie wurden auf Grund von Reflexionsseismik angesetzt jeweils im nördlichsten Teil

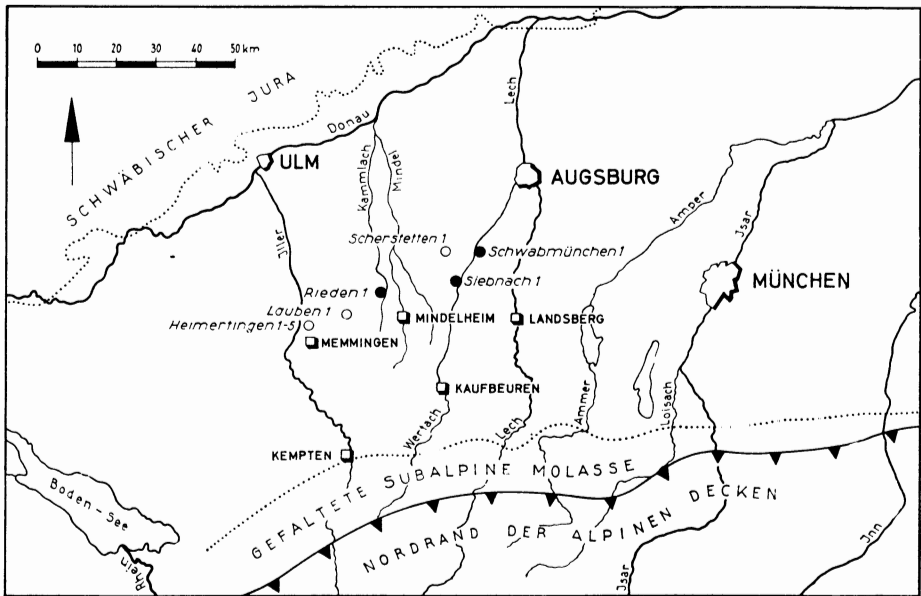


Abb. 1

von antithetisch versetzten, flach nach S geneigten Schollen mit möglichst weitem Einzugsbereich von S. Die Bohrungen sollten die ölhöffigen Horizonte der Molasse, vor allem die Bausteinschichten, in möglichst strukturgünstiger Lage untersuchen und darüber hinaus zur weiteren Klärung der stratigraphischen und faziellen Probleme der Molasse beitragen.

Bei der Bearbeitung der Bohrungen standen sedimentpetrographische und mineralogische Untersuchungen im Vordergrund, wie sie sich seit längerem für die Parallelisierung faunenarmer Molasse-Serien als günstig erwiesen haben (KIDERLEN 1931, ANDRÉE 1936, WURM 1937, NEUMAIER & WIESENER 1939, ZÖBELEIN 1940, KÖLBL 1944). Um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, wurden weitgehend solche Untersuchungen ausgeführt, wie sie bei den vorangegangenen Bohrbearbeitungen in der Westmolasse zu gutem Erfolg geführt hatten;

hierher gehört vor allem die Schwermineral-Analyse (LEMCKE und v. ENGELHARDT & FÜCHTBAUER 1953, FÜCHTBAUER 1954 a, 1954 b, 1955 a, 1955 b). Ein Unterschied in der Methodik war allerdings bedingt durch die inzwischen erfolgte Weiterentwicklung der Spülproben-Untersuchung: In früheren Bohrungen waren Spülproben gemeißelter Strecken petrographisch meist nur überschlägig bearbeitet worden, da man damals keine wesentlichen Erkenntnisse aus ihnen erwartete; die Untersuchungen blieben weitgehend auf das reiche Kernmaterial von CF-Bohrungen sowie auf die Orientierungskerne der Tiefbohrungen beschränkt; die Erfassung der Schwermineralien aus Spülproben unterblieb ganz. In Schwabmünchen 1, Siebnach 1 und Rieden 1 dagegen wurde im Hinblick auf die modernen guten Erfahrungen der Gewerkschaft Brigitta mit der Spülproben-Auswertung (TRUSHEIM 1956) von vornherein auf stratigraphische Orientierungskerne verzichtet; die Untersuchungen richteten sich fast gänzlich auf die kontinuierliche Bearbeitung des Bohrkleins aus. Angaben über Megafossilien und Lagerungsverhältnisse sind dadurch zwar erschwert oder nur im Rückschluß möglich; dafür ist aber eine kontinuierliche Erfassung der einzelnen Gesteine nach Ausbildung und Mengenanteil gewährleistet, die bei sporadisch entnommenen Kernen fehlt. Die Umstellung auf Spülproben machte allerdings veränderte Arbeits- und Auswertemethoden notwendig, vor allem auch für die Schwermineral-Analyse.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, der Gewerkschaft Brigitta, der Gewerkschaft Elwerath und der Wintershall AG für die Erlaubnis zur Veröffentlichung zu danken. Dem Vorstand der Gewerkschaft Brigitta danke ich außerdem für die Gewährung eines namhaften Druckkosten-Zuschusses.

Herr Dr. L. HAPPEL regte zu vorliegender Arbeit an. Herr Dr. E. E. HOTZ und Herr Dr. F. TRUSHEIM unterstützten den Fortgang durch zahlreiche Hinweise. In der Diskussion mit den Herren Dr. H. FÜCHTBAUER und Dr. K. LEMCKE, Gewerkschaft Elwerath, sowie Dr. H. A. HAUS, Wintershall AG, wurde manch neues sedimentpetrographisches und stratigraphisches Molasse-Problem aufgeworfen. Die Bearbeitung der Mega-Faunen lag bei Herrn Dr. H. K. ZÖBELEIN, Bayerische Staatssammlung für Paläontologie und historische Geologie, München, die der Mikrofaunen bei Herrn Dr. P. HAGENMEYER, Gewerkschaft Brigitta. Bei der Erarbeitung und Zusammenstellung der petrographischen Daten an der Bohrung selbst leisteten mir in einem Team von drei Samplern vor allem Herr H. HUSMANN und Herr TH. KACZMAREK wertvolle Hilfe. Allen Kollegen und Mitarbeitern, die zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben, meinen herzlichen Dank.

C. Methodisches

Voraussetzung für eine befriedigende sedimentpetrographische und stratigraphische Auswertung gemeißelter Bohrungen ist die kontinuierliche Erfassung der Spülproben durch quantitative Analyse, darüber hinaus die Wertung aller anderen geologisch ausdeutbaren Bohrungsdaten (TRUSHEIM 1956). Zur ständigen Kontrolle der Geschehnisse am Bohrturm war bei den beschriebenen Molasse-Bohrungen ein fahrbares Feldlabor im Einsatz; hier wurden vom Verfasser mit Hilfe von drei Samplern die meisten der im folgenden beschriebenen sediment-

petrographischen und stratigraphischen Untersuchungen ausgeführt. Das Bohrklein wurde in Teufenabständen von 5 m dem Schüttelsieb entnommen und quantitativ durch petrographische Auslese analysiert; in wichtiger erscheinenden Strecken, wie im Bereich der Stufen-Grenzen, erfolgte die Entnahme alle 2 m oder dichter. Durch die kontinuierliche Spülproben-Bearbeitung wurde es möglich, alle durchteuften Gesteine im Bohrklein zu erfassen und zu beurteilen sowie erbohrtes Gestein von Nachfall zu unterscheiden.

Gute Hilfe bei der Beschreibung der Gesteinsserien, vor allem beim Farbvergleich, leisteten *Lackfilme* (Methode nach W. KLINGLER in TRUSHEIM 1956), die im Feldlabor im Maßstab 1 : 200 hergestellt wurden.

Zur Klärung wichtiger petrographischer Fragen verhalfen ferner die später angefertigten rund 170 *Dünnschliffe*, die z. T. aus Spülproben hergestellt wurden.

Die Spülproben-Analyse liefert eindeutige Ergebnisse nur bei guter Spülung, die den Nachfall gering hält und einen raschen Austrag des Bohrkleins sichert. Mehrmals täglich wurden deshalb im Feldlabor *Spülungs-Analysen* durchgeführt, die alle Veränderungen der Spülungseigenschaften aufzeigten und maßgebend waren für Verbesserungen oder Umstellungen.

Die Ergebnisse der geologischen Bearbeitung am Bohrturm wurden in *Samplerlogs* zusammengefaßt, welche die geologisch wichtigen Bohrungsdaten enthalten. Als Beispiel diene das Log der Bohrung Rieden 1 (Beilage 1), das im folgenden kurz erläutert wird:

Der *Bohrfortschritt* läßt häufig Rückschlüsse auf die mechanischen Eigenschaften des erbohrten Gesteins zu. Er zeigt in manchen Fällen noch vor dem Austrag entsprechender Spülproben einen Gesteinswechsel an. Zudem ist er, ebenso wie die Angaben über *Meißelwechsel*, wichtig zur Beurteilung von Nachfall.

Die *Aufstiegszeit* wurde empirisch bestimmt. Aus Aufstiegszeit und Bohrfortschritt wurde die Teufendifferenz zwischen wahrer Teufe (Spülproben auf Sohle) und angenommener Teufe (bei Austrag am Schüttelsieb) errechnet. Der Fehler liegt bei den besprochenen Molasse-Bohrungen meist weit unter 1 m, d. h. innerhalb der Meßgenauigkeit, die durch den Entnahmeabstand der Spülprobe von 5 oder 2 m gegeben ist.

Die Angaben über *Verrohrung* geben Aufschluß über die mögliche Herkunft des Nachfalls.

Kerne blieben auf die erdölgeologisch wichtigen Bausteinschichten bzw. auf die überlagernden Unteren Cyrenenschichten beschränkt. Mit gutem Erfolg wurde ein Diamant-Wireline-Kerngerät eingesetzt. Der Kerngewinn lag in allen drei Bohrungen bei fast 85 %. Bei der Aufzeichnung wurden Kernverluste im Zweifelsfall an die Basis des betreffenden Kernmarsches gelegt.

Die Ausdeutung der *Schlumberger-Eigenpotential- und Widerstands-Messungen* ist bei den vorliegenden Bohrungen erschwert durch die wechselnde Salinität der Molasse-Wässer.

Die *quantitative petrographische Auslese* ergibt bei Meißelbohrungen die wichtigste Kurve des Samplerlogs. Sie zeigt den jeweiligen

Prozent-Anteil an verschiedenen Gesteinen, ausgelesen aus je 50 ccm der nur von der Spülung befreiten Spülproben. Die Kurven geben Einsatz und Ausklingen der einzelnen Gesteine im Profil wieder. Dabei ist die Kenntnis der gesamten, kontinuierlich kontrollierten Gesteinsserie wichtig für die Beurteilung und Ausscheidung von Nachfall. Beim Vergleich mehrerer Bohrungen lassen sich die Kurven der quantitativen petrographischen Auslese ähnlich wie Schlumberger-Diagramme miteinander verknüpfen (Beilage 2). Auch im Vergleich mit den elektrischen Diagrammen ergeben sich im Gesamtverlauf wie in Einzelheiten deutliche Übereinstimmungen. Dabei werden die Aussagen der theoretisch ausgedeuteten elektrischen Messungen bezüglich der Gesteinsbeschaffenheit ergänzt und interpretiert durch die direkt erfaßten, beliebig detaillierbaren petrographischen Daten der Gesteinskurven der quantitativen Spülproben-Auslese.

In die Spalte für quantitative petrographische Auslese wurden auch die Ergebnisse der Korngrößenbestimmung am Binokular bei Sanden bzw. Sandsteinen einschrafft (Einteilung nach v. ENGELHARDT 1948 in LEMCKE und v. ENGELHARDT & FÜCHTBAUER 1953). Das ermöglicht die Unterscheidung verschiedener Sandsteine und gibt weitere Anhaltspunkte für den Vergleich der Bohrungen, vor allem in der eintönigen Serie der Unteren Süßwasser-Molasse.

Die Kurve der festen Bestandteile gibt den Prozent-Anteil fester Gesteinsbröckchen an, die bei der Aufbereitung der Spülproben zur petrographischen Auslese nicht durch den Siebsatz (0,06 mm- und 0,6 mm-Siebe) hindurchgeschlämmt wurden.

Aus der Fülle der Spüldaten wurden nur die geologisch wichtigen Werte für Sandgehalt (ccm/l) und NaCl-Gehalt (Gewichts-%) in der Spülung übernommen. Vor allem letztere Werte haben sich in der Molasse infolge der wechselnd salinaren Zuflüsse aus dem Gebirge als wesentlich erwiesen für die Interpretation der Schlumberger-Diagramme.

Die Kurve der Heißwasserbehandlung zeigt an, wieviel Öl durch heißes Wasser aus einer Spülprobe ausgetrieben wird und sich an der Wasseroberfläche sammelt (SCHETTLER 1954). Die Kurve der Gasanzeige gibt die von einem CH₄-Mono-Gasgerät registrierte relative Menge an CH₄ in der Spülung an.

Zur Klärung stratigraphischer Fragen wurden in allen drei Bohrungen eingehende Untersuchungen an Schwermineralien vorgenommen. Die meisten Proben wurden im Feldlabor an der Bohrung selbst ausgezählt und gewertet, um schon nach möglichst kurzer Zeit stratigraphische Aussagen über den Stand der Bohrung machen zu können.

Insgesamt wurden im Rahmen dieser Arbeit etwa 600 Präparate mit etwa 250 000 durchsichtigen Schwermineralien ausgezählt. Sie stammen überwiegend aus Spülproben; nur im untersten Teil der Bohrungen konnten Kernproben hinzugezogen werden. Ein Teil der Untersuchungen — nämlich die Schwermineral-Auszählung nicht fraktioniert ausgelesener Spülproben unterhalb der Oberen Meeres-Molasse — erwies sich im Laufe der Bearbeitung als unzureichend. Daher geht in die Betrachtung der Schwermineral-Vergesellschaftungen der bearbeiteten Bohrungen nur die Auswertung von etwa 450 Präparaten mit etwa 200 000 durchsichtigen Mineralien ein.

Zur Herstellung der Schwermineralien-Präparate diente die Sandfraktion von 0,06—0,3 mm. Sie wurde nach vorsichtigem Mörsern und H₂O₂-Behandlung des Gesteins abgesiebt; anschließend wurde der Schwermineral-Anteil mit Bromoform (D = 2,904) im Scheidetrichter nach SINDOWSKI abgetrennt. Da der stellenweise reiche Karbonatgehalt bei den Auszählungen störte, wurde eine große Anzahl der Proben zur Auflösung der Karbonate kurz mit 10 %iger HCl aufgeköcht. Die anderen Proben wurden in regelmäßigen Abständen ohne chemische Vorbehandlung auf den Objektträger aufgetragen, damit auch der Apatit-Anteil, der durch HCl ebenfalls ausgemerzt wird, erfaßt werden konnte. In den aus Sandstein-Fractionen hergestellten Präparaten unterblieb die HCl-Vorbehandlung in jedem Fall. Die langwierigere Behandlung der Proben mit Essigsäure, wie sie FÜCHTBAUER zur Herstellung von Schwermineral-Präparaten anwendet, um den Karbonat-Anteil aufzulösen, gleichzeitig aber den Apatit zu erhalten, wäre im Feldlabor nur unter Schwierigkeiten möglich gewesen. Als Einbettungsmittel wurde Caedax (n = 1,60) verwendet.

Von jedem Präparat wurden etwa 100 Schwermineralien außer Granat, Apatit, Glimmer, Baryt, opaken und aggregatpolarisierenden Mineralien gezählt und in Prozentkurven dargestellt. Apatit, Granat und opake Mineralien (Opak) wurden gesondert gezählt und in Verhältnis gesetzt zu den übrigen Schwermineralien. Baryt und Glimmer bzw. Chlorit wurden nicht ausgelesen.

Auf Ausbildung, Kennzeichnung und Verwitterbarkeit der einzelnen Schwermineralien in der Molasse gingen bereits NEUMAIER & WIESENER (1939), ZÖBELEIN (1940), GRIMM (1953) sowie LEMCKE und v. ENGELHARDT & FÜCHTBAUER (1953) ein, so daß auf diese Arbeiten verwiesen werden kann.

D. Petrographie und Sedimentationsablauf

Die in Schwabmünchen 1, Siebnach 1 und Rieden 1 durchteuften Molasse-Profile erscheinen auf den ersten Blick weitgehend ähnlich. Der genaue Vergleich zeigt jedoch eine vielfältige Differenzierung der Gesteine in Ausbildung und Mächtigkeit, bedingt durch den raschen Fazieswechsel in der Horizontalen und Vertikalen, also durch die zeitlich veränderte Lage zum Beckenrand und durch das Wechselspiel der verschiedenen Schüttungen.

Lediglich die unter regional gleichförmigen, brackischen oder marinen Bedingungen sedimentierten Bausteinschichten und die beiden Zyklen der Oberen Meeres-Molasse dürfen bei der Grenzziehung als stratigraphische Marken gewertet werden. Bei der Verknüpfung der unter aquatischen (limnischen oder fluviatilen) oder aquatisch-brackischen Bedingungen abgelagerten Schichten hingegen muß die Möglichkeit berücksichtigt werden, daß die Schichtgrenzen infolge ausgeprägter Faziesdifferenzierung diachron sein können. Hier ist ein Vergleich von Schichtmächtigkeiten, Sedimentschüttungen, Schwermineral-Vergesellschaftungen und Klima-Auswirkungen maßgebend dafür, inwieweit man solchen Faziesgrenzen im engen betrachteten Raum einen stratigraphischen Wert zubilligen darf.

Eine genaue stratigraphische Einstufung des Malm im Liegenden der Molasse-Serie war mangels bestimmbarer Fossilien in keiner der drei Bohrungen möglich. Wie in den benachbarten Bohrungen Scherstetten, Lauben und Heimerdingen läßt die Fazies auf hohen Malm, wohl Malm-Zeta, schließen. Die unterschiedliche petrographische Ausbildung — feingeschichtete, olivgrau-fleckige Kalksteine in Schwabmünchen 1 und Siebnach 1, weißgraue Massenkalksteine, wohl mit Riffschutt, in Rieden 1 analog Scherstetten 1 — mag faziell begründet sein. Andererseits könnte es sich bei den feingeschichteten Kalksteinen auch um jüngere Ablagerungen handeln, die sich — der regionalen Tendenz entsprechend — nach E unter der Tertiär-Transgression über den Massenkalken einschalten.

Trotz der langen Sedimentationspause ist die Grenzfläche gegen das Tertiär flach und ohne Karsterscheinungen. Steilstehende Klüfte haben keine erkennbare Fortsetzung in die überlagernden Bausteinschichten und sind mit tertiären Sanden gefüllt; ihre praechattische Entstehung ist danach wahrscheinlich.

Die **Bausteinschichten** (Abb. 2) kamen nach Mega- und Mikrofauna aller drei Bohrungen in einem Brackwassermeer zur Ablagerung. Ein Teil der Foraminiferen sowie die Serpeln beweisen einen zumindest zeitweise marinen Einschlag. Die Serie ist nach Fazies, stratigraphischer Situation und Schwermineral-Vergleich (FÜCHTBAUER 1954, 1955) den brackischen Bausteinschichten der subalpinen Molasse korrelat, die dort die Aussüßung der Unteren Meeres-Molasse einleiten.

In Siebnach 1 und Rieden 1 transgredieren die Bausteinschichten mit Konglomeraten und mit Bänken von aufgearbeitetem, zu Sand zerriebenem Malm des Untergrundes; dabei lassen zwei durch feinerkörniges Sediment getrennte Graupkies-Lagen an der Molasse-Basis in Siebnach 1 möglicherweise auf eine oszillierende Küstenlinie schließen. Die darüberlagernde Sandstein-Serie ist deutlich zweigegliedert in einen mächtigeren unteren und einen geringermächtigen oberen Teil. Der untere Teil besteht aus gut geschichteten, dichten, flaserigen Staub- und Feinsandsteinen, die durch Ton- und Schlufflagen feingeschichtet sind und reichlich Glimmer und Pflanzenreste führen; unruhiger Gesteinswechsel sowie Fossilinhalt deuten auf eine Sedimentation in küstennahem, flachem Brackwasser hin. Der obere Teil der Bausteinschichten besteht aus einer weitgehend homogenen, mittel- bis feinkörnigen, hellergrauen Sandsteinfolge mit Graupkies-Einlagerungen im höchsten Abschnitt; die Ablagerung mag nach der massigen Lagerung der Sandsteine unter ruhigeren Sedimentationsverhältnissen in etwas tieferem Brackwasser stattgefunden haben. Bezeichnend für die gesamte Serie der Bausteinschichten ist der reiche Gehalt an klastischen Karbonaten, der im Sandstein und Kies durchweg den Quarzanteil überwiegt¹⁾.

Ober- und Untergrenze der Bausteinschichten stellen trotz der unterschiedlichen Gesamt-Mächtigkeit etwa zeitgleiche Bezugsflächen dar: das wird bewiesen

¹⁾ Das Gestein wurde, auch wenn es überwiegend aus klastischen Karbonaten zusammengesetzt ist, „Sandstein“ genannt, weil Verfasser den Begriff Sandstein als reine Korngrößen-Bezeichnung ohne mineralogische Bedeutung definiert. Solange ein dem „arenite“ der amerikanischen Literatur analoger Begriff bei uns noch nicht Verwendung findet, glaubt Verfasser, hierdurch einer Verwechslung von Korngrößen-Begriffen (wie Kies, Sand, Ton) mit rein stofflichen Begriffen (wie Kalk, Quarz, Tonminerale) am ehesten vorzubeugen.

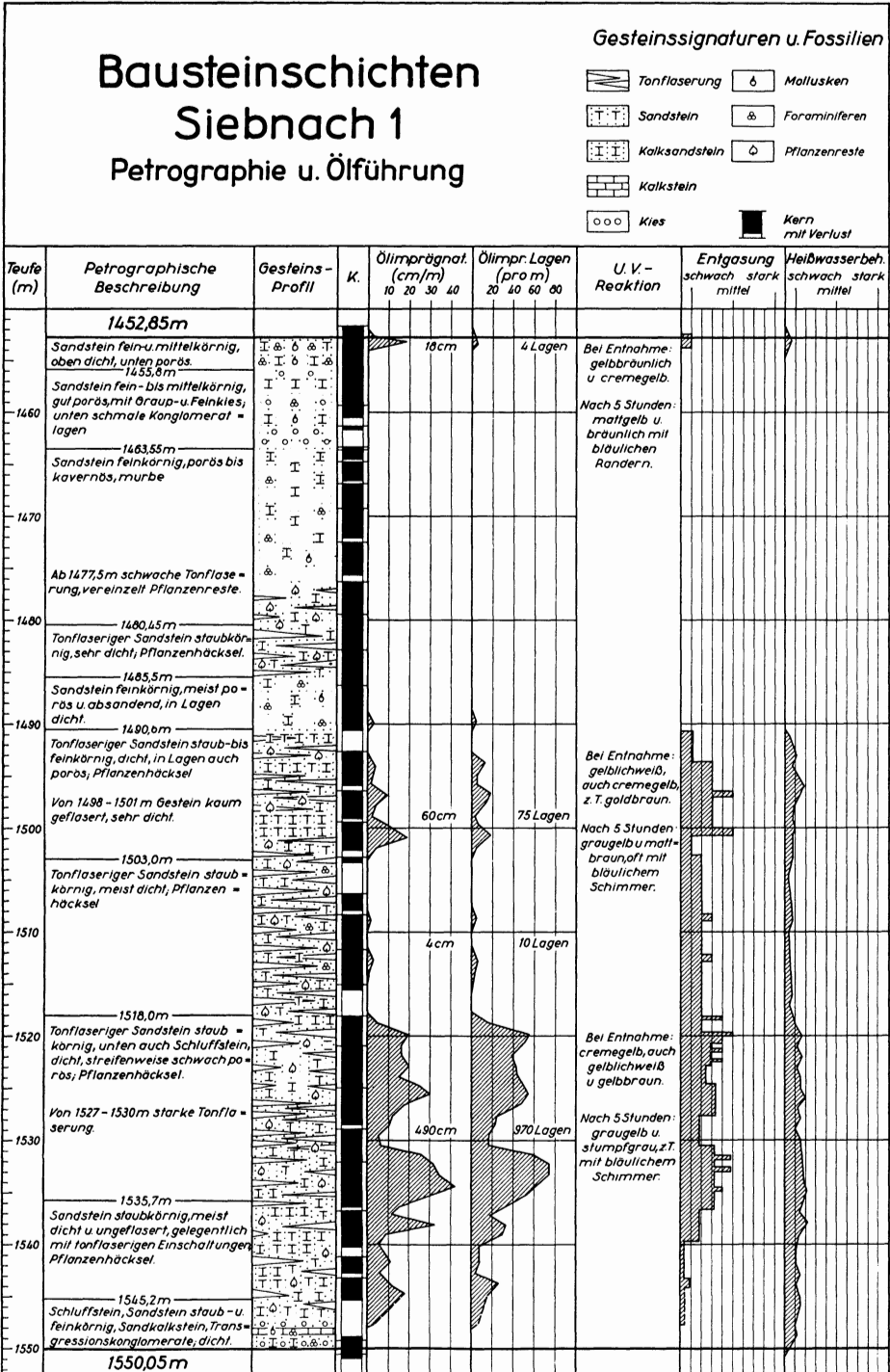


Abb. 2

durch die Zweigliederung²⁾ immer in etwa gleichem Verhältnis in allen drei Bohrungen sowie aus der Einschaltung eines aushaltenden Geröllhorizontes im obersten Teil. Darüber hinaus läßt der Vergleich der Bohrungen Siebnach 1 und Rieden 1 eine Untergliederung der Bausteinschichten in zehn bis in Einzelheiten konnektierbare Horizonte zu.

Altersmäßig können die Bausteinschichten im Vergleich mit den entsprechenden Ablagerungen der subalpinen Molasse sowie nach ihrer Überlagerung durch tief-chattische Untere Cyrenen-Schichten in die Grenzregion Chatt/Rupel, wohl schon ins Chatt gehörig, eingestuft werden.

In den drei Bohrungen wurden nur in den Bausteinschichten Öl- und Gasanzeichen angetroffen, die gelegentlich in Haarrissen einige Zentimeter ins Hangende und Liegende hineinreichten. Gesteine mit Festbitumen kommen bereits in den Oberen und Unteren Cyrenen-Schichten vor. Sonst erwiesen sich die höheren Schichten als steril. Auch die im tieferen Teil der Unteren Süßwasser-Molasse eingeschalteten Sandlagen führten, wohl wegen des raschen Fazieswechsels in der Horizontalen und Vertikalen, kein Öl.

Bezüglich der Ölführung konnten in den Bausteinschichten aller drei Bohrungen ähnliche Verhältnisse festgestellt werden: stets erwies sich der gut poröse obere Teil — außer einer schmalen Zone am Top — als steril; die Ölführung war gebunden an wenig poröse Horizonte des unteren, relativ dichten Teiles (Abb. 2).

Die bei Produktionsversuchen in Schwabmünchen 1 aus zwei getrennten Horizonten gefördertten Öle sind einander sehr ähnlich: sie sind von schwarzbraun-tintiger Farbe, sehr leicht ($d/15^{\circ}\text{C} = 0,823\text{—}0,829$), dünnflüssig (Stockpunkt = -15°C bis 6°C); der Gehalt an Paraffin ist mittel, an Hartasphalt gering; nach Siedeanalyse ist der Benzinanteil sehr hoch. Eine genauere Beschreibung der Öle von Siebnach 1 und Rieden 1 ist nicht möglich, da die gewonnenen Mengen für die üblichen Analysen nicht ausreichen. Chromatographische und fluorimetrische Untersuchungen sowie Vergleich von Fluoreszenzfarben, Eigenfarben und Flüchtigkeit beweisen, daß es sich um die gleichen leichtflüchtigen, benzinreichen Öle handelt wie in Schwabmünchen 1.

Zwischen Bausteinschichten und Unteren Cyrenen-Schichten (UCS) (Abb. 3) liegt ein Sedimentationsschnitt, der in Schwabmünchen 1 und Rieden 1 markiert ist durch Dezimeter-mächtige Pechkohle-Flöze, in Siebnach 1 durch eine 5 cm dicke Kieselkruste, die oben und unten von schmalen, welligen Kalksteinlagen gesäumt wird. Die Sandstein-Horizonte im tiefsten Teil der UCS mit teilweise aus den Bausteinschichten aufgearbeiteten Sanden deuten auf eine zwischenzeitliche Aufbereitung und Umlagerung des unmittelbar Liegenden, vielleicht in prielartigen subaquatischen Rinnen.

Die UCS schwanken in der Mächtigkeit sehr stark. Sie lassen in ihrem Aufbau den zögernden, unregelmäßigen Rückzug des brackischen Meeres erkennen. Wohl infolge oszillierender Teilbewegungen während der allgemeinen Beckenabsenkung wurde die Gesteinsfolge in zahlreiche Kleinzyklen (nach der Definition von v. BUBNOFF 1948) differenziert (Abb. 3).

In der Kernserie in Siebnach 1 konnten 6 Zyklen, in Rieden 1 sogar 10 Zyklen erkannt werden. Die reiche Fossilführung gestattet dabei die Rekonstruktion der Fazies der einzelnen Zyklenphasen. Jeder der Zyklen in Siebnach 1

²⁾ Nach VOLZ (1956, S. 208) scheint in Heimertingen ebenfalls eine entsprechende Zweigliederung der Bausteinschichten vorzuliegen. Da sich auch in Scherstetten 1 ähnliche Verhältnisse andeuten (LEMCKE 1955, S. 20), dürfte es sich bei der Zweiteilung in einen oberen, gröberkörnigen, poröseren Teil mit konglomeratischen Einschaltungen und einen unteren, dichteren, tonflaserigen Teil um eine regionale Gegebenheit handeln.

Untere Cyrenenschichten

Tieferer Teil

Rieden 1

Kleinzyklische Gliederung

Tiefe (m)	Gliederung	Petrographische Beschreibung	Fazies	Gesteins-Profil	Signaturen
	UCS höh. Teil	Mergelstein stark tonig, grüngrau, oliv u. braun, oft grusig. Außerdem Mergelstein einheitlich grüngrau, stark von Pyritkristallen durchstauert.	●●●●●	~ ~ ~ ~ ~	Gesteine Ton
1440	1439,9 m		●●●●●	~ ~ ~ ~ ~	
	X. Zyklus	Stinkkalkstein mittelbraun, oft Schillkalkstein. Mergelstein stark tonig, grünlichgrau, pyritreich, stark fossilhaltig durch <i>Maluskens-Schill</i> u. <i>Ostracoden</i> , oben staub- u. feinsandig.	○ ○ ○ ○ ○	~ ~ ~ ~ ~	Sandiger Ton
	1441,53 m	Gestein ab 1441,0 m stärker kalkig bis Kalkstein grau gelb, durchsetzt von <i>Austernschill</i> .	○ ○ ○ ○ ○	~ ~ ~ ~ ~	Kalksandstein
1442	IX. Zyklus	Oben Kalkkalkstein. Darunter Stinkkalkstein bräunlich, fossilreich, mit Kalkst-Trümmern. An der Basis Mergel grüngrau, mit <i>Maluskenschill</i> .	●●●●●	○ ○ ○ ○ ○	Kies
	1442,4 m		●●●●●	○ ○ ○ ○ ○	
	VIII. Zyklus	Oben Stinkkalkstein dunkelgrau, fossilreich. Darunter Mergelstein tonig, grüngrau, Kalkstein u. Bruchschill.	○ ○ ○ ○ ○	~ ~ ~ ~ ~	Mergel
	1442,8 m		○ ○ ○ ○ ○	~ ~ ~ ~ ~	
1444	VII. Zyklus	Stinkkalkstein braungrau, mit Kohle u. Schill. Mergelstein wechselt tonig, grau-grünlich, partienweise kalkig bis Kalkstein, oft fossilreich, mitunter mit <i>Serpenschill</i> u. <i>Fischresten</i> .	○ ○ ○ ○ ○	~ ~ ~ ~ ~	Mergelkalk
	1446	An der Basis Tonstein grau u. graubraun, mit <i>Austernschill</i> u. aufgearbeitetem Stinkkalkstein.	○ ○ ○ ○ ○	~ ~ ~ ~ ~	Kalkstein
1446	1445,9 m		○ ○ ○ ○ ○	~ ~ ~ ~ ~	Kalkstein
	VI. Zyklus	Stinkkalkst., oben dünngr., kohlig, mit Kalkst-Trümmern, unten gelbgrau. Mergelstein tonig, grüngrau, pyritreich. Mergelstein kalkig, Übergangfazies, unten <i>Austern- u. Ostracodenschill</i> .	●●●●●	○ ○ ○ ○ ○	Kalkstein
	1446,75 m	Stinkkalkst., oben stark kohlig, mit Kalkstein-Trümmern, fossilreich.	●●●●●	○ ○ ○ ○ ○	Kalkstein
1448	V. Zyklus	Mergelstein stark kalkig, olivgrau-gelblich, gelegentlich Übergangfazies. Tonstein schwach kalkig, mittel- bis dunkelgrau, grünlich, bröckelig, schluffhaltig. Daneben Kalk mergelig, hellgrau, mit Kohlepartikeln.	○ ○ ○ ○ ○	~ ~ ~ ~ ~	Kalkstein
	1450	Bei 1448,4 m 3 cm <i>Maluskenschill</i> u. <i>Ostracoden</i> .	○ ○ ○ ○ ○	~ ~ ~ ~ ~	Kalkstein
	1452	Mergelstein kalkig, dunkelgrau durch diffusen Pyrit, schillhaltig.	○ ○ ○ ○ ○	~ ~ ~ ~ ~	Kalkstein
1452	1452,2 m	An der Basis Mergelstein u. Kalkstein grau, fossilreich.	○ ○ ○ ○ ○	~ ~ ~ ~ ~	Kalkstein
	IV. Zyklus	Kalkkalkst., darunter Stinkkalkst. mit Kalkst-Trümmern, Kohle u. Schill. Mergelstein kalkig, olivgrau, gefleckt durch Pyrit. <i>Muschelschill</i> gelbgrau, gebunnen durch grau-grünen, schwach kalkigen Ton.	●●●●●	○ ○ ○ ○ ○	Kalkstein
	1453,3 m	Stinkkalkstein, fossilreich, mit Kalkst-Trümmern, oben kohlig.	●●●●●	○ ○ ○ ○ ○	Kalkstein
1454	III. Zyklus	Mergelstein stark kalkig, hellgrau-oliv, fleckig durch Pyrit, fossilreich, partienweise Übergangfazies. Unten Tonstein.	○ ○ ○ ○ ○	~ ~ ~ ~ ~	Kalkstein
	1454,2 m	Kalkstein u. Stinkkalkstein graubraun, oben stark kohlig, gut pyrithaltig.	○ ○ ○ ○ ○	~ ~ ~ ~ ~	Kalkstein
	II. Zyklus	Unten Schill sowie Tonstein dunkelgrau.	○ ○ ○ ○ ○	~ ~ ~ ~ ~	Kalkstein
	1455,0 m	Oben Kalkkalkstein u. Stinkkalkstein, darunter Kalkstein, sandförmig bis Sandstein. An der Basis Pechkohl.	○ ○ ○ ○ ○	~ ~ ~ ~ ~	Kalkstein
	1455,3 m	Sandstein fein- bis mittelkörnig, grau, partienweise durch Ölmprägung schwach bräunlich, wenig porös, überwiegend klassische Karbonatkörner, daneben Quarze, sehr häufig rote Blättle, selten Feldspäte. Ab 1455,35 m eingestreut Korallengerüste bis p. 1 cm.	○ ○ ○ ○ ○	~ ~ ~ ~ ~	Kalkstein
1456	Baustein-Schichten		○ ○ ○ ○ ○	~ ~ ~ ~ ~	Kalkstein

Abb. 3

und Rieden 1 beginnt mit einem Aufarbeitungshorizont, der eine marine bis brackische Phase mit Ton- und Mergel-Ablagerungen, oft durchsetzt von Austern- und Cyrenenschill, einleitet; darüber erfolgt allmähliche Aussüßung über limnisch-brackische Kalke und limnische Stinkkalke; nach oben schließt ein geringmächtiges Band kohledurchstäubter Kalke und Tone, meist mit brekziösen Einschlüssen des

gleichen Gesteins infolge subaquatischer Aufarbeitung, den Zyklus ab; ein neuer Brackwasservorstoß leitet mit einem neuen Aufarbeitungshorizont den neuen Zyklus ein. Der oberste Zyklus geht schließlich in eine homogene Serie eintönig-grauer, pyritreicher limnischer Mergel über, die nach oben zunehmend mit limnisch-fluviatilen Mergeln und Tonen wechsellagern; über dem höchsten Vorkommen dieser grauen Mergel wurde in den drei Bohrungen die Grenze zur Unteren Süßwasser-Molasse gezogen. Nach allem müssen die UCS aufgefaßt werden als Aussüßungszone der brackischen Bausteinschichten bei deren Übergang in die Untere Süßwasser-Molasse. Die streckenweise reiche Pyritführung sowie der Bitumengehalt und die Einschaltung von Stinkkalkstein-Bänken lassen auf eine Ablagerung bei mangelnder Sauerstoff-Zufuhr schließen.

Die Mächtigkeitsabnahme der UCS von S nach N läßt eine Küstenlinie nahe im N vermuten. Auch der schnelle Wechsel des Ablagerungsmediums und damit der Gesteine in der Horizontalen und Vertikalen legen den Rückschluß auf Sedimentation im seichten Schelf- und Küstenbereich eines nach jeder Ingression rasch wieder aussüßenden brackischen Meeres nahe, ohne daß es schon zu fluviatilen Bildungen gekommen wäre.

Die in Siebnach 1 gefundenen Leitformen *Pomatias antiquum antiquum* (BRONGT.)³⁾ (leitend für Chatt) und *Theridomys (Blainvillimys) gregarius* SCHLOSSER (leitend für Rupel und Unteres Chatt) erlauben im Bereich unserer Bohrungen eine eindeutige Alterseinstufung der UCS in tiefes Chatt (nach Untersuchungsergebnissen und frdl. schriftl. Mitt. der Herren Prof. Dr. R. DEHM und Dr. H. K. ZÖBELEIN, München); damit ist die Gleichaltrigkeit mit den UCS weiter südlich und östlich am Alpenrand bewiesen. Schon ZÖBELEIN (in LEMCKE und v. ENGELHARDT & FÜCHTBAUER 1953, S. 18; ZÖBELEIN 1955, S. 34) geht auf die Möglichkeit der Parallelisierung eines pechkohleführenden Kohleton-Bandes in Scherstetten 1 dicht oberhalb der Bausteinschichten mit den altchattischen Flözen von Hausham, Echelsbach und Maria Rain ein; er erwägt, ob sich in den Flözspuren von Scherstetten 1 wie in den Kohlebildungen der Falten-Molasse vielleicht eine allgemeine Verlandungstendenz widerspiegelt, die den Molasse-Trog im tieferen Chatt betroffen hat. Darauf weisen auch in Schwabmünchen 1, Siebnach 1 und Rieden 1 die Pechkohle- und Kohleton-Bildungen der UCS hin, wobei die einzelnen Flözspuren in den verschiedenen Bohrungen nicht exakt gleichen stratigraphischen Horizonten angehören müssen.

Die **Untere Süßwasser-Molasse (USM)** geht durch allmähliche Aussüßung aus den limnisch-brackischen UCS hervor. Durch die Einschaltung der Oberen Cyrenen-Schichten wird die aquatische Gesteinsfolge zweigeteilt; der untere Teil zwischen Unteren und Oberen Cyrenen-Schichten soll im folgenden als USM I bezeichnet werden, der obere Teil zwischen Oberen Cyrenen-Schichten und Oberer Meeres-Molasse als USM II.

Im tiefsten Abschnitt der USM — bis etwa 250 m über ihrer Basis — scheint limnische Fazies vorzuherrschen⁴⁾: die Mergel und Tone sind kräftig

³⁾ *Pomatias antiquum antiquum* (BRONGT.) wurde auch in Rieden 1 in den UCS gefunden.

⁴⁾ In Siebnach 1 wurden in einem Seitenkern bei 1170 m und in einem Kern von 1417,1—1420,8 m mehrere Foraminiferen gefunden; Herr Dr. P. HAGENMEYER (frdl. mündl. Mitteilung) erwägt deshalb die Möglichkeit brackischer Einschaltungen innerhalb der USM I;

bunt, Sandsteine kommen nur sehr untergeordnet vor in durchweg feinkörnigen, wechselnd dichten, monoton grauen Varietäten, der Pyritgehalt der Sedimente ist relativ hoch, die Fossilführung — vor allem Schneckenreste, Characeen-Oogonien und kohlige Pflanzenreste — ist etwas stärker als weiter oben. All das deutet auf einen flachen Sedimentationsraum, der die Brackwasserbucht der UCS ablöste.

Im höheren Teil der USM I und in der USM II nehmen Sandstein-Einschaltungen zu, die pelitischen Gesteine sind blasser bunt, pyritärmer und fast fossilfrei. Die Sedimentation dürfte in einem langsam absinkenden aquatischen Sedimentationsraum vonstatten gegangen sein, wobei die Sande in mäandrierenden Flußsystemen, die Mergel und Tone in Altwasser- oder Überschwemmungsgebieten zur Ablagerung kamen. Keineswegs ist der Umschlag vom vorherrschend limnischen zum vorherrschend fluviatilen Milieu in der USM I scharf und in allen Bohrungen einheitlich; er läßt sich erklären durch regional-tektonische Bewegungen, die ein verstärktes Gefälle ins Sedimentationsbecken schufen. Vielleicht bedingten die gleichen Bewegungen auch Veränderungen im Liefergebiet und führten damit zur Ablösung einer karbonatreichen Schüttung durch eine feldspatreiche (s. S. 28).

Die unruhige, wechselvolle Gesteins-Serie läßt in den Bohrungen keine detaillierte Parallelisierung zu, abgesehen von wenigen durch ihre Mineralführung und -körnung besonders auffälligen Sandsteinpaketen. Nach Korngröße und Reichtum an Sand-Einschaltungen lassen sich aus der Gesteins-Auslese lediglich tendenzmäßig mehrere Gruppen voneinander trennen, die etwa mit der nach Schlumberger- und Bohrfortschritts-Diagrammen aufgestellten lithologischen Teilung von VOLZ (1956, S. 299) übereinstimmen (wobei die VOLZsche USM 3 unseren Oberen Cyrenen-Schichten entspricht).

Bezüglich des stratigraphischen Alters der USM ergaben sich in den Bohrungen keine neuen Hinweise. Da die Grenze Chatt/Aquitain auch nach unseren Ergebnissen wohl im Bereich der Oberen Cyrenen-Schichten zu suchen ist, dürfte die USM I ins Chatt, die USM II ins Aquitain einzustufen sein.

Die **Oberen Cyrenen-Schichten (OCS)** bilden ein Intermezzo fossilreicher limnisch-brackischer Ablagerungen in der aquatischen, fossilarmen Serie der USM. Die Sedimente entsprechen petrographisch etwa denen der UCS. Die Grenzen gegen das Liegende und Hangende sind unscharf; fluviatile Gesteine reichen bis in die OCS hinein; ebenso finden sich in der USM bei Annäherung an die OCS in einer Grenzzone bereits verstärkt in dünnen Bänken limnische, dunkelgraue Tone und dolomitische Kalksteine. Als fluviatile Sedimente kommen meist bunte, wechselnd tonige Mergel und Sandmergel, seltener graue Sandsteine vor. Die limnisch-brackischen Ablagerungen sind petrographisch sehr vielfältig: Graue Mergel zeigen sich oft stark schillhaltig. Typisch sind rauchgraue und braune, fossilgespickte Tone, die bei stärkerem Gehalt an Pflanzenhäcksel manch-

ebenso schließt er für die USM II aus einem Vorkommen von *Eucypris? candonaeformis* STRAUB (Schwabmünchen 1, Spülprobe bei 625 m) auf brackische Einflüsse. Nach der Gesteinsbeschaffenheit und nach Vergleich mit den Bohrungen Scherstetten 1, Heimertingen 1—5 und Lauben 1, wo die USM als durchweg limnisch-fluviatil ohne brackische Vorstöße beschrieben wird, dürfte es sich aber um umgelagerte Fossilien handeln.

mal in Kohleton übergehen. Chamoisfarbene, meist schwach dolomitische Stinkkalkstein-Bänke kommen nicht selten vor; daneben treten Schillkalke, feinknollige Kalke sowie brekziöse Trümmerkalke auf. Sandstein ist weniger häufig als in der USM. In schmalen Bänken wurde bituminöse Kohle abgelagert. Die durchweg reiche Fauna belegt einen raschen Wechsel limnischer, brackischer und mariner Ablagerungen, so daß auch hier auf zyklische Vorgänge geschlossen werden kann. Stinkkalkstein, Pyritreichtum und der stellenweise schwache Festbitumen-Gehalt der Gesteine deuten wie in den UCS auf Sedimentation bei mangelnder Sauerstoff-Zufuhr. Der Höhepunkt des brackisch-limnischen Einflusses liegt in allen Bohrungen in der Mitte oder im unteren Teil der OCS; darüber und darunter nehmen die limnisch-fluviatilen Einschaltungen allmählich zu bis zum Übergang in die rein aquatischen Sedimente der USM.

Die Ablagerung erfolgte in einem wohl zyklisch ausgesüßten, flachen Brackwasser-See, das von S und E her ingedüngt wurde. Da die Küste nur wenig westlich und nördlich unserer Bohrungen lag, sind starke Mächtigkeitsschwankungen und fazielle Unterschiede erklärlich: in Lauben und Heimertingen waren die OCS nicht nachweisbar, eine verstärkte limnische Fazies scheint im äquivalenten Bereich der USM durch das Vorwiegen grauer Tonmergel gegeben zu sein. In der nur etwa 12 km östlich Lauben 1 gelegenen Rieden 1 sind bereits typische Cyrenen-Schichten ausgebildet (Mächtigkeit 62 m). Auch in der nördlicher gelegenen Bohrung Schwabmünchen 1 (77 m), ebenso wie in Scherstetten 1 (69 m), sind die OCS entwickelt. Die mächtigste Einschaltung limnisch-brackischer Sedimente findet sich erwartungsgemäß in der am weitesten im SE liegenden Siebnach 1: die eigentlichen OCS sind hier 84 m mächtig; aber bereits 45 m unter ihrer Untergrenze sind limnisch-brackische Sedimente in einem „Grenzbereich“ in zunehmendem Maße in die fluviatilen Ablagerungen der USM eingeschaltet. Das als „Grenzbereich“ ausgegliederte Paket muß einerseits faziell bereits zu den OCS gestellt werden; andererseits konnte durch die Auswertung sedimentpetrographischer und faunistischer Bezugshorizonte erwiesen werden, daß stratigraphisch die brackischen Ablagerungen des „Grenzbereiches“ in Siebnach noch den höchsten fluviatilen Lagen der USM I von Rieden und Schwabmünchen entsprechen. Die Ingression des Brackwasser-Meeres erfolgte demnach in Siebnach wesentlich früher. Wenn man die ersten brackischen Einschaltungen zum Bezugshorizont erhebt, erweist sich die Untergrenze der OCS (unter Einbeziehung des „Grenzbereiches“) demnach als Faziesgrenze, die auch auf engem Raum keinen stratigraphischen Leitwert hat.

Wichtig ist das Vorkommen von *Metacypris danubialis* STRAUB, das in allen drei Bohrungen auf den gleichen Horizont an der Grenze OCS/USM I (bzw. in Siebnach 1 OCS/„Grenzbereich“) beschränkt ist. Es scheint sich hier zumindest lokal um einen brauchbaren faunistischen Leithorizont zu handeln, der ebenso wie einige sedimentpetrographische Bezugshorizonte auf die Möglichkeit hindeutet, die Unterkante der OCS (in Siebnach ohne „Grenzbereich“) etwa stratigraphisch gleichzusetzen. Auch für die Frage der Alters-einstufung der OCS ist das Auftreten von *Metacypris danubialis* wesentlich; wie schon von Scherstetten 1 beschrieben, kommen auch in unseren Bohrungen nach Untersuchungen von Herrn Dr. P. HAGENMEYER (frdl. mündl. Mitt.) nebeneinander die Unterarten *Metacypris danubialis danubialis* STRAUB und *Meta-*

cypris danubialis punctata STRAUB vor. Nach STRAUB (1952) und FAHRION & STRAUB (1955, S. 41) hat „die erstgenannte Form im Ulmer Gebiet ihre Hauptverbreitung im Chatt und reicht nur noch ganz wenig in das Aquitan hinein. Die zweitgenannte Form dagegen setzt erst mit dem Aquitan richtig ein“. Wir dürfen — wie STRAUB & FAHRION in Scherstetten — auch in unseren Bohrungen aus dem Nebeneinander beider Unterarten annehmen, daß die OCS etwa an der Wende Chatt/Aquitan sedimentiert wurden.

Die monotone Gesteinsserie der **Oberen Meeres-Molasse (OMM)** transgrediert — in Siebnach 1 und Rieden 1 mit fossilreichen konglomeratischen Sandsteinlagen als Basis-Bildungen — über die vielfältigen, bunten Sedimente der USM. Die in Siebnach über der Transgressionsfläche ausgebildeten beiden Quarzkies-Horizonte, die voneinander durch etwa 12 m feinkörnige, z. T. bunt gefärbte Sedimente getrennt sind, dürften auf Schwankungen der Küstenlinie hinweisen.

Die Zweigliederung der OMM in einen feinerkörnigen, mächtigeren I. Zyklus mit Basisschichten und Sandmergelserie und in einen gröberkörnigen, geringermächtigen II. Zyklus mit Baltringer Horizont und Feinsandserie ist in den betrachteten Molasse-Bohrungen deutlich ausgeprägt. Dabei bestätigten sich die von LEMCKE (LEMCKE und v. ENGELHARDT & FÜCHTBAUER 1953, S. 25) errechneten Prozentanteile des I. Zyklus an der Gesamtmächtigkeit der OMM (i. a. zwischen 77 und 86 %, im Aichacher Raum lokal weniger) auch für Schwabmünchen 1 (74 %), Siebnach 1 (77 %) und Rieden 1 (82 %).

Die einheitliche, sandig-mergelige Ausbildung sowie die relativ arten-, z. T. auch individuenreiche Fauna der Sandmergelserie des I. Zyklus lassen auf ruhige Ablagerungsverhältnisse schließen. An der Grenze zum II. Zyklus schlagen die grauen Farben des Liegenden plötzlich in Olivgrün um, teilweise durch vermehrten Glaukonitgehalt; gleichzeitig nehmen die Korngrößen zu, die Kornverteilung wird uneinheitlicher; das deutet für den II. Zyklus auf unruhigere Sedimentationsverhältnisse in flacherem Wasser. In Schwabmünchen 1 und Siebnach 1 wurden im Baltringer Horizont außer schwacher Kornvergrößerung keine auffälligen Transgressions- oder Flachwasserbildungen beobachtet. In Rieden 1 dagegen beweist ein 8,5 m mächtiger Horizont von konglomeratischem Schillkalkstein mit Geröll aus Quarz und limonitischem Kalkstein die positiven Krustenbewegungen zu Beginn des II. Zyklus. Die Fauna des II. Zyklus ist — abgesehen vom Baltringer Horizont in Rieden 1 — wesentlich ärmer als die des I. Zyklus.

Aus den Spülproben der bearbeiteten Molasse-Bohrungen konnten keine weiteren Hinweise zur Altersfrage der OMM erwartet werden. Da die etwa gleiche petrographische Ausbildung der einzelnen Abschnitte sowie die konstanten Mächtigkeitsverhältnisse des I. und II. Zyklus auf zeitgleiche Sedimentation im betrachteten Raum schließen lassen, können wir uns der am Kernmaterial von Scherstetten 1 erarbeiteten Meinung ZÖBELEINS anschließen (in LEMCKE und v. ENGELHARDT & FÜCHTBAUER 1953, S. 27; ZÖBELEIN 1955, S. 27 ff.), daß die OMM — bis auf wenige in ihrer Einstufung unsichere Meter an der Basis — dem Helvet zuzuordnen ist. Burdigale Ablagerungen sind

Albstein-Korrelation

Gesteinssignaturen u. Fossilien



Rieden 1

Granal-Epiadol-
Vergesellschaftung

Teufe (m)

100

Mergel, graugrün u. grün,
bei oben weisgrau-sandig

B-Grenze

II. Alb =

Nachphase

Zwischenmittel

Hauptphase

Mergel wechsellagig,
graugrün-grün, selten rotbraun wechsellagig sandig

Mergel stark tonig, rot*

Kalkstein stark, mergelig weisgrau-sandig

Mergel wechsellagig,
gelbgrün-grün u. rot*

Mergel stark, tonig, rotbraun u. braun, sandig

Sandstein durch viel Kalk gebunden, weisgrau

Mergel wechsellagig, lang, graugrün u. rötlich, mächtig sandig

Granal-Staurolith-
Aperti-
Vergesellschaftung

Teufe (m)

117

Wie oben, dazu Ton dünn weisgrau, gut schiffbar

Mergel u. Kalkstein rot u. weisgrau

Mergel intensiv rotbraun, nicht so sandfrei

Mergel, Kalk u. Knollen, Kalkstein, weisgrau, rot, gelb

Sandstein mergelig, gelbgrün, grau u. grün, glaukonitisch

Mergel stark, tonig, rotbraun u. gelb, sandig

Mergel wechsellagig, lang, grau-schwarz, wechsellagig sandig

Mergel stark, tonig, rotbraun u. braun, sandig

Kalkstein wechsellagig, mergelig, rot, sandig

Mergel stark, tonig, rotbraun u. braun, sandig

Mergel wechsellagig, lang, dunkelgrün-braunlich, nicht so sandfrei, schluffend

Mergel wechsellagig, lang, grau-schwarz, wechsellagig sandig

Sandstein mergelig, gelbgrün, grau u. grün, glaukonitisch

Epiadol-Granal-
Vergesellschaftung

Teufe (m)

148

Sandstein mergelig, gelbgrün, grau u. grün, glaukonitisch

Mergel stark, kalkig, bis Kalkstein, weisgr., rötlich u. gelb

Mergel stark, tonig, rotbraun u. gelb, sandig

Mergel wechsellagig, lang, grau-schwarz, wechsellagig sandig

Mergel wechsellagig, lang, grau-schwarz, wechsellagig sandig

Mergel wechsellagig, lang, grau-schwarz, wechsellagig sandig

Mergel wechsellagig, lang, grau-schwarz, wechsellagig sandig

Mergel wechsellagig, lang, grau-schwarz, wechsellagig sandig

Mergel wechsellagig, lang, grau-schwarz, wechsellagig sandig

Mergel wechsellagig, lang, grau-schwarz, wechsellagig sandig

Mergel wechsellagig, lang, grau-schwarz, wechsellagig sandig

Mergel wechsellagig, lang, grau-schwarz, wechsellagig sandig

Mergel wechsellagig, lang, grau-schwarz, wechsellagig sandig

Siebenschicht 1

Schwabmünchen 1

Abb. 4

demnach nur geringmächtig möglich im höchsten Teil der USM II oder an der Basis der OMM; wahrscheinlich ist das ganze Burdigal unter der Transgressionsfläche ausgefallen.

Die **Süßbrackwasser-Molasse (SBM)** lagert mit einer Wechselfolge bunter limnischer und fluviatiler Tone, Mergel und Sandsteine ohne Übergang durch ein brackisches Stadium der OMM auf; bezeichnend sind vor allem schwarzbraune und rauchgraue, sehr fossilreiche limnische Tone.

An der Basis der SBM sowie etwa 15 m oberhalb sind feinknollige Kalksteinbänke entwickelt; sie zeigen die typische Differenzierung des **Albsteins** in eine kalkige Hauptphase, ein intensiv buntes Tonzwischenmittel und eine kalkmergelige oder sandige Nachphase (Abb. 4). Umkrustungsstrukturen (KIDERLEN 1931, RUTTE 1955), wie sie dem Albstein i. e. S. eigen sind, konnten auch im Dünnschliff an keinem der Kalke entdeckt werden; vielmehr zählen die vorliegenden Albsteinbildungen in ihrer teilweise knolligen oder schlierigen Ausbildung zu den Albstein-Andeutungen bzw. dem Albstein i. w. S. (LEMCKE und v. ENGELHARDT & FÜCHTBAUER 1953, S. 31 ff.). Der tiefere Albstein, der in Siebnach 1 und Rieden 1 ausgebildet ist, in Schwabmünchen 1 aber fehlt, wurde als I. Albstein bezeichnet. Der höhere Albstein, der sich in Siebnach 1 und Schwabmünchen 1 findet, soll II. Albstein genannt werden. Zwischen beiden Albstein-Regionen kommen in allen drei Bohrungen auffällig dunkle, fossilreiche Tone vor, die in einer mehrere Meter mächtigen Lage dem I. Albstein auflagern.

Der I. Albstein bildet die Grenze gegen die OMM. Er führt häufig Glaukonit sowie eine marine Kleinfafauna und Molluskenschill, möglicherweise durch Aufarbeitung und Umlagerung aus der OMM erklärbar. Nach Spülproben hat es den Anschein, als ob in den obersten Metern der OMM bereits Albstein-Knollen vorkommen, die sich rasch über der OMM zu einer Decke zusammenschließen. Die Bildung des I. Albsteins erfolgte wohl zu der Zeit, in der in benachbarten Gebieten die brackischen Kirchberger Schichten oder *Oncophora*-Schichten zur Ablagerung kamen.

Stratigraphisch entspricht der I. Albstein Siebnachs dem Albstein von Rieden und Scherstetten sowie dem der CF-Bohrungen des Krumbacher Gebietes; er ist weiter östlich im Aichacher Raum nicht ausgebildet. Der II. Albstein Siebnachs, etwa 15 m über der Basis der SBM, ist dem Albstein von Schwabmünchen parallelisierbar und entspricht dem von LEMCKE beschriebenen Albstein des Aichacher Gebietes. Wenn auch echte Umkrustungsstrukturen zu fehlen scheinen, so läßt die Knollenstruktur beider Albsteine doch auf eine Entstehung als exsudative Kalkkruste (RUTTE 1955) an einer Landoberfläche während einer Sedimentations-Unterbrechung schließen. Wir können deshalb im Bereich unserer Bohrungen im unteren Teil der SBM mit zwei stärkeren Emersionen rechnen, von denen die erste an der Grenze OMM/SBM sich von Siebnach und Rieden weit über den Krumbacher Raum hinaus nach W, die zweite von Siebnach und Schwabmünchen in den Aichacher Raum nach E auswirkte; in einer Grenzregion, in der auch die Bohrung Siebnach 1 liegt, kommen Überschneidungen vor.

Das Alter der SBM konnte in den bearbeiteten Bohrungen — wie auch in Scherstetten 1 und in den zahlreichen CF-Bohrungen der Umgebung — nicht eindeutig geklärt werden. Je nach der Zeitdauer der Schichtlücke an der Grenze

OMM/SBM, in welcher der I. Albstein — möglicherweise als zeitliches Äquivalent der in benachbarten Räumen mächtigen brackischen Ablagerungen — gebildet wurde, muß die Einstufung ins Oberhelvet, vielleicht bereits ins Untertorton erfolgen.

Der Beginn der **Oberen Süßwasser-Molasse (OSM)** wurde — wie üblich — über dem höchsten mächtigeren Vorkommen limnischer, dunkler Tone mit reicher Fossilführung festgesetzt. Ganz vereinzelt kommen auch darüber noch im untersten Teil der OSM dünne Einschaltungen schwärzlicher Tone vor. Sonst wurden in der OSM keine Anzeichen für limnische Fazies mehr gefunden. Die Mergel, Tone und Sandsteine dürften durchweg fluviatiler Entstehung sein, entweder als Strombett- oder als Überschwemmungs-Sedimente. Ansonsten entsprechen die Ablagerungsverhältnisse in ihrem raschen Fazieswechsel, ohne Möglichkeit einer Gesteinsparallelisierung selbst auf engem Raum, weitgehend der SBM. Die Farben der Sedimente werden matter bunt, vielleicht infolge veränderten, kühleren Klimas, vielleicht auch durch das Nachlassen limnischer Einflüsse; rote Töne fehlen ganz. Die in den CF-Bohrungen der Umgebung beschriebene Zunahme des Sandgehaltes gegenüber der SBM wurde nicht beobachtet. Hingegen läßt sich innerhalb der OSM gegen das Hangende ein langsames Anwachsen der Schüttungsintensität erkennen, wohl entsprechend einer allmählichen relativen Hebung des Liefergebietes: auf eine vorwiegend mergelige Serie mit feinerkörnigen Sand-Einschaltungen folgt eine gröberkörnige Serie mit reichem Sandstein-Anteil. Darüber liegen die Hauptgeröllsande, die in Siebnach 1 am mächtigsten sind, nach Rieden 1 und Schwabmünchen 1 abnehmen; der Kiesanteil besteht überwiegend aus Quarzen, daneben aus Sandsteingerölln von nur wenig älteren, aber z. Z. der Aufarbeitung bereits verfestigten Molasse-Schichten der Umgebung. Gegen das Hangende gehen die Geröllsande bei nachlassender Transportkraft der Flußsysteme wieder in eine mergelig-sandige Abfolge über.

Das Alter der OSM dürfte überwiegend tortonisch sein. Eine exakte Alters-einstufung ist nicht möglich, da Fossilien und Lebensspuren — abgesehen von „Rhizosolenien“ (HILTERMANN 1952) — äußerst selten sind. Da die im Schwermineral-Vergleich erkannte „A“-Grenze (s. S. 31), die in den betrachteten Bohrungen durch die Hauptgeröllsande schneidet, von LEMCKE und v. ENGELHARDT & FÜCHTBAUER (1953, S. 76) etwa an die Wende Torton/Sarmat gelegt wird, reichen die Tertiär-Ablagerungen wohl noch ins Sarmat hinein. Sedimente des höchsten Sarmats und des Pliozäns fehlen.

E. Die Schwermineral-Analyse von Spülproben

In den Bohrungen Schwabmünchen 1, Siebnach 1 und Rieden 1 wurden Kerne nur aus dem untersten Teil des Molasse-Profiles entnommen. Die Schwermineral-Analysen oberhalb der UCS mußten deshalb an Spülproben vorgenommen werden.

Zu Beginn der Arbeit wurden die Spülproben ohne Auswahl bestimmter Gesteine in regelmäßigen Teufenabständen von 10 m zur Herstellung von Schwermineral-Präparaten aufbereitet. Während die Auszählungs-Ergebnisse

(Beispiel Schwabmünchen 1: Beilage 3, obere Kurve; Auszählungstabelle Beilage 7) für den oberen Teil des Molasse-Profiles (OSM, SBM, OMM) befriedigten, ergaben sich für den unteren Teil (USM, OCS) Zweifel an der Richtigkeit der Resultate. Herrn Dr. H. FÜCHTBAUER danke ich sehr für seine Kritik in diesem Stadium der Arbeit. Er erhärtete durch Schwermineral-Auszählungen an insgesamt etwa 40 Kernproben der Scherstetten 1 und 5 Seitenkernproben der Schwabmünchen 1 seinen schon früher (FÜCHTBAUER 1954 a, S. 30 ff. und Abb. 5) gewonnenen Befund, daß für die USM des betrachteten Raumes — abgesehen von ihrem höchsten Teil — ein armer oder fehlender Epidot-Gehalt charakteristisch sei. Aus der hierzu gegensätzlichen reichen Epidot-Führung unserer ersten Schwermineral-Präparate aus den Spülproben der USM von Schwabmünchen 1 schloß FÜCHTBAUER (schriftl. Mitt.) mit Recht, daß die Ergebnisse unserer Schwermineral-Analyse durch Nachfall verfälscht seien.

Um die durch Nachfall auftretende Verfälschung der Schwermineral-Präparate aus Spülproben beurteilen und ausschalten zu können, wurde in Schwabmünchen 1 der Versuch unternommen, die Schwermineral-Analyse nur an authentischen Gesteinsbröckchen nach Ausscheidung des Nachfalls vorzunehmen. Deshalb erfolgte eine Auslese der Sandsteinfraktion, wobei auf die markanten Sandstein-Maxima der quantitativen petrographischen Auslesekurven zurückgegriffen werden konnte. Andere Gesteine, die keine Schwerminerale enthalten, blieben unberücksichtigt. Fast durchweg war es möglich, die einzelnen Sandstein-Maxima auf Grund von Mineralgehalt, Farbe und Körnung voneinander zu unterscheiden, so daß Sandsteine, die dem betreffenden Horizont nicht zugehörten, als Nachfall identifiziert und ausgeschieden werden konnten. Auf diese Weise wurden in Abständen von etwa 10—40 m Fraktionen erzielt, die aus dem unmittelbar Erbohrten stammten. Ihr Schwermineralgehalt wurde bestimmt (Beilage 3, mittlere Kurve; Auszählungstabelle Beilage 8).

Da die Menge der Schwerminerale im Gestein für die Frage der Verfälschung durch Nachfall ebenfalls wichtig erschien, wurde aus den Sandsteinfraktionen der Schwabmünchen 1 die Anzahl durchsichtiger Schwerminerale ohne Granat und Apatit im ccm Sand bestimmt und als Kurve aufgetragen (Beilage 3, untere Kurve; Auszählungstabelle Beilage 8).

Die aus unausgelesenen Spülproben und die aus Sandsteinfraktionen resultierenden Schwermineralkurven wurden einander gegenübergestellt (Beilage 3). Dabei ergab sich im oberen Teil des Molasse-Profiles bis zur Basis der OMM eine sehr gute Übereinstimmung der Schwermineralspektren, wobei Schwankungen innerhalb der methodisch bedingten Fehlergrenzen lagen. Zudem ließen sich hier die Auszahlungsergebnisse aus Spülproben bis in Einzelheiten mit den Ergebnissen der FÜCHTBAUERSCHEN Untersuchungen an Kernen zahlreicher CF-Bohrungen vergleichen (LEMCKE und v. ENGELHARDT & FÜCHTBAUER 1953).

Im oberen Teil des Molasse-Profiles ist demnach eine Schwermineral-Analyse aus normalen Spülproben ohne fraktionierte Sandstein-Auslese zum Erhalt eines gültigen Schwermineral-Profiles genügend.

Im unteren Teil der Molasse unterhalb der OMM dagegen war das aus unausgelesenen Spülproben resultierende Schwermineral-Profil der Schwabmünchen 1 sehr verschieden von dem aus Sandstein-Fraktionen. Vor allem ergab sich ein starker Gegensatz in der Epidot-Führung: Die Auslese aus Spülproben erbrachte

einen durchweg hohen Epidot-Gehalt in der USM; die Auslese der Sandsteinfraktionen hingegen erwies, daß in Wirklichkeit die Epidot-Führung im höchsten Abschnitt der USM nach unten bis auf einzelne Körner ausklingt. Damit fand sich die schon vorher von FÜCHTBAUER auf Grund von Kern-Untersuchungen postulierte Epidot-Armut der USM bestätigt.

Demnach war für den unteren Teil der Molasse die Schwermineral-Analyse aus normalen Spülproben nicht zu gebrauchen; hier mußte zum Erhalt unverfälschter Werte die Sandstein-Auslese aus Spülproben vorgenommen werden. Durch diese Auslese können auch unter widrigen Umständen Verhältnisse geschaffen werden, die einer Analyse von Kernproben nahezu gleichwertig sind.

Die unterschiedliche Verfälschung des Schwermineral-Profiles aus normalen Spülproben der Schwabmünchen 1 — schwache Verfälschung im oberen Teil, starke Verfälschung im unteren Teil — trotz gleichbleibend geringem Nachfall ist durch verschiedene Faktoren verursacht. Ein wesentlicher Grund liegt darin, daß im oberen Teil — vor allem in der OMM — Sande sehr viel häufiger sind als in der USM; da die Sande die Träger der Schwerminerale sind, muß Nachfall von sandreichem Material in einer sandarmen Serie zu einer starken Überprägung des ursprünglichen Schwermineral-Bildes führen. In dieselbe Richtung wirkt sich die unterschiedliche Anzahl Schwerminerale pro ccm aus: in der OSM, SBM und OMM liegen die Werte durchweg zwischen 100 und 300, stellenweise bei über 1000 Körnern; in der USM verringert sich diese Zahl plötzlich auf 50 oder weniger. Geringer Nachfall beeinträchtigt das Schwermineral-Profil im oberen Teil der Molasse kaum; im unteren Teil dagegen verändert er das Spektrum beträchtlich, da die aus der OMM eingeschleppten Sandsteine durchweg 5—10mal mehr Schwerminerale enthalten als die Sandsteine der USM. Dadurch treten bei Schwermineral-Untersuchungen an *u n a u s g e l e s e n e n* Spülproben im unteren Teil des Molasse-Profiles verstärkt jene Schwierigkeiten auf, mit denen bei allen aus Spülproben gewonnenen Gesteinsdaten gerechnet werden muß: Eindeutig angezeigt werden im unteren Teil beim Bohrvorgang nur erste Einsätze von Mineralien, außerdem stark steigende und fallende Tendenzen der Mineralkurven und krasse Änderungen in der Schwermineral-Verteilung. Kleine Schwankungen hingegen können völlig überprägt werden, das Ende einer Mineralführung wird in eine nachschleppende Kurve verfälscht.

Die Verrohrung reicht in den besprochenen Bohrungen bis in den oberen Teil der OMM; der Nachfall, der die Proben der USM verfälscht, stammt daher zum großen Teil aus dem I. Zyklus der OMM, der laut Kaliber-Messung sowieso stark zu Auskolkungen und Nachstürzen neigt. Der hohe Epidot-Gehalt in den Sanden der OMM erklärt die Tatsache, daß die Schwermineral-Kurven von Spülproben der USM im wesentlichen durch Epidot verfälscht sind.

Den oben dargelegten Untersuchungen an Schwabmünchen 1 darf grundsätzliche Bedeutung für die Frage der Schwermineral-Analyse von Spülproben beigemessen werden. Es wurde gezeigt, daß die Schwermineral-Auslese unter normalen lithologischen Bedingungen und bei wenig Nachfall direkt an Spülproben vorgenommen werden kann. Unter widrigen Umständen — z. B. bei viel Nachfall oder bei Überlagerung eines Sand- und Schwermineral-armen Sedimentes durch ein Sand- und Schwermineral-reiches Sediment — muß Nachfall

durch Auswertung nur der authentischen Sandsteinfraktion ausgeschieden werden. Hierbei ist zur Beurteilung des Nachfalls die Kenntnis des gesamten erbohrten Gesteinsprofils unerlässlich, wie sie durch die kontinuierliche quantitative petrographische Spülprobenanalyse gewährleistet ist. In jedem Fall ergibt die Anwendung einer der beiden Methoden, evtl. auch ihre Kombination, auch dort ein gültiges laufendes Schwermineral-Profil, wo Kerne fehlen.

Die besprochenen Molasse-Bohrungen wurden nach den Erkenntnissen aus Schwabmünchen 1 auf ihren Schwermineral-Gehalt untersucht: im oberen Teil der Profile bis zur Basis der OMM wurden normale Spülproben zur Analyse herangezogen, im unteren Teil Sandsteinfraktionen, die Bausteinschichten sind durch Kernproben belegt (Schwermineral-Profile Beilagen 4, 5, 6; Auszählungstabellen Beilagen 7, 8, 9, 10). Durch diese Kombination konnten drei kontinuierliche Schwermineral-Profile durch die Molasse gegeben werden, die weitgehend miteinander übereinstimmen und damit Profilen aus Kernproben gleichgesetzt werden dürfen.

F. Die Mineral-Verteilung in den Molasse-Profilen

Die in Schwabmünchen 1, Siebnach 1 und Rieden 1 angetroffenen Schwermineral-Vergesellschaftungen enthalten durchweg reichlich Mineralien, die eine direkte oder indirekte Herkunft des Sedimentes aus dem alpinen Raum belegen (Epidot, Zoisit, grüne und blaue Hornblenden, Staurolith, Disthen). Bei den Leichtmineralien deuten vereinzelte „gefüllte Plagiokase“ (ANGEL 1930) mit Mikrolithenschwärmen von Epidot, Serizit und Zoisit im Mineralkern ebenfalls auf alpines Liefergebiet. Schüttungen aus dem Norden — etwa aus dem schwäbisch-fränkischen Raum oder dem Moldanubikum — können nur sehr untergeordnet an der Zusammensetzung des Spektrums beteiligt sein. Vielleicht weisen einzelne Maxima idiomorpher Zirkone, z. B. an der Basis der OMM oder im tiefsten Teil der USM, auf vorübergehende nördliche Einflüsse.

Die ständige Zufuhr aus dem alpinen Raum bedingt ein über weite Bereiche monotonies Spektrum vorwiegend epi- bis mesozonal geprägter Schwermineralien, das wesentlich schwieriger ausdeutbar ist als etwa das differenzierte Schwermineral-Profil, das im südlichen Vorlande des Moldanubikums durch Wechsellagerung alpiner und moldanubischer Sedimente gegeben ist. Dennoch konnten auch in der im weitesten Sinne aus den Alpen geschütteten Sedimentserie der betrachteten Bohrungen zahlreiche Grenzen im Schwermineral-Profil aufgezeigt werden, an denen deutliche Änderungen in der Mineralführung auftreten. Häufig dürfte die unterschiedliche Mineralführung primär begründet sein im Wechsel der distributiven Provinz; das wurde von FÜCHTBAUER nachgewiesen, der in seinen Arbeiten den mehrfachen Wechsel axialer und radialer Schüttungen aus verschiedenen Schuttfächern beschrieben hat; dazu kommt die Veränderung der Mineralfazies in den Liefergebieten selbst infolge der fortschreitenden Abtragung. Ebenso wichtig für die Differenzierung des Schwermineral-Profils sind sekundäre Überprägungen des primären Mineralbestandes einer Schüttung, etwa durch Änderungen der Transport- und Sedimentationsbedingungen. Verwitterungsauslese sowie Veränderungen des Schwermineral-

Bestandes durch Diagenese dürften in den betrachteten Profilen kaum eine Rolle gespielt haben, da starke chemische Korrosion, die zur Ausmerzung der Mineralien hätte führen können, nirgends festgestellt wurde.

Aus den primären und sekundären Veränderungen des Mineralbestandes resultieren Schwermineral-Grenzen, die mit großer Wahrscheinlichkeit über den Bereich unserer Bohrungen hinaus Bedeutung haben. Sie werden — analog der „A“- und „B“-Grenze FÜCHTBAUERS (LEMCKE und v. ENGELHARDT & FÜCHTBAUER 1953) — mit Buchstaben bezeichnet. Im Unterschied zu FÜCHTBAUER sollen dabei kleine Buchstaben verwendet werden, solange die regionale Gültigkeit der neuen Grenzen noch nicht durch weitere Bohrungen bewiesen ist.

Die Grenzen wurden in die Schwermineral-Profile der Bohrungen (Beilagen 3—6) eingetragen. Sie sind nur z. T. scharf erfassbar, und zwar bei abrupter Ablösung einer Vergesellschaftung durch eine andere (etwa im Sinne der „B“-Grenze FÜCHTBAUERS); im Falle solcher scharfer Grenzlinien wurden die Buchstaben auf den Anlagen mit einem Grenz-Strich versehen. In anderen Fällen sind die Schwermineral-Grenzen verschwommen durch allmählichen Übergang einer Mineral-Assoziation in eine andere (etwa im Sinne der „A“-Grenze FÜCHTBAUERS); es handelt sich hier um Grenz b ä n d e r von 20—30 m Breite, die in den Anlagen nur mit Buchstaben gekennzeichnet sind ohne exakte Festlegung durch einen Grenz-Strich. Da in der USM infolge der Sandstein-Auslese nur alle 10—40 m Schwermineral-Präparate hergestellt werden konnten, mögen manche hier infolge des weiten Probenabstandes als Bänder erscheinende Grenzen in Wirklichkeit scharfe Grenzlinien sein (z. B. g-Grenze).

Die Schwermineral-Vergesellschaftung der **Bausteinschichten** ist durch ihre Staurolith-Armut deutlich von der des Hangenden unterschieden. Neben Granat dominieren Zirkon und Turmalin. Die Rutil-Werte liegen relativ hoch; der Apatit-Gehalt ist gering; Spinell tritt zahlreich als isotropes, braunrotes bis dunkelorange, splitteriges Mineral auf, das infolge seiner hohen Lichtbrechung leicht mit Opak-Mineralien verwechselt werden kann (Auszählungstabellen unter „Sonstiges“, Beilagen 7—10).

Die Bausteinschichten werden durch die *m-Grenze* zweigeteilt: der untere Teil mit seiner starken Zirkon-Führung ist relativ Granat-arm, die Opak-Werte liegen sehr hoch, vereinzelt kommen vererzte Foraminiferen vor. Oberhalb der *m-Grenze* nimmt der Granat-Gehalt sprunghaft zu, während die Opak-Führung gegenüber dem Liegenden beträchtlich absinkt. Zeitlich schon etwas vor der *m-Grenze* wird die Zirkon-Vormacht des unteren Teils durch eine reichere Turmalin-Führung im oberen Teil ersetzt.

Die durch Ablösung der opakreichen Zirkon (-Granat-Turmalin)-Vergesellschaftung durch eine opakarme Granat-Turmalin-Assoziation gekennzeichnete *m-Grenze* ist wahrscheinlich nicht primär begründet in einem Wechsel des Liefergebietes; die veränderte Mineral-Führung dürfte vielmehr sekundär aufgeprägt sein durch veränderte Transportbedingungen im Becken, etwa durch Zunahme der Schüttungs-Intensität und damit der Korngrößen: in den feinkörnigen Ablagerungen des unteren Teils finden sich bevorzugt Zirkone, wie sie allgemein bei feinerem Korn angereichert werden; gleichzeitig waren hier die Ablagerungs-Bedingungen günstig für die Bildung authigener Pyrite. Im oberen, grobkörnigen

Teil dagegen überwiegen die durchweg in gröberkörnigen Sedimenten angereicherten Granate; die Bildung von authigenem Pyrit wird, wohl infolge besserer Durchlüftung, gedrosselt.

Die Anzahl Schwerminerale o. Gr., Ap. u. Op.⁵⁾ ist in den Bausteinschichten äußerst gering (meist weniger als 10 Körner pro ccm). Das erschwert ebenso wie der überreiche Opak-Anteil des unteren Abschnittes die Auslese. Im unteren Teil sind die Körner durchweg klein, im oberen Teil groß.

An Leichtmineralien überwiegen in den Sanden graue und bräunliche, gut gerundete Karbonate über schlechter gerundete oder scherbige Quarze. Typisch sind braunrote Biotite; Kohlekörnchen, Glaukonit und meist kaolinisierte Feldspäte kommen nur vereinzelt vor.

An der Grenze der Bausteinschichten gegen die UCS liegt ein deutlicher Mineral-Schnitt, der als *l - G r e n z e* bezeichnet wurde. Er ist vor allem durch einen Wechsel in der Staurolith-Führung gekennzeichnet: Staurolith fehlt in den Bausteinschichten fast völlig, während die spärlichen Sandsteinproben aus den UCS bereits beträchtlichen Staurolith-Gehalt aufweisen und damit jene Vergesellschaftung einleiten, die bis in den oberen Teil der USM II bestimmend bleibt. Die plötzliche Zufuhr von Staurolith läßt auf einen grundlegenden Wechsel der Schüttung schließen, wohl im Zusammenhang mit denselben tektonischen Vorgängen, die die Aussüßung des Bausteinschichten-Meeres bedingten. Damit dürfte hier sedimentpetrographisch ein scharfer Schnitt zwischen Bausteinschichten und UCS belegt sein, wie er auch in den Basisgesteinen der UCS (Pechkohle-Bänder, Kieselkrusten) zum Ausdruck kommt. Gleichzeitig mit dem Auftreten von Staurolith gehen an der l-Grenze der Rutil- und Granat-Anteil, in Schwabmünchen 1 und Siebnach 1 auch der Turmalin-Gehalt stark zurück.

Die UCS sind fast sandfrei. Nur im untersten Teil kommen dünne Sandsteinlagen vor. Der Leichtmineral-Gehalt — überwiegend klastische Karbonate, in Siebnach 1 einzelne dunkle Dolomitgerölle — deutet auf einen beträchtlichen Anteil aufgearbeiteter Sande aus den Bausteinschichten im Sediment; dagegen läßt die durch verstärkten Staurolith-Gehalt von den Bausteinschichten deutlich verschiedene Schwermineral-Führung auf eigene Einschüttung schließen.

Das Schwermineral-Profil der **USM einschließlich OCS** ist deutlich zweigegliedert in einen mächtigeren unteren und einen geringer-mächtigen oberen Teil.

Der untere Teil umfaßt USM I, die OCS und den größten Teil der USM II; er ist vom oberen Teil unterschieden durch das Fehlen von Epidot, Hornblende, Disthen und Zoisit. Das Schwermineral-Spektrum besteht aus einer recht eintönigen Granat-Apatit-Turmalin-Zirkon-Staurolith-Vergesellschaftung. Der Granat-Anteil liegt durchweg weit über dem der übrigen Schwerminerale

⁵⁾ Im folgenden Text wird abgekürzt: ohne Granat, Apatit und Opak = o. Gr., Ap. u. Op. In den Auszählungstabellen (Beilagen 7—10) finden sich außerdem als Abkürzungen:

Korngrößen: g = groß (Körner vorwiegend > 0,15 mm)
 m = mittel (Körner vorwiegend 0,07—0,15 mm)
 k = klein (Körner vorwiegend < 0,07 mm)

„Sonstige“ Mineralien: As = Anatas; At = Andalusit; Br = Brookit; Ch = Chloritoid; Cr = Crossit u. Glaukophan; Ko = Korund; Si = Sillimanit; Sp = Spinell.

o. Ap. u. Op.; er nimmt gegen das Hangende leicht ab. Apatit ist, vor allem oben, sehr häufig. Die Mengenverhältnisse von Zirkon, Turmalin und Staurolith sind recht ausgeglichen. Der Opak-Gehalt liegt relativ hoch; vor allem in der USM I sind Rogenpyrite und Erzkügelchen häufig.

Im unteren Abschnitt der OCS erreicht die Opak-Führung ein Maximum durch Neubildung von Pyrit; die Opak-Werte übersteigen das 10- bis 30-fache der übrigen Schwermineralien o. Gr. u. Ap. und machen die Auszählung sehr schwierig; vererzte Mikrofossilien sind hier häufig. Die allothigenen Mineralien der OCS entsprechen durchaus dem Spektrum der USM, so daß zumindest für die intermittierend in die Pelite eingeschalteten Sandsteine gleiche Herkunft und Schüttungsrichtung wie in der USM angenommen werden muß.

Die Anzahl Schwermineralien pro ccm o. Gr., Ap. u. Op. liegt meist unter 50; sie hat in den OCS sowie im höchsten Teil der USM I ein Minimum mit nur 10—30 Körnern. Im unteren Teil der USM I steigen die Werte auf 100—200 Körner an und erreichen damit in einer über 100 m mächtigen Strecke ein für die USM beträchtliches Maximum. Kleine bis mittelgroße Schwermineralien herrschen in der USM und den OCS vor, große Körner sind seltener.

Durch einige unscharfe Grenzbänder (k-, i- und h-Grenze) kann das relativ einheitliche Schwermineral-Profil der USM — vom Epidot-führenden oberen Teil abgesehen — in 4 Abschnitte gegliedert werden:

Die *k*-Grenze schließt einen Abschnitt im tiefsten Teil der USM mit relativ unruhiger Schwermineral-Verteilung nach oben hin ab gegen eine ruhige, gleichmäßige Vergesellschaftung. Bezeichnend für den Bereich zwischen l- und k-Grenze ist der geringe Apatit-Gehalt, der noch an das Mineral-Spektrum der Bausteinschichten anknüpft; die Staurolith-Werte sind hier recht hoch; in Schwabmünchen 1 und Rieden 1 wurde eine Anreicherung kaum gerundeter, kleiner Zirkon-Kristalle beobachtet. Über der k-Grenze nimmt die Apatit-Führung rasch von etwa 20—30 Körnern auf etwa 100 Körner zu; gleichzeitig sinken die Staurolith-Werte, in Schwabmünchen 1 und Rieden 1 auch die Zirkon-Werte, während die Opak-Kurve schwach ansteigt. Ein Vergleich mit den Korngrößen-Bestimmungen an Sandsteinen im Rahmen der quantitativen petrographischen Auslese (Beilage 2) zeigt, daß etwa im Bereich der k-Grenze ein gröberkörniger tieferer Abschnitt von einem feinerkörnigen höheren Abschnitt abgelöst wird; vielleicht liegt der veränderten Schüttungsintensität dieselbe Ursache zugrunde wie der veränderten Schwermineral-Führung.

An der *i*-Grenze endet die starke Einschüttung von Spinell; während dieses Mineral im unterliegenden Teil durchweg häufig ist und vereinzelt über 20 % des Schwermineral-Bestandes o. Gr., Ap. u. Op. ausmachen kann, kommt es oberhalb nur noch sporadisch vor. Das Ausklingen des Spinells dürfte in Veränderungen der distributiven Provinz und damit regional begründet sein. Eine schwache Abnahme des Granat- und Apatit-Gehaltes wurde in Schwabmünchen 1 etwa gleichzeitig mit der Drosselung der Spinell-Zufuhr, in Siebnach 1 und Rieden 1 bereits etwas tiefer festgestellt.

Ungefähr mit der *i*-Grenze fällt das Vorkommen von *Metacypris danubialis* (s. S. 17) an der Basis der OCS zusammen. Damit wird durch Schwermineralien bestätigt, daß die Untergrenze der OCS (in Siebnach 1 ohne „Grenz-

bereich“) in den betrachteten Bohrungen etwa eine zeitgleiche Bezugsfläche ist, während der in Siebnach abgegliederte „Grenzbereich“ trotz fazieller Zugehörigkeit zu den OCS stratigraphisch im Vergleich mit Schwabmünchen 1 und Rieden 1 noch in die USM I eingeordnet werden muß.

Die *h*-Grenze im höheren Teil der OCS ist gekennzeichnet durch eine sehr starke Apatit-Zunahme gegen das Hangende von etwa 50 Körnern auf 100—300 Körner. Damit wird der Apatit-reiche Abschnitt, der in der USM I oberhalb der *k*-Grenze mit einem ersten, schwächeren Maximum eingeleitet wurde, hier kräftig verstärkt und bis in die OMM hinein fortgeführt. Gleichzeitig mit der Apatit-Zufuhr erfolgt — in Siebnach 1 nur sehr schwach ausgeprägt — ein Anstieg des Granat-Gehaltes. Ungefähr mit der *h*-Grenze fällt die Ablösung des pyritreichen unteren Teils der OCS durch einen wesentlich pyritärmeren oberen Teil zusammen; dieser Schnitt — in Schwabmünchen 1 bei 905 m, in Siebnach 1 bei 1016 m, in Rieden 1 bei 1018 m — ist auch an nicht aufbereiteten Spülproben deutlich zu erkennen.

Oberhalb der *h*-Grenze herrscht bis zur *g*-Grenze ein sehr monotones Schwermineral-Bild; hier kommen häufig Zirkone mit Opak-Kappen und -Mänteln vor.

Die *g*-Grenze ist deutlich markiert durch den starken Einsatz von Epidot. Die Granat-Apatit-Turmalin-Zirkon-Staurolith-Vergesellschaftung, die seit Ablagerung der UCS konstant herrschte, wird hier von einer Granat-Epidot-Vormacht abgelöst, die — im einzelnen modifiziert — im gesamten oberen Teil der Molasse anhält. Etwa gleichzeitig mit dem Epidot-Einsatz treten auch erstmalig Zoisit, Disthen und grüne Hornblende auf, während sich in der Apatit-Kurve eine absteigende Tendenz bemerkbar macht.

Zweifellos kommt in der *g*-Grenze eine wesentliche, regional ausgeprägte Schüttungsänderung zum Ausdruck, die sedimentpetrographisch umso wichtiger ist, als sie die Aufgliederung der lithologisch bisher nicht unterteilbaren, faziell gleichartigen Sedimentserie der USM II gestattet. Die Lage der *g*-Grenze, in allen drei Bohrungen etwa 100 m unter der Transgressionsfläche der OMM, gibt einen Hinweis darauf, daß es während der langen Sedimentationspause vor Ablagerung der OMM anscheinend im Raum unserer Bohrungen nicht zu stärkeren tektonischen Verstellungen oder zur Herausbildung eines kräftigen Reliefs kam; wenn überhaupt beträchtliche Abtragungen erfolgten, dann handelte es sich um eine gleichmäßige, flächenhaft angreifende Denudation.

Das Leichtmineral-Profil der Sandsteine zeigt in der USM in allen Bohrungen eine deutliche Gliederung. In der USM I hält der Karbonatreichtum, der für die Bausteinschichten bezeichnend war, abgeschwächt bis etwa 50—150 m unterhalb der OCS an; klastische Karbonate können in dieser Strecke immer noch mehr als ein Drittel des Kornbestandes ausmachen. Oberhalb wird der Karbonatanteil in den Sandsteinen der USM I relativ gering. Etwa umgekehrt verhält sich der Feldspatgehalt: er ist in den tiefen Partien der USM I — ebenso wie in den Bausteinschichten — sehr spärlich, steigt aber in der Mitte, etwa im Bereich der *k*-Grenze, stark an. Es handelt sich um meist frische, fleischfarbene oder gelbliche Feldspäte, deren reiches Auftreten in der Folgezeit einen Vergleich mit der „Granitischen Molasse“ der Schweiz nahelegt (MUHEIM 1934, S. 258 ff.; LEMCKE und v. ENGELHARDT & FÜCHTBAUER 1953, S. 19). Meist

überschneiden sich Karbonat-Abnahme und Feldspat-Anstieg in der USM I in einer mehr oder minder breiten Zone.

Im tieferen Teil der OCS sind klastische Karbonate und Feldspäte selten, während sie in den höheren Sandstein-Horizonten wieder häufiger auftreten. Gelegentlich ist ein schwacher Glaukonit-Gehalt für die Sandsteine der OCS bezeichnend.

In der USM II finden sich reichlich Karbonate in den Sandsteinbänken dicht über der Basis; oberhalb läßt sich trotz Unregelmäßigkeiten eine gegen das Hangende abnehmende Karbonat-Führung feststellen. Feldspäte sind — vor allem dicht über den OCS und in den höchsten Schichten der USM — sehr zahlreich ins Gestein eingesprengt und machen den Sandstein streckenweise Arkose-ähnlich.

Die Granat-Epidot-Vergesellschaftung, die im obersten Teil der USM II zur Herrschaft kam, bleibt im großen über die Sedimentationspause und Transgression hinweg im **I. Zyklus der OMM** erhalten. In Einzelheiten aber fällt mit der Grenze USM/OMM eine Änderung des Schwermineral-Spektrums zusammen (*f - G r e n z e*); der Stauolith, der seit den UCS durchweg ein Hauptmineral war, nimmt sprunghaft ab und bleibt in der OMM selten. Rutil, in geringerem Maße auch Turmalin, zeigen ebenfalls einen plötzlichen Rückgang. Epidot kommt (außer in Rieden 1) wesentlich verstärkt vor. Der Zirkon-Gehalt, der in der USM II allmählich abgenommen hatte, wird oberhalb der *f*-Grenze erneut in einem letzten Maximum angereichert. Grüne Hornblenden sind — im Gegensatz zum Hangenden und Liegenden — im I. Zyklus relativ häufig; vereinzelt kommen auch braune und olivfarbene Hornblenden vor. Die relativ hohen Opak-Werte der USM setzen sich über die Grenze hinaus fort; vererzte Foraminiferen, vor allem Rotaliiden, wurden mehrfach gefunden; Rogenpyrit ist nicht selten. Das endgültige Ausklingen von Spinell sowie der erste Einsatz blauer Hornblenden (Crossit und Glaukophan, s. Auszählungstabellen unter „Sonstiges“, Beilagen 7—10), die auf den I. Zyklus beschränkt sind, machen es wahrscheinlich, daß über die Fazies-Änderungen hinaus auch ein Wechsel in der distributiven Provinz für die veränderte Mineralverteilung verantwortlich ist. Hierfür spricht auch die an der *f*-Grenze plötzlich auf ein Vielfaches ansteigende Anzahl Schwerminerale pro ccm o. Gr., Ap. u. Op. Die Korngrößen im I. Zyklus sind meist klein bis mittel.

Im unteren Teil des I. Zyklus erfährt die Granat-Epidot-Vergesellschaftung an der *e*-Grenze eine neuerliche Differenzierung. Hier endet die reiche Zirkon- und Apatit-Einschüttung, die für die gesamte USM bezeichnend war und noch in die OMM hineinreichte: Zirkon, der über der Basis der OMM in einem letzten Maximum mit typischen, kaum gerundeten Kristallen auftritt, kommt oberhalb der *e*-Grenze nur noch in wenigen Prozenten vor; Apatit hat lediglich an der Basis der SBM noch einmal kurzfristig ein Maximum. Der Epidot-Gehalt steigt über der *e*-Grenze — im wesentlichen auf Kosten von Zirkon und Turmalin — schwach an; das bedingt, in Siebnach 1 und Schwabmünchen 1 gemeinsam mit dem leichten Granat-Rückgang, einen Abfall des Granat-Epidot-Verhältnisses.

Im Leichtmineral-Spektrum des I. Zyklus der OMM fallen Glaukonite auf, die in einzelnen Sandstein-Horizonten sowie in den Basisschichten angereichert vorkommen. Brauner Biotit ist vor allem im höheren Teil relativ häufig; oberhalb des I. Zyklus tritt er nur noch sporadisch auf. In den Basisschichten sind klastische Karbonate durchweg relativ reich vertreten, während sie in der Sandmergelserie nur selten gefunden wurden. Feldspäte sind in den Basisschichten selten, sie nehmen in der unteren Hälfte der Sandmergelserie etwas zu, klingen dann aber rasch völlig aus; es handelt sich meist um blässere Varietäten als in der USM.

Der Einsatz des **II. Zyklus der OMM** ist durch die *d-Grenze* scharf markiert. Hier beginnt eine extreme Epidot-Granat-Vormacht, die alle übrigen durchsichtigen Schwermineralien zurückdrängt. Der Epidot-Gehalt liegt im II. Zyklus fast durchweg bei 80 % der durchsichtigen Schwermineralien o. Gr. u. Ap. Weitere bezeichnende Merkmale für das Schwermineral-Spektrum des II. Zyklus sind der geringe Opak-Gehalt (stets weniger opake als durchsichtige Schwermineralien) und der starke Rückgang des Granat-Anteiles (durchweg wesentlich mehr Epidot als Granat). Der Apatit-Gehalt ist gegenüber dem Liegenden und dem unmittelbar Hangenden sehr gering. Blaue Hornblenden wurden nicht mehr gefunden. An der *d-Grenze* steigt die Anzahl Schwermineralien pro ccm o. Gr., Ap. u. Op. plötzlich sehr stark an und beträgt im gesamten II. Zyklus 500 bis 2000 Körner. Die Korn-Durchmesser sind mittel bis groß und unterscheiden sich dadurch von den kleineren Körnern im Hangenden und Liegenden.

Das Leichtmineral-Spektrum des II. Zyklus enthält vor allem im unteren Teil reichlich Glaukonit. Im Baltringer Horizont kommen nach oben abnehmend die letzten klastischen Karbonate in Sandfraktionierung vor.

Die Grenze der OMM gegen die **SBM** wird im Schwermineral-Bild durch die Ablösung der extremen Epidot-Granat-Vormacht des II. Zyklus durch eine kurzfristig herrschende Granat-Stauroolith-Apatit-Vergesellschaftung wiedergegeben (= *c-Grenze*). Dieser markante Wechsel der Schwermineral-Assoziation bestätigt die aus der Albstein-Bildung abgeleitete Emersion an der Basis der SBM. Oberhalb der *c-Grenze* steigen die Granat-Werte, die im II. Zyklus sehr niedrig waren, sprunghaft an und leiten damit das Granat-Maximum ein, das für die SBM und den größten Teil der OSM bezeichnend bleibt (Verhältnis Granat/Schwermineralien o. Gr., Ap. u. Op. etwa 3—6). Der Opak-Gehalt liegt in der SBM etwas höher als im II. Zyklus der OMM.

Die *B-Grenze* im unteren Teil der SBM gibt die Ablösung der Granat-Stauroolith-Apatit-Vergesellschaftung erneut durch eine Granat-Epidot-Assoziation wieder. Die Bedeutung dieser wichtigen Grenze wurde von FÜCHTBAUER (in LEMCKE und v. ENGELHARDT & FÜCHTBAUER 1953) eingehend diskutiert. In unseren Bohrungen ist die *B-Grenze* scharf ausgeprägt. Das Maximum der Stauroolith- und Apatit-Führung wurde im Bereich der Granat-Stauroolith-Apatit-Vergesellschaftung in den Regionen beider Albsteine gefunden, während dazwischen Epidot etwas stärker aufkommt.

Die B-Grenze liegt in Schwabmünchen 1 und Siebnach 1 unmittelbar über der II. Albstein-Region, in Rieden 1 (wo der II. Albstein fehlt) in entsprechendem stratigraphischem Niveau (Abb. 4), so daß auf gleiche Ursache für den plötzlichen Wechsel des Schwermineral-Spektrums wie für die Bildung der exsudativen Kalkkruste des II. Albsteins geschlossen werden muß. Damit bestätigt die B-Grenze, die von FÜCHTBAUER (in LEMCKE und v. ENGELHARDT & FÜCHTBAUER 1953, S. 38) als ungefähre Zeitmarke erkannt wurde, die stratigraphische Bedeutung des II. Albsteins. Da in Siebnach 1 und Rieden 1 eine Albstein-Region mit der c-Grenze zusammenfällt, in Siebnach 1 und Schwabmünchen 1 eine andere Albstein-Region mit der B-Grenze, ist auch durch Schwerminerale die Verschiedenartigkeit beider Albstein-Regionen und damit eine regional gültige, zweimalige Emersion bewiesen.

Im höheren Teil der SBM dauert die mit der B-Grenze erneut zur Herrschaft gelangte Granat-Epidot-Schüttung gleichförmig an. Der Epidot-Anteil beträgt etwa die Hälfte aller Schwerminerale o. Gr., Ap. u. Op. Im Gegensatz zur OMM ist ein wesentlich stärkerer Staurolith-Gehalt bezeichnend, der offenbar in südlicher Richtung zunimmt. Die Apatit-Werte sind sehr gering. Disthen, weniger ausgeprägt auch Rutil, werden über der B-Grenze etwas häufiger; die übrigen akzessorischen Schwerminerale sowie der hohe Granat-Gehalt und die relativ geringen Opak-Werte bleiben oberhalb wie unterhalb der B-Grenze erhalten.

Die Anzahl Schwerminerale pro ccm o. Gr., Ap. u. Op. sinkt über der c-Grenze beträchtlich ab; sie liegt während der SBM gleichmäßig bei ungefähr 200—300 Körnern. Die Korngrößen sind im Gegensatz zu den größeren Körnern des II. Zyklus der OMM klein bis mittel; vor allem im Bereich der Granat-Staurolith-Apatit-Schüttung ist eine Korngrößen-Verringerung angedeutet.

Die Granat-Epidot-(Staurolith)-Vorherrschaft des oberen Teils der SBM hält in der OSM an. Abgesehen von einem erneuten Anstieg des Granat-Gehaltes, der sich in allen Bohrungen etwa an der Grenze OSM/SBM deutlich ausgeprägt findet, entspricht die Vergesellschaftung weitgehend derjenigen der SBM. Lediglich grüne Hornblenden und Zoisit zeigen schwach erhöhte Werte.

Die A - G r e n z e, deren Zeitmarken-Charakter FÜCHTBAUER (1954 b) erläutert hat, ist in Schwabmünchen 1 und Rieden 1 gut, in Siebnach 1 weniger deutlich ausgeprägt. Sie liegt mitten in den Hauptgeröllsanden und ist markiert durch einen beträchtlichen Granat-Abfall gegen das Hangende bei gleichzeitig zurückgehendem Zoisit-Gehalt.

Die Anzahl Schwerminerale pro ccm o. Gr., Ap. u. Op. schwankt in der OSM stark und liegt mit 100—800 Körnern relativ hoch. Die Schwerminerale sind durchweg mittel bis groß. Bemerkenswert sind Verwitterungserscheinungen an Granat und Epidot, seltener auch an Staurolith, vor allem im mittleren Teil der OSM; vielleicht handelt es sich um Äquivalente der stark verwitterten Quarzrestschotter Niederbayerns.

Die Schwermineral-Grenzen wurden in den Profil-Vergleich der Bohrungen Rieden 1, Siebnach 1 und Schwabmünchen 1 (Beilage 2) eingezeichnet. Sie ordnen sich harmonisch in die petrographisch begründete Gliederung in Stufen und

Horizonte ein. Besonders wichtig erscheinen diejenigen Schwermineral-Grenzen, die eine Möglichkeit zur Unterteilung eintöniger, faunenarmer Sedimentserien geben. Das in allen Bohrungen etwa gleiche Mächtigkeitsverhältnis der durch Schwermineral-Grenzen abgegliederten Profilabschnitte läßt — ebenso wie das stellenweise schräge Durchschneiden der Grenzen durch die Fazies (z. B. i-Grenze) — darauf schließen, daß Änderungen in der Schwermineral-Verteilung weitgehend isochron und faziesunabhängig sind und deshalb zu einer Kritik an den lithologisch definierten Schichtgrenzen bezüglich deren stratigraphischem Wert herangezogen werden können.

G. Schriftum

- ABERER, F. & BRAUMÜLLER, E.: Die miozäne Molasse am Alpenrand im Oichten- und Mattigtal nördlich Salzburg. — Jb. geol. Bundesanst., **92** (für 1947), S. 129—145, 1 geol. Karte, Wien 1949.
- ANDRÉE, H.: Die Schwermineralien der älteren oberbayerischen Molasse. — Neues Jb. Mineral. usw., Beil. **71** A, S. 59—120, Stuttgart 1936.
- Das bayerische Tertiärbecken zum ersten Mal durchbohrt! — Oel u. Kohle, **13**, H. 7, S. 151—153, Berlin 1937.
- ANGEL, F.: Plagioklasfüllungen und ihre genetische Bedeutung. — Mitt. Naturw. Ver. Steiermark, **67**, S. 36—52, Graz 1930.
- BENTZ, A.: Bau und Erdölhoffigkeit des Molassetroges in Oberbayern und Oberschwaben. — Erdöl u. Kohle, **2**, Nr. 2, S. 41—52, Hamburg 1949.
- BLISSENBACH, E.: Die jungtertiäre Grobschüttung im Osten des nördlichen Molassetroges. — Inaug. Diss., München, 1953.
- BUBNOFF, S. v.: Rhythmen, Zyklen und Zeitrechnung in der Geologie. — Geol. Rdsch., **35**, H. 1, S. 6—22, Stuttgart 1948.
- DEHM, R.: Das jüngere Tertiär in Südbayern als Lagerstätte von Säugetieren, besonders Dinosauriern. — Neues Jb. Mineral. usw., Abh. **90** B, S. 1—30, Stuttgart 1949.
- Zur Gliederung der jungtertiären Molasse in Süddeutschland nach Säugetieren. — Neues Jb. Geol. u. Paläontol., 1951, Mh., S. 140—151, Stuttgart 1951.
- ELBERSKIRCH, W. & LEMCKE, K.: Zur Tektonik der nordalpinen Molassesenke. — Z. deutsch. geol. Ges., **105**, S. 307—323, Hannover 1955.
- Erläuterungen zur Geologischen Übersichtskarte der Süddeutschen Molasse. — 1 : 300 000, München 1955.
- FAHRION, H. & STRAUB, E. W.: Die Mikrofossilien der Molasse aus der Bohrung Scherstetten 1. — Geologica Bavarica, Nr. 24, S. 40—43, 1 Tafel, München 1955.
- FÜCHTBAUER, H.: Transport und Sedimentation der westlichen Alpenvorlandsmolasse. — Heidelberger Beitr. Mineral. u. Petr., **4**, S. 26—53, Würzburg 1954. — [1954 a].
- Eine sedimentpetrographische Grenze in der oberen Süßwassermolasse des Alpenvorlandes. — Neues Jb. Geol. Paläontol., **8**, S. 337—347, Stuttgart 1954. — [1954 b].
- Die Sedimentation der westlichen Alpenvorlandsmolasse. — Z. deutsch. geol. Ges., **105**, S. 527—530, Hannover 1955. — [1955 a].
- Die sedimentpetrographischen Untersuchungen in der Molasse der Bohrung Scherstetten 1. — Geologica Bavarica, Nr. 24, S. 44—51, München 1955. — [1955 b].
- Geologica Bavarica Nr. 24, Sammelheft: Die Erdöl-Aufschlußbohrung Scherstetten 1 südwestlich Augsburg. — 176 S., 3 Tafel-Beil., München 1955.
- GRIMM, W.-D.: Geologische und sedimentpetrographische Untersuchungen in der Oberen Süßwassermolasse zwischen Rott und Inn. — Inaug. Diss., Univ. München, 1953.
- GÜMBEL, K. W. v.: Geologie von Bayern. 2. Bd. Geologische Beschreibung von Bayern. — Cassel (Fischer) 1894.
- HAGN, H. & HÖLZL, O.: Zur Grenzziehung Katt/Aquitain in der bayerischen Molasse. — Neues Jb. Geol. u. Paläontol., 1954, Mh., S. 1—40, Stuttgart 1954.
- HEIM, ALB.: Geologie der Schweiz, Bd. I. Molasseland und Juragebirge. — 704 S., 29 Taf., 6 Tab.-Beil., Leipzig (C. H. Tauchnitz) 1919.

- HILTERMANN, H.: *Astrorhiza cretacea* FRANKE 1928 als Scheinfossil und ähnliche Wurzelröhrchen (Rhizosolenien). — Geol. Jb., **66**, S. 421—424, Hannover 1952.
- KIDERLEN, H.: Beiträge zur Stratigraphie und Paläogeographie des süddeutschen Tertiärs. — Neues Jb. Mineral. usw., Beil. **66** B, S. 215—384, Taf. 10 u. 11, Stuttgart 1931.
- KÖLBL, L.: Untersuchungen über die Verbreitung von Schwermineralien im niederbayerischen Tertiär. — Neues Jb. Mineral. usw., **79** A, S. 39—103, Stuttgart 1944.
- LEMCKE, K.: Das Kurzprofil der Bohrung Scherstetten 1. — Geologica Bavarica, Nr. 24, S. 10—11, München 1955.
- Die Fazies der Molasse der Bohrung Scherstetten 1. — Geologica Bavarica, Nr. 24, S. 12—21, 1 Taf., München 1955.
- Das Schichtenverzeichnis der Bohrung Scherstetten (ab 1263 m Teufe). — Geologica Bavarica, Nr. 24, S. 149—175, München 1955.
- LEMCKE, K. und v. ENGELHARDT, W. & FÜCHTBAUER, H.: Geologische und sedimentpetrographische Untersuchungen im Westteil der ungefalteten Molasse des süddeutschen Alpenvorlandes. — Beih. z. Geol. Jb., H. 11, 109 S., 9 Taf., 72 Tab., Hannover 1953.
- MUHEIM, F.: Die subalpine Molassezone im östlichen Vorarlberg. — Eclogae Geol. Helv., **27**, S. 181—296, 1 geol. Karte, 1 Prof.-Taf., Basel 1934.
- NATHAN, H.: Geologische Ergebnisse der Erdölbohrungen im Bayerischen Innviertel. — Geologica Bavarica, Nr. 1, 68 S., 1 Prof.-Taf., München 1949.
- NEUMAIER, F. & WIESENER, H.: Geologische und sedimentpetrographische Untersuchungen im niederbayerischen Tertiär. — (Blätter 1 : 25 000 Griesbach und Birnbach). — Sitz.-Ber. Bayer. Akad. Wiss., Math.-Naturw. Abt., 1939, H. 2, S. 177—252, 1 geol. Karte, 1 Prof.-Taf., München 1939.
- REICH, H.: Geophysikalische Probleme im bayerisch-schwäbischen Donau-Raum. — Erdöl u. Kohle, **2**, S. 81—87, Hamburg 1949.
- RITTER, L.: Sedimentpetrographische Untersuchungen an Molassegesteinen von Niederbayern und Oberösterreich. — Inaug. Diss., Univ. München, 1953.
- ROLL, A.: Der unmittelbare Nachweis des Vindelizischen Rückens unter der süddeutschen Molasse. — Geol. Rdsch., **40**, H. 2, S. 243—248, Stuttgart 1952.
- Stand der Erdölexploration im Molassetrog. — Erdöl u. Kohle, **6**, H. 11, S. 683, Hannover 1953.
- RUTTE, E.: Der Albstein in der miozänen Molasse Südwestdeutschlands. — Z. deutsch. geol. Ges., **105** (für 1953), S. 360—383, 1 Taf., Hannover 1955.
- SCHETTNER, H.: Feststellung von Ölspuren in Spülproben und Behandlung des Bohrgutes mit heißem Wasser. — Erdöl u. Kohle, **7**, S. 355—356, Hamburg 1954.
- STIEFEL, J.: Ein Beitrag zur Gliederung der Oberen Süßwassermolasse in Niederbayern. — Inaug. Diss., Univ. München, 1953.
- STRAUB, E. W.: Mikropaläontologische Untersuchungen im Tertiär zwischen Ehingen und Ulm a. d. Donau. — Geol. Jb., **66**, S. 433—524, Hannover 1952.
- TRUSHEIM, F.: Über die Spülproben-Bearbeitung. — Erdoel-Z., **72**, H. 5, S. 351—361, Wien-Hamburg 1956.
- VOLZ, E.: Die Molassestrukturen Heimertingen und Lauben. — Erdoel-Z., **72**, H. 3, S. 293—302, Wien-Hamburg 1956.
- WIESENER, H.: Über Veränderungen des Schwermineralbestandes der Sedimente durch Verwitterung und Diagenese. — Erdöl u. Kohle, **6**, Nr. 7, S. 369—372, Hamburg 1953.

- WURM, A.: Beiträge zur Kenntnis der nordalpinen Saumtiefe zwischen unterem Inn und unterer Isar. — Neues Jb. Mineral. usw., Beil. 78 B, S. 285—326, Stuttgart 1937.
- ZÖBELEIN, H. K.: Geologische und sedimentpetrographische Untersuchungen im niederbayerischen Tertiär (Blatt Pfarrkirchen). — Neues Jb. Mineral. usw., Beil. 84 B, S. 233—302, Taf. 15—18, Stuttgart 1940.
- Zur Altersdeutung der Cyrenenschichten in der Subalpinen Molasse Oberbayerns. — Geologica Bavarica, Nr. 17, S. 113—134, München 1953.
 - Die Makrofossilien des Tertiärs aus der Bohrung Scherstetten 1 (nebst einigen Bemerkungen zur Fazies, Stratigraphie und Paläogeographie). — Geologica Bavarica, Nr. 24, S. 22—39, München 1955.
 - Berichte über die Makrofossilien der Tertiär-Kerne aus den Bohrungen Schwabmünchen 1, Siebnach 1 und Rieden 1. — Unveröffentl. Manuskripte, München 1955 u. 1956.

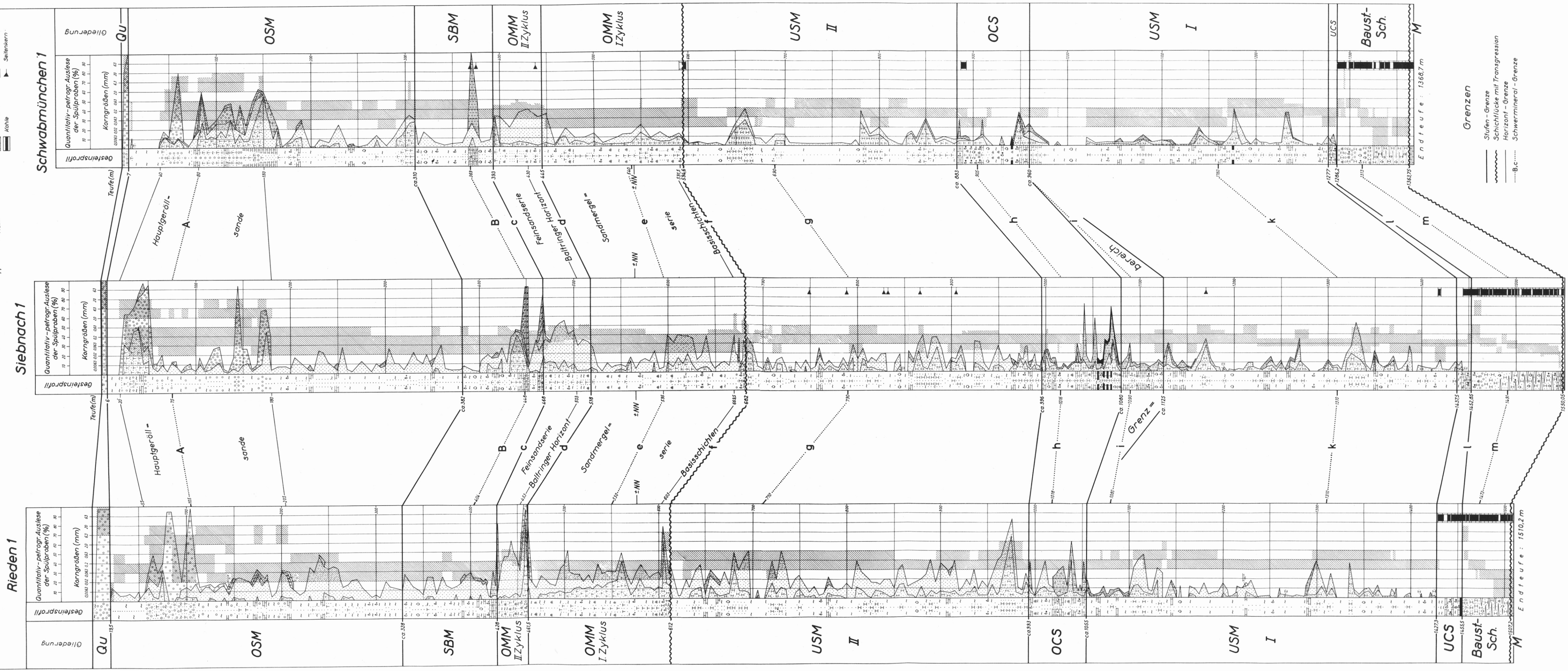
Spülprobenauslese u. Korrelation Rieden 1 – Siebnach 1 – Schwabmünchen 1

Abkürzungen

- QU = Quartär
- OSM = Obere Südwassermolasse
- SBM = Subbrackwassermolasse
- OMM = Obere Meeressmolasse
- USM = Untere Meeressmolasse
- OCS = Obere Cyrenen-Schichten
- UCS = Untere Cyrenen-Schichten
- Baust.Sch. = Baustein-Schichten
- M = Malm

Gesteinsignaturen u. Fossilien

- Ton
- Tonfaserung
- Sandiger Ton
- Mergel
- Sand
- mergelig gebunden
- kaolig gebunden
- Kies
- Kalkstein
- Kohle
- Mollusken
- Subwasser + Brackisch
- Foraminiferen
- Pflanzenreste
- Korngrößen
- Kern
- mit Verlust
- Seitenkern



Grenzen

- Stufen - Grenze
- Schichtlücke mit Transgression
- Horizont - Grenze
- Schwermineral - Grenze
- B.c.....

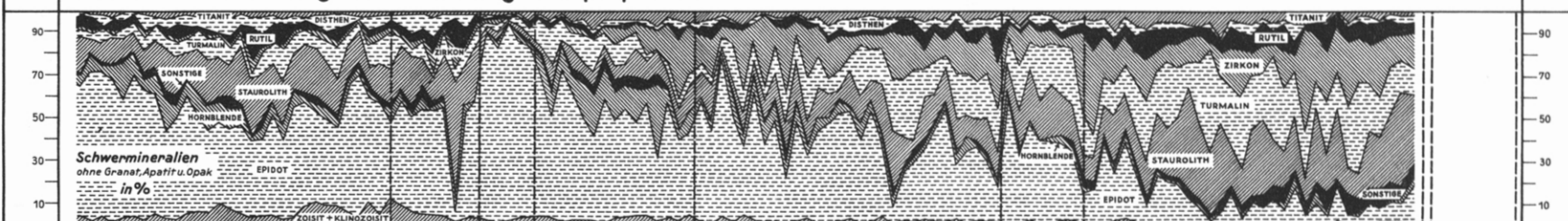
Endteufe : 1510,2m

Endteufe : 1368,7m

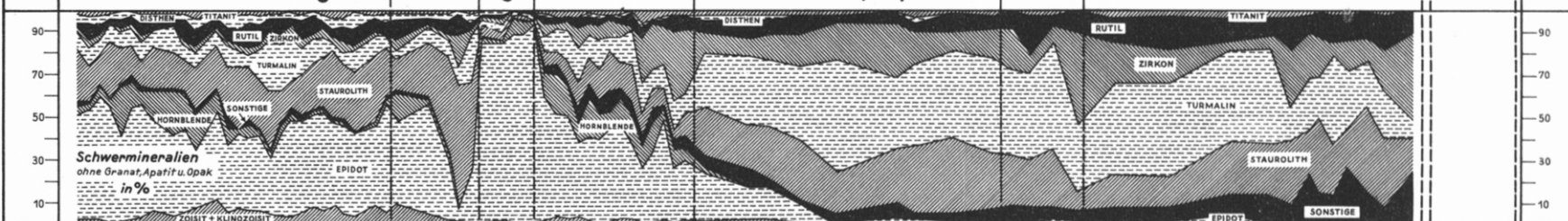
Schwabmünchen 1

Vergleich der Schwermineralspektren verschieden behandelter Spülproben in Beziehung zur Anzahl der Schwerminerale pro cm³.

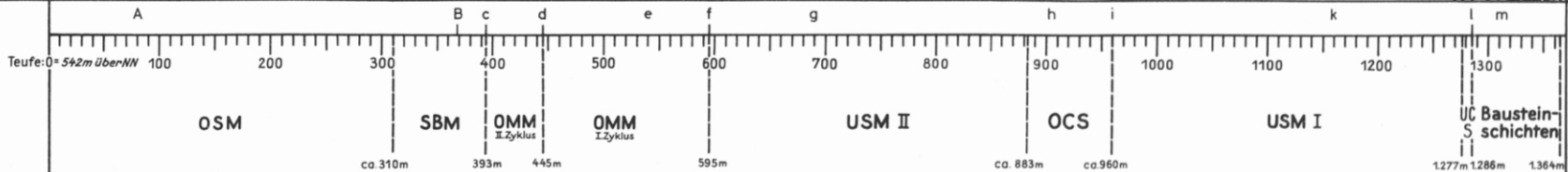
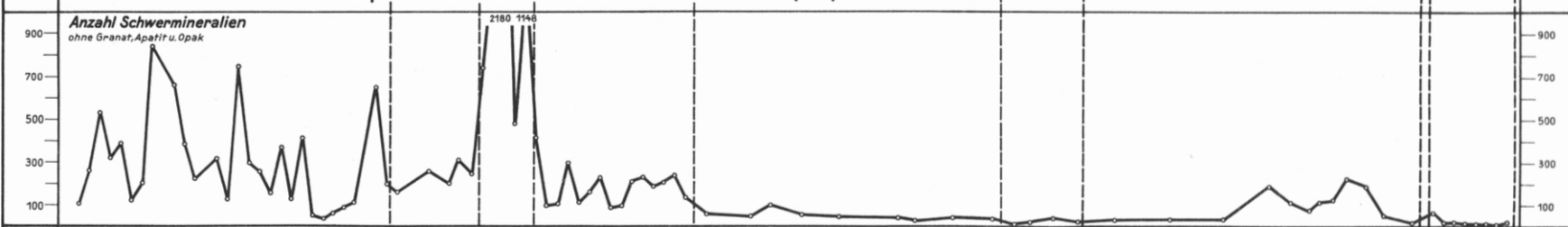
Schwermineral-Vergesellschaftung bei Spülproben



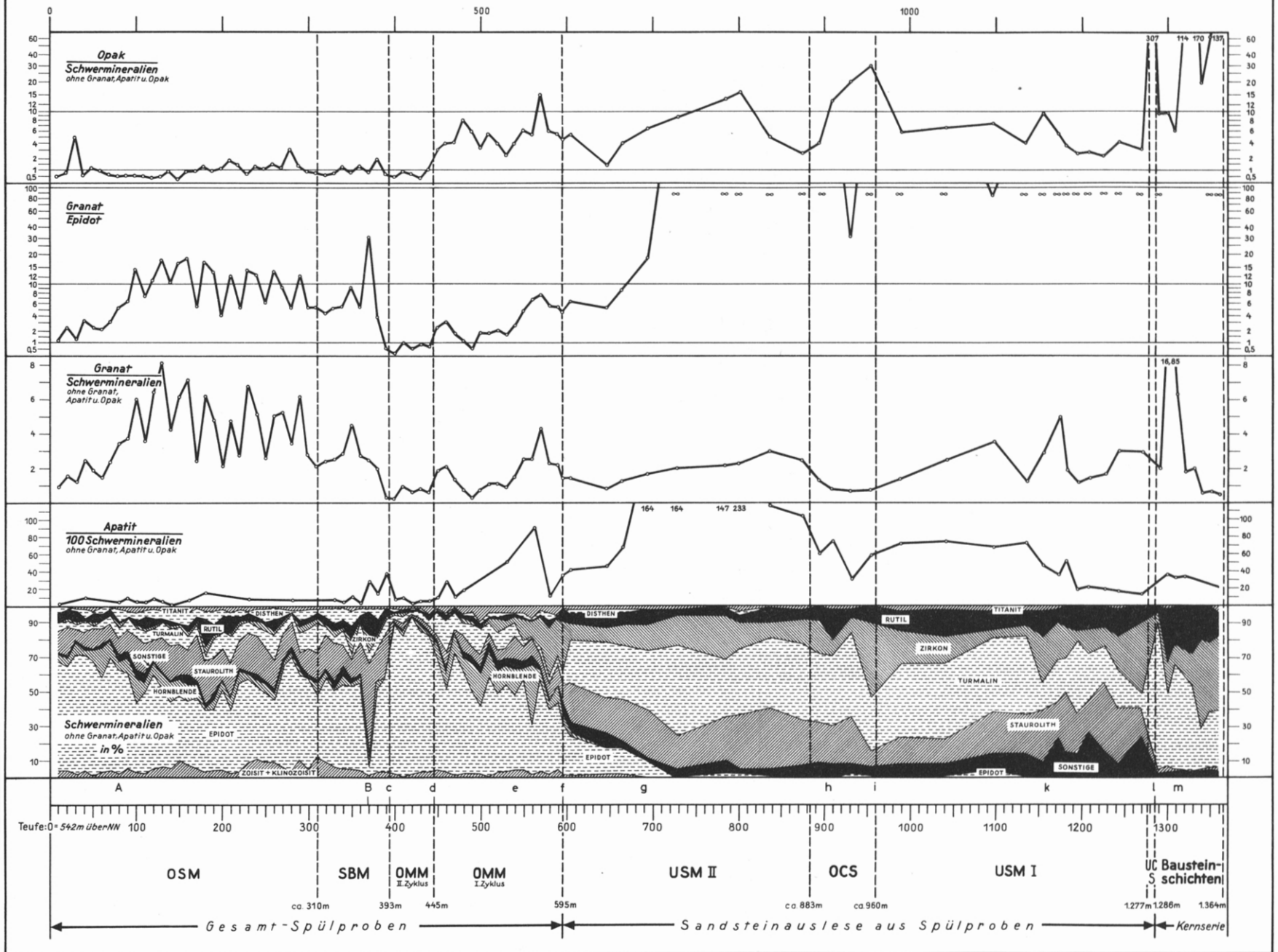
Schwermineral-Vergesellschaftung bei Sandsteinauslese aus Spülproben



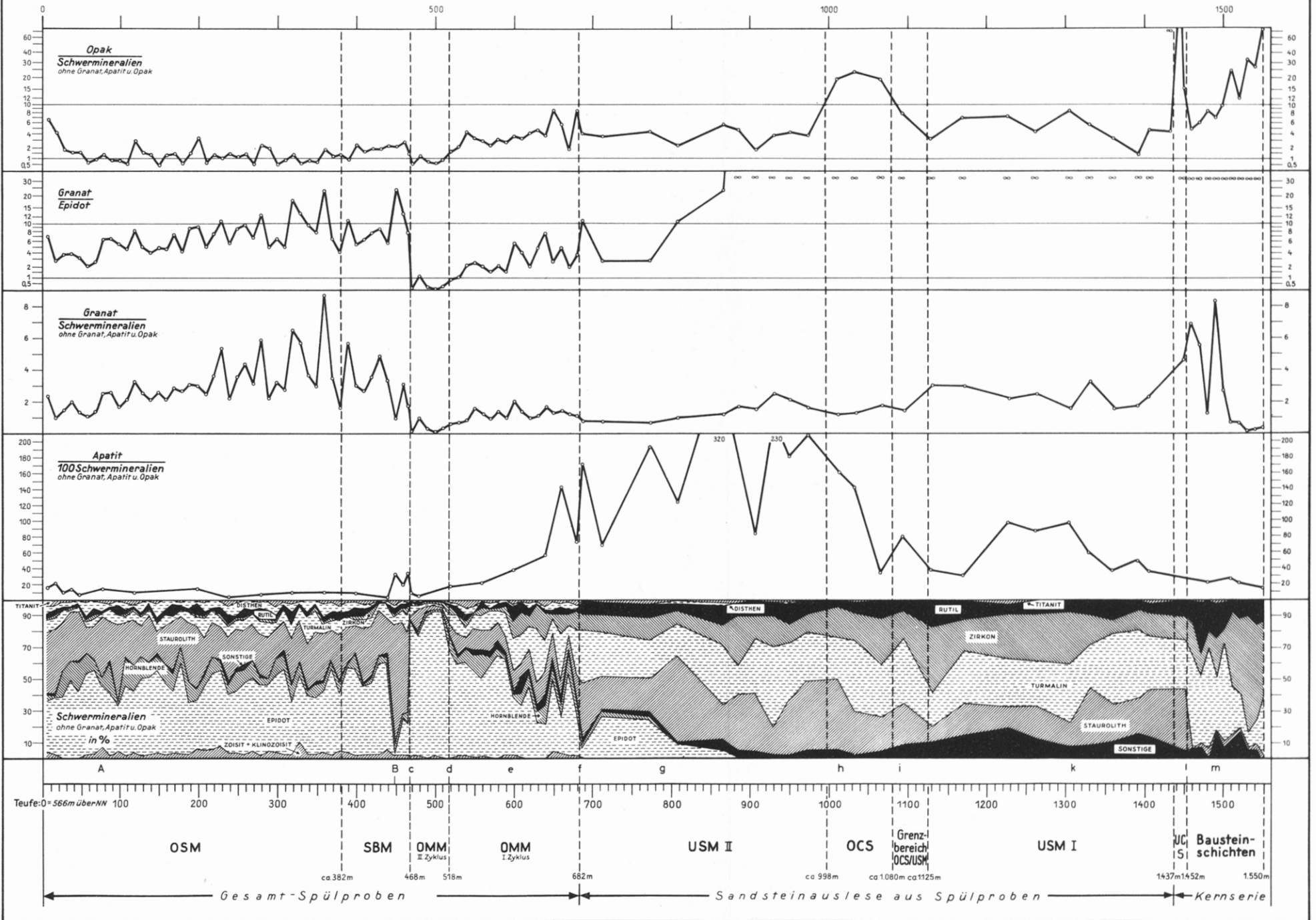
Anzahl Schwerminerale pro cm³ bei Sandsteinauslese aus Spülproben



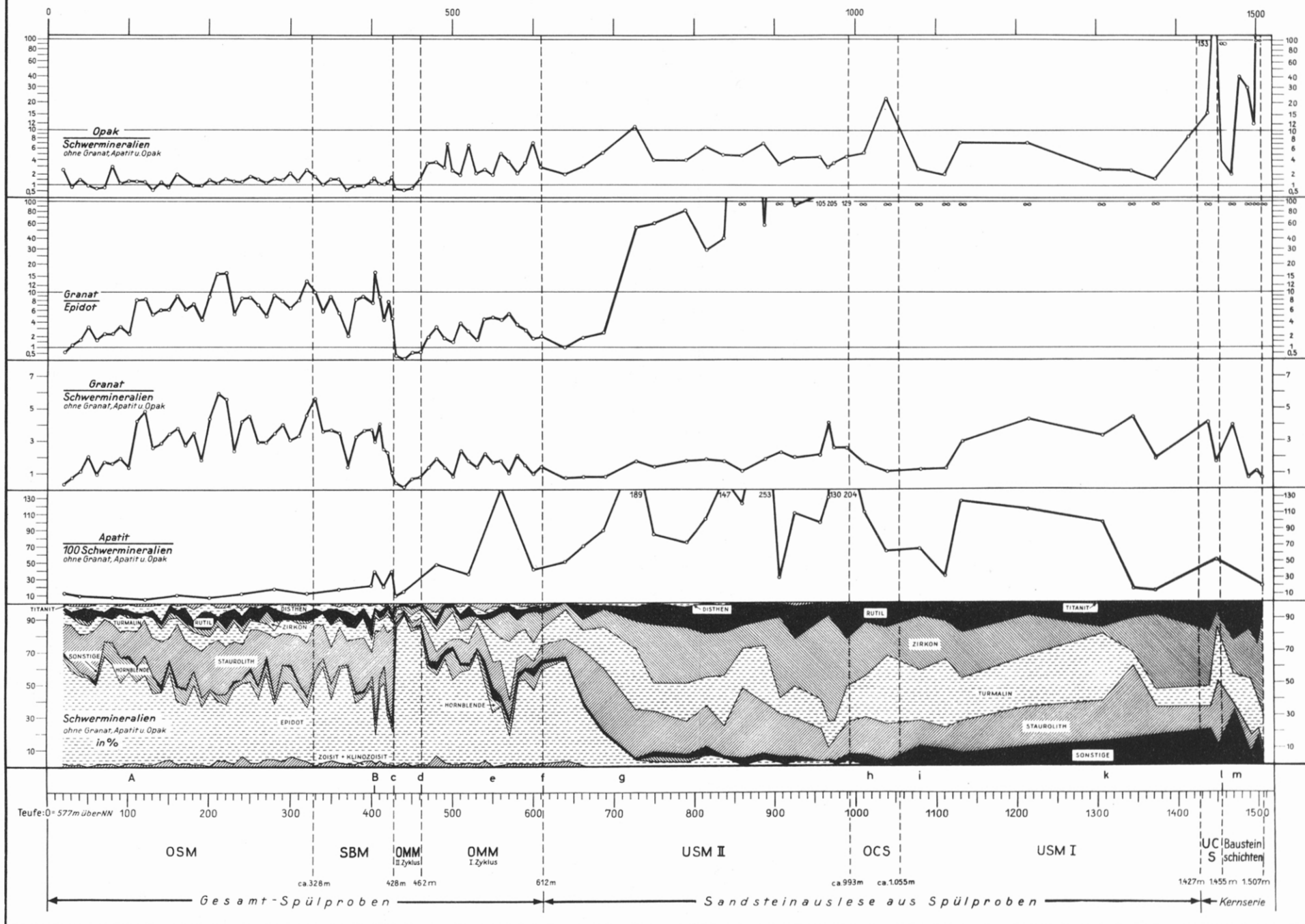
Schwermineraluntersuchungen an Spülproben und Kernen der Schwabmünchen 1



Schwermineraluntersuchungen an Spülproben und Kernen der Siebnach 1



Schwermineraluntersuchungen an Spülproben und Kernen der Rieden1



Teufe	Chem.-Behandlung	in Prozent der Schwerminerale ohne Granat, Apatit u. Opak										Opak SM a.Gr., Ap. u. Op.	Granat Epidot	Granat SM a.Gr., Ap. u. Op.	Apatit 100 SM a.Gr., Ap. u. Op.	Profil
		Hornblende	Sonstige	Staurolith	Tourmalin	Zirkon	Rutil	Disthen	Titanit	Gesamt-Spüßproben						
		4	64	13	5	6	2	1	1	1	10,92	1,43	0,75	1,43	0,75	ca 300m
20	HCL	4	61	17	4	1	6	1	1	1	1	6	1	1,68	0,97	
30	HCL	2	70	9	3	1	7	1	1	1	1	6	1	1,02	4,82	
40	HCL	4	68	6	7	1	1	6	1	1	1	6	1	2,57	3,63	
50	HCL	1	68	12	2	1	6	2	2	2	2	5	4	1,89	2,78	
60	HCL	3	56	9	4	1	5	4	1	1	1	5	4	1,45	1,11	
70	HCL	4	66	10	1	1	5	4	1	1	1	4	1	2,34	3,55	
80	HCL	2	61	9	6	3	3	3	3	3	3	6	1	3,42	5,61	
90	HCL	5	56	12	7	1	3	4	2	2	2	4	2	6,62	6,61	
100	HCL	3	41	20	5	1	3	5	3	3	3	5	3	4,05	14,76	
110	HCL	2	48	18	7	1	7	4	2	2	2	4	2	3,39	7,71	
120	HCL	5	56	11	7	2	4	6	1	1	1	6	1	6,41	11,44	
130	HCL	6	47	11	9	2	4	6	1	1	1	6	1	8,11	17,25	
140	HCL	5	40	20	10	1	4	6	2	2	2	4	2	4,27	20,01	
150	HCL	10	38	18	10	1	1	8	2	2	2	8	2	6,19	16,28	
160	HCL	7	38	18	10	1	1	8	2	2	2	8	2	7,11	18,71	
170	HCL	5	42	15	8	2	4	8	3	3	3	5	1	2,41	5,74	
180	HCL	3	37	27	6	1	3	5	1	1	1	5	1	4,76	12,53	
190	HCL	4	36	26	3	6	16	5	2	2	2	5	1	2,72	5,23	
200	HCL	4	4	21	11	2	7	8	2	2	2	7	8	6,14	14,04	
210	HCL	4	38	21	9	2	7	8	2	2	2	7	8	5,19	12,36	
220	HCL	2	48	19	9	2	7	8	2	2	2	7	8	2,60	6,35	
230	HCL	3	52	25	8	4	2	6	3	3	3	6	3	5,06	13,67	
240	HCL	11	42	16	6	2	3	5	1	1	1	5	1	5,26	9,07	
250	HCL	9	41	16	4	1	3	5	1	1	1	3	5	3,49	5,21	
260	HCL	9	37	21	5	2	2	2	2	2	2	2	2	6,17	12,34	
270	HCL	6	38	26	3	6	16	5	2	2	2	6	5	5,34	5,34	
280	HCL	3	58	21	11	2	7	8	2	2	2	7	8	2,06	5,72	
290	HCL	10	38	21	9	2	4	5	1	1	1	4	5	2,40	4,90	
300	HCL	7	38	22	4	4	2	4	2	2	2	4	2	2,56	5,56	
310	HCL	9	41	27	6	1	4	4	2	2	2	4	2	4,88	5,88	
320	HCL	5	49	12	9	2	4	4	2	2	2	4	2	2,75	5,35	
330	HCL	6	45	13	3	9	8	2	2	2	2	3	2	31,25	31,25	
340	HCL	5	48	19	11	1	3	5	1	1	1	3	5	1,40	1,40	
350	HCL	3	8	15	7	1	1	3	5	1	1	3	5	2,50	2,50	
360	HCL	4	51	15	5	2	11	6	1	1	1	11	6	1,95	4,06	
370	HCL	1	8	26	8	2	5	4	2	2	2	5	4	0,33	0,33	
380	HCL	3	55	8	2	3	1	1	2	2	2	1	1	0,28	0,32	
390	HCL	2	87	2	4	2	2	2	2	2	2	2	2	0,89	1,19	
400	HCL	2	83	4	4	2	2	2	2	2	2	2	2	0,61	0,63	
410	HCL	1	92	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0,62	0,78	
420	HCL	3	83	3	3	4	1	1	1	1	1	1	1	0,82	0,99	
430	HCL	3	83	3	3	4	1	1	1	1	1	1	1	0,62	0,83	
440	HCL	4	80	3	3	4	1	1	1	1	1	1	1	0,62	0,78	
450	HCL	4	64	11	1	1	3	14	1	1	1	1	1	1,81	2,63	
460	HCL	3	54	7	19	1	3	11	4	4	4	3	1	2,14	3,78	
470	HCL	1	72	11	4	2	1	2	1	1	1	2	1	1,35	1,88	
480	HCL	2	62	10	7	2	2	1	4	4	4	2	1	0,78	1,26	
490	HCL	2	50	5	13	2	3	2	3	2	3	2	3	0,33	0,66	
500	HCL	2	41	8	15	2	3	1	1	1	1	9	1	0,76	1,85	
510	HCL	3	59	7	6	2	2	2	2	2	2	2	2	1,09	1,85	
520	HCL	3	46	5	5	6	2	1	2	2	2	4	4	1,18	2,57	
530	HCL	3	52	6	12	4	3	1	4	4	4	4	4	0,95	1,83	
540	HCL	4	45	13	7	4	2	1	4	4	4	4	4	1,50	3,53	
550	HCL	4	54	6	4	1	3	13	1	1	1	1	1	2,57	4,76	
560	HCL	1	29	12	7	3	1	1	8	8	8	2	1	2,59	8,93	
570	HCL	3	55	8	4	17	1	2	3	3	3	3	3	4,33	7,87	
580	HCL	1	40	9	4	29	5	2	4	4	4	4	4	2,36	5,90	
590	HCL	4	40	11	5	23	1	2	4	4	4	4	4	2,20	5,50	
600	HCL	1	57	13	5	13	3	4	4	4	4	4	4	2,37	4,16	
610	HCL	1	45	15	4	18	5	4	4	4	4	4	4	3,69	8,20	
620	HCL	4	75	3	5	5	3	2	2	2	2	2	2	0,20	0,27	
630	HCL	1	50	10	17	7	3	1	4	4	4	4	4	1,92	3,84	
640	HCL	5	32	8	11	28	1	1	8	8	8	1	1	1,17	3,65	
650	HCL	2	60	7	10	7	1	1	2	2	2	2	2	0,77	1,28	
660	HCL	2	36	10	6	33	5	4	3	3	3	3	3	1,34	3,72	
670	HCL	1	49	12	13	9	2	2	3	3	3	3	3	2,06	4,20	
680	HCL	2	22	14	15	31	4	1	3	3	3	3	3	2,05	9,32	
690	HCL	1	48	17	14	8	2	1	2	2	2	2	2	2,15	4,35	
700	HCL	3	30	12	21	23	3	1	4	4	4	4	4	2,00	6,67	
710	HCL	1	44	14	14	15	1	1	3	3	3	3	3	2,85	6,48	
720	HCL	1	47	11	8	17	2	5	7	7	7	7	7	1,99	4,23	
730	HCL	3	50	4	9	17	3	4	4	4	4	4	4	2,29	4,49	
740	HCL	3	40	17	8	8	2	6	4	4	4	4	4	1,94	3,88	
750	HCL	1	40	13	24	5	3	5	3	3	3	3	3	2,46	6,15	
760	HCL	1	53	10	14	7	3	3	3	3	3	3	3	1,94	3,66	
770	HCL	4	34	22	21	4	4	4	5	5	5	5	5	1,60	3,02	
780	HCL	1	10	20	15	4	6	5	5	5	5	5	5	4,14	11,83	
790	HCL	2	22	15	27	21	7	1	3	3	3	3	3	2,32	6,63	
800	HCL	1	28	4	34	16	6	3	3	3	3	3	3	1,67	5,76	
810	HCL	3	32	2	13	9	8	5	5	5	5	5	5	2,43	14,29	
820	HCL	1	44	12	15	15	3	3	3	3	3	3	3	1,43	3,25	
830	HCL	1	53	16	16	8	4	4	4	4	4	4	4	1,60	3,02	
840	HCL	3	25	14	22	21	4	4	5	5	5	5	5	2,24	9,36	
850	HCL	1	35	10	20	15	4	6	5	5	5	5	5	4,14	11,83	
860	HCL	2	35	18	8	7	3	3	3	3	3	3	3	2,32	6,63	
870	HCL	1	29	17	21	10	2	5	3	3	3	3	3	1,67	5,76	
880	HCL	1	19	21	20	23	14	7	2	2	2	2	2	2,43	14,29	
890	HCL	1	58	13	12	6	2	2	2	2	2	2	2	1,74	3,00	
900	HCL	1	33	15	15	3	3	3	3	3	3	3	3	3,25	5,00	
910	HCL	2	44	17	22	15	1	1	8	8	8	8	8	2,03	9,45	
920	HCL	2	39	16	19	13	2	6	1	1	1	1	1	2,98	7,64	
930	HCL	1	39	25	14											

Main data table with columns: Teufe, Chem-Behandlung, Ausgezählte SM, Korngrößen der Schwerminerale, in Prozent der Schwerminerale ohne Granat, Apatit u. Opak (Titanit, Disthen, Rutil, Zirkon, Turmalin, Staurolith, Sonstige, Hornblende, Epidot, Zoisit + Klinozoisit), Apatit 100 SM a.Gr., Ap. u. Op., Granat SM a.Gr., Ap. u. Op., Granat Epidot, Opak SM a.Gr., Ap. u. Op., Profil (OSM, SBM, OMM z. Zylinder, USM I, USM II, etc.).

