

Festschrift Heißel	Veröffentlichungen der Universität Innsbruck, Bd. 86	Innsbruck, Dezember 1973	Seite 181 – 215
--------------------	---	--------------------------	-----------------

Sedimentologische, geochemische und bodenmechanische Daten zum Bänderton von Baumkirchen (Inntal/Tirol)

von

M. KÖHLER und W. RESCH *)

Mit 10 Abb., 7 Tab., 1 Taf.

Inhaltsübersicht

1. Zusammenfassung, Summary	181
2. Einführung und Problemstellung; Dank	182
3. Probenpunkte und Probenentnahme (W. Resch)	183
4. Sedimentologische Untersuchungen (M. Köhler)	186
5. Geochemische Untersuchungen (M. Köhler)	189
6. Kornverteilung und Schwermineralanalyse (W. Resch)	201
7. Bodenmechanische Kennwerte (W. Resch)	207
8. Literatur	213

1. Zusammenfassung

Es wurde 1 m des „Bändertons“ von Baumkirchen in sedimentologischer und geochemischer Hinsicht untersucht. Es ergab sich eine zyklische Abfolge in der Schichtmächtigkeit von hellen und dunklen Lagen, wobei die kleinsten gefundenen Zyklen (? Jahreszeiten) eine durchschnittliche Mächtigkeit von 2,27 cm erreichten. Der größten Schichtmächtigkeit entspricht jeweils der geringste CaO- und MgO-Gehalt. Durch Summenanalysen in der statistischen Verteilung der Schichtmächtigkeit ergaben sich Unterschiede zwischen hellen und dunklen Lagen. Beide Typen zeigen Abweichungen von einer statistischen Idealverteilung mit Bevorzugung bestimmter Schichtmächtigkeiten.

*) Anschrift der Verfasser: Dr. Manfred Köhler und Dr. Werner Resch, Institut für Geologie und Paläontologie der Univ. Innsbruck, Universitätsstraße 4/II, A-6020 Innsbruck.

Zwei Kornverteilungsanalysen ergaben einen sehr hohen Schluffgehalt des Sediments; der Sandanteil liegt unter 5%, der Tonanteil zwischen 8 und 15%. Einige Schwermineralanalysen brachten für das sehr glimmer- und chloritreiche Bändertonmaterial den Hinweis auf dessen Herkunft aus einem vorwiegend aus kristallinen Schiefem aufgebauten Liefergebiet.

Eine Anzahl bodenmechanischer Kennwerte wird tabellarisch zusammengestellt mitgeteilt; auffallend ist das relativ hohe spez. Gewicht (2,81–2,82 g/cm³), wahrscheinlich bedingt durch den hohen Glimmergehalt. Das für derartige Sedimente durchaus normale Porenvolumen und die Ergebnisse eines Ödometerversuches ergaben keinen Hinweis auf stärkere glaziale Vorbelastung der Proben. Dies hängt vermutlich mit der Schwierigkeit der Gewinnung bodenmechanisch ungestörter Proben zusammen.

Summary

Sedimentological, geochemical and soilmechanical data of the banded silts and clays of Baumkirchen (Inn valley, Tyrol).

One metre of the banded silts and clays ("Bändertone") of Baumkirchen was analysed in sedimentological and geochemical view. It resulted in a cyclic sequence in the thickness of light and dark layers, whereby the smallest cycles (? seasons) reach an average extent of 2.27 cm. The lowest contents of CaO and MgO are adequate to the largest thickness of layers. By cumulative-analyses in the statistical distribution of the extent of layers differences between light and dark layers resulted. Both types show divergences from a random distribution by preference of certain extents of layers.

Two curves of grain size analyses gave as a result a very high content of silt of the sediment; the content of sand is less than 5%, the content of clay lies between 8 and 15%. Some heavy-mineral analyses gave for the very mica- and chlorite-rich banded silt and clay an indication for its deriving from an area mainly built up by crystalline schists. A number of soilmechanical properties is published tabularly; the relative high specific gravity (2.81–2.82 g/cm³), possible due to the high content of mica, is remarkable. The degree of porosity which is absolutely normal for sediments of this kind and the results of an oedometer-test gave no indication of stronger glacial pre-consolidation of the samples investigated. This fact probably depends on the difficulty in sampling soilmechanically undisturbed soil specimens.

2. Einführung und Problemstellung; Dank

Die Bändertone in der Tongrube von Baumkirchen, 12 km E Innsbruck, sind in den letzten Jahren durch Aufsehen erregende Pflanzen- und Fischfunde und die Ergebnisse von mehreren, an den Holzresten vorgenommenen absoluten Altersdatierungen in den Mittelpunkt der Quartärforschung in Tirol gerückt (vergl. F. FLIRI 1973; dort auch weitere Literatur). So wie bei der bisherigen Beschaffung von Daten nur stete Überwachung des Abbaues und mühevoller Kleinarbeit zu einer Mehrung und Präzisierung der Erkenntnisse beitrug, soll auch diese Publikation nur ein kleiner Beitrag zur Lösung der angeschnittenen Probleme sein. Die sedimentologischen Beobachtungen und mitgeteilten physikalischen Daten wurden an Proben, die nach bestimmten Gesichtspunkten ausgewählt wurden, ermittelt und gelten streng genommen auch nur für das jeweils untersuchte Material. Eine Verallgemeinerung und Angabe von für die Sedimente des ganzen Profils gültigen Mittelwerten ist nur mit Vorbehalten möglich.

Angaben über sedimentologische Beobachtungen am Bänderton von Baumkirchen finden sich in den meisten neueren Publikationen über dieses Vorkommen und in den regional weiter ausgreifenden Arbeiten von W. HEISSEL (1954: 295–298), F. MAYR (1968: 269–270) und M. E. ZOEKE (1944).

Im Laufe der Untersuchungen am Bänderton von Baumkirchen wurde der Wunsch immer stärker, über einige grundlegende physikalische Kennwerte der Bändertone

Bescheid zu wissen, auch wenn diese vorläufig zum Teil nur als bloße Daten interessant sind, ohne die Zielrichtung der derzeitigen Forschungen sehr zu berühren. Es soll diese Arbeit also teilweise einfach ein Beitrag dazu sein, mit dem Begriff „Bänderton von Baumkirchen“ klarere Vorstellungen verbinden zu können, als dies bisher möglich war.

Für die Untersuchung der Sedimentationsrhythmen durch den einen der Verfasser (M. KÖHLER) kamen arbeitsmethodisch an triadischen Sedimenten gemachte Erfahrungen zum Tragen. Die geochemischen Untersuchungen wurden nicht unwesentlich durch das Erscheinen der Arbeit von W. SCHUMANN (1969) angeregt und durch die zunehmend bessere apparative Ausstattung der Institute im Haus erst ermöglicht. Die vorliegende Arbeit ist selbstverständlich unter ständigem gegenseitigem Gedankenaustausch der beiden Verfasser entstanden. Um eine klare Trennung der Verantwortlichkeit für den Inhalt zu geben, stehen die Kapitel aber unter dem jeweiligen Autor.

Es ist den Verfassern eine angenehme Pflicht, einer Reihe von Fachleuten, fast ausnahmslos Kollegen und Mitarbeiter des durch diesen Festband geehrten Jubilars, für ihre Hilfe und Vornahme der teilweise sehr aufwendigen Untersuchungen zu danken.

Herrn Univ.-Prof. Dr. F. FLIRI (Vorstand am Geographischen Institut und Institut für Alpengeographie) sind wir für vielseitige Hilfe bei der Geländearbeit, für Literaturhinweise und wiederholte Diskussionsmöglichkeit sowie für die kritische Durchsicht von Kapitel 4 und 5 des Manuskripts zu großem Dank verpflichtet. Die geochemischen Untersuchungen konnten dank des Entgegenkommens von Herrn Univ.-Prof. Dr. F. PURTSCHELLER am Institut für Mineralogie und Petrographie (Vorstand: Univ.-Prof. Dr. J. LADURNER) vorgenommen werden. Die Schwermineralanalysen und deren Interpretation verdanken wir Frau Dr. G. WOLETZ, Chefgeologe an der Geol. Bundesanstalt Wien. Herrn Dipl.-Ing. D. BILEWICZ, Institut für Baustofflehre und Materialprüfung (Vorstand: Univ.-Prof. Dr. O. W. BLÜMEL), und Herrn Dipl.-Ing. Dr. H. HUBER, Boden- und Betonprüfstelle der Tauernkraftwerke A. G. in Ginzling, danken wir für die Vornahme der bodenmechanischen Untersuchungen und für gemeinsame Begehungen bzw. Probenentnahme im Aufschluß. Herrn Dr. K. MIGNON sind wir für seine Vermittlung in dieser Sache ebenfalls zu Dank verpflichtet. Die Ödometerversuche wurden dankenswerterweise am Institut für Bodenmechanik, Felsmechanik und Grundbau (Vorstand: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. W. SCHÖBER) vorgenommen. Schließlich hatten Frau Dr. G. WOLETZ und Herr Dipl.-Ing. D. BILEWICZ die Güte zur Durchsicht von Kapitel 6 bzw. 7 des Manuskripts.

Für die finanzielle Förderung der Untersuchungen sind die Verfasser den Herren Univ.-Prof. Dr. W. HEISSEL und Univ.-Prof. Dr. F. FLIRI zu Dank verpflichtet.

3. Probenpunkte und Probenentnahme (W. Resch)

In die Probenliste (Tab. 1) wurden nur solche Proben aus der Tongrube von Baumkirchen aufgenommen, die Grundlage von Untersuchungen für die vorliegende Arbeit waren. Die Probennummern entsprechen den Nummern der Geländebucheintragungen.

Die Höhe einiger Probenpunkte im Aufschluß konnte nur geschätzt werden. Soweit genaue Höhenangaben gemacht werden, diente als Bezugsniveau die Obergrenze der von F. FLIRI (in F. FLIRI et al. 1971: 15–17) beschriebenen „Sedimentstörung in 653–655 m Höhe“ im NNE-Teil der Tongrube. Die dort leicht auffindbare und gut zugängliche Obergrenze dieses durch subaquatische Rutschfaltung gekennzeichneten Profilschnittes bei 655 m ist zugleich die Basis des sedimentologisch (bezüglich Sedimentationszyklen) und geochemisch von M. KÖHLER genauer untersuchten Profilmeters („Standardmeter“ = Probe 301). Die bis auf Zentimeter gemachten Höhenangaben

sind natürlich nur bezüglich dieser Bezugsfläche so genau, nicht aber absolut. Diese genauen Angaben ermöglichen im beprobten Aufschlußbereich einerseits eine genaue Information über das gegenseitige Lagerungsverhältnis der Proben und andererseits ein leichtes Wiederfinden der untersuchten Schichten.

Probe-Nr.	Höhe m	Lokalisation in der Tongrube	Bemerkungen
23 A, 23 B	ca. 656,5	S-Teil	
104	ca. 654,5	SW-Teil	19,6 cm dicke Schichtfolge; Basis 45,3 cm über gefalteter Schichtfolge
105	ca. 654	SW-Teil	Mehlsandlage direkt über gefalteter Schichtfolge
301	654,9–656,1	NNE-Wand	3 Stechkastenproben („Standardmeter“; Basis bei 655 m)
302	656,54–656,60	NNE-Wand	Probe mit Geröllhorizont
303	654,95–655	NNE-Wand	Gefaltete Schichtfolge: oberster Teil mit Mehlsandlage
305–309	ca. 665	WNW-Teil	
310–312	ca. 685	N-Teil	Probe-Niveau rezent schwach durchwurzelt (!)
315–316	654,95	NNE-Wand	Gefaltete Schichtfolge: oberste ca. 15 cm
317	656,47	NNE-Wand	Probe wenig unterhalb des Geröllhorizonts von Probe 302
318	656,30	NNE-Wand	

Tabelle 1: Verzeichnis und Entnahmestellen der untersuchten Proben aus der Tongrube Baumkirchen.

Die der Schwermineralanalyse zugeführten Proben 104 und 105 entstammen älteren Aufsammlungen (W. RESCH 1972: 218–219; dort auch genauere Probenbeschreibungen). Sie wurden ebenso wie die anderen diesbezüglich untersuchten Proben in Innsbruck geschlämmt. Es war bei der mikropaläontologischen Untersuchung im Interesse halbwegs rationeller Arbeitsweise leider nicht möglich, die für die üblichen Kornverteilungsanalysen verwendeten Siebsätze zu benützen. Die Grenze Sand – Schluff (0,063 mm MW) konnte aber in einem Arbeitsgang berücksichtigt werden.

Die Probe 105 entspricht profilmäßig der in der Höhe genauer lokalisierbaren Probe 303. Die beiden Probenpunkte liegen Luftlinie ca. 80 m auseinander. Bei dem generell schwachen Einfallen der Schichten nach etwa SW kommt die Obergrenze der durch subaquatische Rutschfaltung gekennzeichneten Schichtfolge beim Probepunkt 105, wo diese gestörte Folge allerdings etwas mächtiger ist, wenig tiefer zu liegen, als bei Probepunkt 303.

Die Probe 301, die vor allem für die sedimentologischen und geochemischen Untersuchungen bestimmt sein sollte, wurde mittels dreier Stechkästen, wie sie von W. SCHUMANN (1969: 15–16) empfohlen werden, entnommen. Da das Sediment am Probepunkt relativ trocken war, hätte sich eine etwas größere Blechdicke als 1 mm sicher als vorteilhafter erwiesen.

Das uns mit den verfügbaren Geräten hier zugängliche Material war leider so wenig bergfeucht, daß die Stechkastefüllungen mehr herausgeschnitten als herausgestochen werden mußten. Die 3 Kästen überlappten sich jeweils um 15 cm, so daß der 120 cm mächtige Profilabschnitt auch noch 10 cm der gestörten Schichtfolge im Liegenden der Marke 655 m SH umfaßte und nach oben 10 cm über den genauer untersuchten Profilmeter hinausragte.

Bei der Entnahme der Stechkastenproben war uns dankenswerterweise Herr Prof. Dr. F. FLIRI behilflich; dieser hat uns außerdem eine von ihm für sedimentologische Studien angefertigte Serie von Dias aus diesem Profilabschnitt leihweise zur Verfügung gestellt. Nicht bewährt hat sich leider der Versuch, das relativ trockene Material (vgl. auf Tab. 5 und 7 die benachbarten Proben) in den Stechkästen durch Benetzen von den Öffnungen in den Kastenböden her im Labor nachträglich wieder etwas anzufeuchten. Dadurch und auch durch nicht ganz sachgemäße Lagerung dieser Proben kam es, noch bevor sie für die Dokumentation auf Taf. 1 photographiert wurden, zu unregelmäßigen, wenn auch nur leichten Quellungen und schließlich wieder zur Bildung von Schrumpfrissen parallel ss. Photoleiste und Diagramm stimmen daher leider nicht immer korrespondierend bis im mm-Bereich genau überein. Dankbar vermerken wir hier die Hilfe von H. GROSSKOPF bei der Ausarbeitung der Photos. Weitere Photoaufnahmen zur vorliegenden Arbeit sind am Geolog. Institut der Universität Innsbruck deponiert und im Besitz von Herrn Prof. F. FLIRI.

Die Proben für die bodenmechanischen Untersuchungen (Probe Nr. 305–318) wurden im wesentlichen 3 verschiedenen Horizonten aus ca. 10 cm bis knapp 50 cm Tiefe von der derzeitigen Oberfläche entnommen. Leider standen für eine Entnahme aus größerer Tiefe keine geeigneten Hilfsmittel zur Verfügung. Die Überlagerung an den Probepunkten betrug vor deren Freilegung durch den Abbaubetrieb in jüngerer Zeit etwa 10 bis gut 20 m.

Über die Größe einiger Proben orientiert Tab. 5; zu den nur rein bodenmechanisch untersuchten Proben finden sich entsprechende Angaben im diesbezüglichen Kapitel.

Nur am Rand sei hier erwähnt, daß einige von den Proben, die der Schwermineralanalyse unterzogen und erst im Zusammenhang mit der vorliegenden Publikation geschlämmt wurden, wieder interessante Mikrofossilien lieferten. Probe 23 A ergab gut erhaltene Chironomidenreste (auch Kopfkapsel und Larvenhaut noch im Zusammenhang) und Reste anderer Insekten, Probe 303 enthielt zahlreiche, leider aber mehr oder weniger zerdrückte adulte Ostrakoden. Außerdem fanden sich in gar allen Proben Pflanzenreste und in den meisten neu geschlämmten Proben auch die schon als „Eikapseln, Kokons oder Zysten“ beschriebenen Organismenreste (W. RESCH 1972: 221). Die Ostrakodenfunde in Probe 303 passen gut zu der profilmäßig-lithologischen Korrelierung dieser Probe mit Probe 105, in der diese ebenfalls verhältnismäßig häufig waren (W. RESCH 1972: 221-224). Die neu gefundenen Mikrofossilien bedürfen noch einer Bearbeitung.

Den späteren Ausführungen vorweggenommen sei hier folgende wichtige Feststellung: Leider ist aus dem bisherigen Ergebnis der geochemischen Untersuchungen (Kapitel 5) keine eindeutige Klärung der Frage möglich, ob es im Bändertensee überhaupt zu einer merklichen (jahreszeitlich schwankenden) biogenen Karbonatproduktion, die in erster Linie eine Kalkproduktion hätte sein müssen, kam.

Über die Frage der Herkunft bzw. Ausfällung und Sedimentation von Calciumkarbonat in Bändertenseen hat W. SCHUMANN (1969: 29, 35, 40–44) eingehende Überlegungen angestellt. Er hat allerdings keine jahreszeitlich oder längerfristig relativ zu den anderen Anteilen schwankende Zufuhr von Calciumkarbonat durch die Seezuflüsse erwogen, durch die wir zumindest teilweise den Wechsel des CaCO_3 -Gehalts in der geochemisch untersuchten Probe 301 erklären möchten. Um diese an sich wichtige Frage klären zu können, wäre m. E. eventuell eine genaue, lagenweise Untersuchung des Kalk – Dolomitverhältnisses zielführend. Bei einem annähernd gleichen Herkunftsgebiet für beide Karbonate (z. B. Nördliche Kalkalpen, Brennermesozoikum usw.; Kalkphyllite des Penninikums vielleicht aber relativ ärmer an MgCO_3 !) müßte das Verhältnis der beiden Karbonate zueinander nach unserer Vorstellung immer ungefähr gleich bleiben; eine Verschiebung dieses Verhältnisses würde eventuell eine wenigstens mittelbare Beteiligung biogener Prozesse an der Kalksedimentation anzeigen. Bei den für diese Fragestellung wohl zu weiträumigen Abständen der geochemisch untersuchten Labor-Proben ergab sich nach den Befunden von M. KÖHLER jedenfalls ein meist ziemlich konformes Verhalten der Kurven für MgO und CaO (s. Taf. 1 und S. 199).

4. Sedimentologische Untersuchungen (M. Köhler)

Der probierte Profilmeter (Probe 301) der Bändertone wurde auf zyklische bzw. rhythmische Sedimentation hin untersucht. Im Idealfall sollte eine jahreszeitliche Abfolge erkannt werden, die für eine altersmäßige Chronologie (ähnlich der Warvenchronologie) verwendet werden könnte.

Bei ähnlichen Fragestellungen (H. FÜCHTBAUER & G. MÜLLER, 1970; P. McL. D. DUFF, A. HALLAM & E. K. WALTON, 1967) erwies sich dabei eine Analyse der Mächtigkeit bestimmter Schichten als sehr zweckmäßig. In den Bändertonen kommt für diese Untersuchungen nur der Wechsel von dunklen und hellen Lagen in Frage, wobei sich zunächst Schwierigkeiten ergaben: Es zeigte sich nämlich, daß die subjektive optische Trennung von dunklen und hellen Lagen sehr vom Feuchtigkeitsgehalt der Proben abhängig ist. Sowohl sehr hohe Feuchtigkeit (Benetzung im Labor) als auch sehr niedrige (starke Austrocknung) verringert den Farb- und Helligkeitskontrast der Schichten sehr erheblich und macht eine Unterscheidung schwierig. Es empfiehlt sich daher, die Messung der Schichtmächtigkeit bereits im Gelände vorzunehmen, um so einen möglichst gleichen Feuchtigkeitsgehalt (Bergfeuchtigkeit) der Proben zu gewährleisten. Die Messung erfolgt zweckmäßigerweise an einer steilen Wand, von der die vordersten dm der Bändertone, die den Atmosphären ausgesetzt sind, abgeräumt werden.

Die Messung der Schichtmächtigkeit im Labor bzw. im Gelände bedarf einer gewissen Einarbeitung, um von einer subjektiven Trennung zwischen hellen und dunklen Lagen zu einer mehr objektiven zu kommen. Als kleinster Homogenitätsbereich wurde aus meßtechnischen Gründen eine Schichtmächtigkeit von mindestens 1 mm gewählt. Die Grenze hell/dunkel wurde somit dort gezogen, wo sich eine Schicht von mindestens 1 mm farblich eindeutig von der darauffolgenden trennen läßt. Schwierigkeiten ergeben sich daher in Bereichen, wo keine scharfe Grenze ausgebildet ist: hier vollzieht sich der Übergang von heller Lage zu dunkler (bzw. umgekehrt) in mm- oder cm-Bereich, wobei oft auf engstem Raum helle und dunkle Lagen unter 1-mm-Mächtigkeit wechsellagern. Für solche Ausnahmefälle empfiehlt es sich, den Abstand zwischen letzter eindeutig heller bzw. dunkler Lage zu halbieren.

Es wurde untersucht, wie weit der Feuchtigkeitsgehalt und damit auch der verschiedene Kontrast das Meßergebnis beeinflusst. Bei höherer Feuchtigkeit können im gleichen Profilabschnitt wesentlich mehr Lagen mit geringerer Mächtigkeit unterschieden werden (im Durchschnitt „rund 1000 Schichten pro 1 m Höhe“ – F. FLIRI et al. 1970: 13), als bei geringerer Luftfeuchtigkeit, wo weniger, dafür aber mächtigere Lagen sichtbar sind. Da die Untersuchungen über die Schichtmächtigkeiten im Hinblick auf zyklische Sedimentation durchgeführt wurden, für die Relativbeziehungen bereits genügen, konnte diese Meßweise angewandt werden, obwohl die dabei gewonnenen Werte nicht immer ganz genau den tatsächlichen Schichtmächtigkeiten entsprechen.

Im übrigen sei hier auch auf die Darstellung der Untersuchung rhythmischer Sedimente bei A. BENTZ (Lehrbuch der Angewandten Geologie, Bd. 1, S. 80-83; 1961) hingewiesen.

Erläuterungen zu Taf. 1:

Am linken Rand befindet sich ein Photo des untersuchten Meters aus den Bändertonen, wobei die Mächtigkeit in mm angegeben ist. Photo und zeichnerische Darstellung stimmen in einigen Details nicht ganz überein, weil die photographische Aufnahme zu einem späteren Zeitpunkt erfolgt ist (Änderung des Feuchtigkeitsgehaltes), als die Erstellung der Diagramme.

Spalte 1: Darstellung der Schichtmächtigkeit der hellen Lagen. Auf der Abszisse ist die entsprechende Schichtmächtigkeit der hellen Lagen in mm aufgetragen, wobei als Untergrenze 1 mm gewählt wurde. Auf der Ordinate wurde in entsprechendem Abstand (= Schichtmächtigkeit) die nächste darüberfolgende helle Lage aufgetragen. Die horizontalen Striche entsprechen somit der Schichtmächtigkeit, der vertikale Abstand stellt maßstäblich verkleinert die natürlichen Verhältnisse der sedimentären Abfolge dar. Die kleingedruckten Zahlen auf den horizontalen Strichen entsprechen den Probennummern für die Laboruntersuchung.

Spalte 2: Darstellung der Schichtmächtigkeit der dunklen Lagen. Hier gilt sinngemäß das gleiche wie für die hellen Lagen. Spalte 1 und 2 dient somit zur Rekonstruktion der sedimentären Abfolge im untersuchten Profil.

Spalte 6: Darstellung der theoretischen Schichtmächtigkeit der hellen und dunklen Lagen. Diese Darstellungsart wurde gewählt, um die zyklische Änderung der Schichtmächtigkeit noch weiter zu dokumentieren. Dabei wird die Schichtmächtigkeit einer hellen Lage mit der theoretischen, in Spalte 2 ablesbaren Mächtigkeit der dunklen aus dem gleichen Profilhorizont gemeinsam aufgetragen.

Spalte 3: Darstellung des Gesamtkarbonatgehaltes. Dieser Wert wurde rechnerisch aus dem MgO- und CaO-Wert ermittelt unter der Annahme, daß alles MgO in Form von stöchiometrischem Dolomit gebunden ist und Calcit rein vorliegt. Gips, Anhydrit und Tonminerale können das Ergebnis verfälschen (M. KÖHLER, 1973).

Spalte 4: Darstellung des MgO-Gehaltes. Die Werte gehen von 0%–2%.

Spalte 5: Darstellung des CaO-Gehaltes. Die Werte bewegen sich zwischen 0% und 10%. Die senkrechten Striche bezeichnen die Werte der Summenproben, wobei die Länge des Striches den Bereich bezeichnet, aus dem das analysierte Material stammt.

Man erkennt eine periodische Änderung der Schichtmächtigkeiten innerhalb des Profils, wobei sich zunächst helle und dunkle Lagen ähnlich verhalten. Im untersuchten Abschnitt (1 m) der Bändertone wurden 122 helle und 120 dunkle Lagen gezählt, die sich auf 44 Zyklen verteilen. Die Nummern der Zyklen sind jeweils links der entsprechenden Spalten eingetragen. Ihre durchschnittliche Mächtigkeit beträgt 2,27 cm. Sie stellen die kleinsten zyklischen Einheiten dar, mit denen eine Untergliederung des Profils möglich ist. Sowohl helle als auch dunkle Lagen zeigen prinzipielle Ähnlichkeiten im Kurvenverlauf der Schichtmächtigkeiten, wenngleich im Detail erhebliche Unterschiede bestehen können. Bemerkenswert ist die Tatsache, daß es in verschiedenen Abschnitten des Profils (besonders deutlich zwischen 200 mm und 340 mm) zu einer räumlichen Verschiebung von 1–2 cm der Kurven kommt. Erst ab etwa 400 mm zeigen beide Kurven ± deutliche Übereinstimmung. Die Korrelierung der 44 Zyklen für helle und dunkle Lagen ist somit nur dann möglich, wenn die Kurven um diesen Wert (1–2 cm) auf gleiche Höhe verschoben werden. Sehr zweckmäßig ist es dabei, eine der beiden Kurven auf Transparentpapier zu zeichnen, um sie mit der anderen zur Deckung bringen zu können.

Die Schichtmächtigkeiten erreichen in bestimmten Abschnitten für die hellen und dunklen Lagen Maxima, mit denen eine weitere Untergliederung der Abfolge getroffen werden kann. In den dunklen Lagen bilden sich etwa 10 Abschnitte ab (A–J), wobei jeder zweite mit einem Maximum der hellen Lagen korrespondiert. Die durchschnittliche Mächtigkeit beträgt 10 cm, von unten nach oben ist allerdings eine Abnahme der

Mächtigkeit zu beobachten. Für bestimmte Abschnitte des Profils konnte die Unterteilung nur mit Hilfe der Schichtmächtigkeit allein nicht durchgeführt werden, es mußten zusätzlich noch Bestimmungen des CaO- und MgO-Gehaltes gemacht werden.

Sehr deutlich bilden sich Zyklen in der Schichtmächtigkeitsverteilung der hellen Lagen ab. Es lassen sich 5 größere Einheiten erkennen (I–V). Die Zyklen I–V und A–J zeigen ebenfalls eine weitere Regelmäßigkeit, die sich in der Verteilung der Kleinzyklen (1–44) abbildet (Tab. 2):

Abschnitt helle Lagen	Abschnitt dunkle Lagen	Zyklenanzahl (helle Lagen)	Zyklenanzahl (dunkle Lagen)	Gesamt
V	J	nur 3 untersucht 4	nur 3 untersucht 4	
	I			
IV	H	6	5–6	} 10–11
	G	4	4	
III	F	5	5	} 8
	E	3	3	
II	D	6	5–6	} 11–12
	C	5–6	6	
I	B	7	6	} 10–11
	A	4	4	

Tabelle 2: Verteilung der Zyklen im untersuchten Profilmeter.

Die Zyklen I–V bestehen somit jeweils aus 8–12 Kleinzyklen. Auf diese Tatsache wird später bei der Besprechung der Ursachen der zyklischen Sedimentation eingegangen.

Die in Spalte 6 dargestellte Schichtmächtigkeit für helle und dunkle Lagen zeigt deutliche Zusammenhänge mit der MgO-Kurve. Eine Abnahme der Schichtmächtigkeit bedingt ein nahezu lineares Anwachsen des MgO-Gehaltes.

5. Geochemische Untersuchungen (M. Köhler)

Die Bändertone wurde auf ihren CaO- und MgO-Gehalt hin untersucht. Die Bestimmung erfolgte durch komplexometrische Titration (nach G. SCHWARZENBACH und Mitarb., vgl.: G. MÜLLER, 1964: 185) bzw. mittels Flammenspektrophotometer. Diese Methoden wurden angewandt, um auch geringfügige Änderungen des Karbonatgehaltes feststellen zu können. Die Vorteile der Titration sowie die Berechnungsverfahren

werden bei M. KÖHLER (1973) beschrieben. Dort wird auch auf die von W. SCHUMANN (1969) verwendete Scheibler-Apparatur eingegangen, mit der der Karbonatgehalt der glazigenen Tone des Rosenheimer Beckens untersucht wurde. Insgesamt wurde der Karbonatgehalt an mehr als 50 Proben bestimmt, so daß der untersuchte Profilmeter im Durchschnitt alle 2 cm analysiert wurde. Die Ergebnisse sind auf Taf. 1 in Spalte 3, 4, 5 eingetragen. Der theoretische Gesamtkarbonatgehalt wurde aus den Ca- und Mg-Werten rechnerisch ermittelt unter der Annahme, daß alles MgO nur in Form von stöchiometrischem Dolomit vorliegt und alles CaO nur in Calcit bzw. Dolomit eingebaut ist. Gips und andere Sulfate, Mg-Calcit bzw. Ca-Dolomit und Tonminerale wurden somit nicht berücksichtigt.

Im Kurvenverlauf des theoretischen Gesamtkarbonatgehaltes erkennt man schwach angedeutet 4 Abschnitte, die etwa mit der zyklischen Verteilung der hellen Lagen übereinstimmen. Es entspricht dabei der größten Schichtmächtigkeit jeweils der geringste Karbonatgehalt (vergleiche Labor-Probe 200, 346, 758, 1147). Im höheren Abschnitt des Profils kommt es zu einer leichten Verschiebung zwischen Schichtmaximum und Karbonatminimum.

Der Zusammenhang zwischen Schichtmächtigkeit und Karbonatgehalt wird besonders deutlich beim MgO- und CaO-Gehalt. Die MgO-Verteilung verläuft verkehrt proportional der Schichtmächtigkeitsverteilung der hellen Lagen und bildet ebenfalls 4–5 Abschnitte ab. Ebenfalls eine auffallende Abhängigkeit zeigen die dunklen Lagen vom CaO-Gehalt (ca. 10 Abschnitte).

Die Probenahme für die Bestimmung des Karbonatgehaltes erfolgte schichtweise, wobei streng darauf geachtet wurde, daß es zu keiner Vermischung des Probenmaterials mit benachbarten Bändern kam. Neben diesen Einzelproben, die die Grundlage für die Erstellung der Kurven für CaO und MgO bildeten, wurden auch Summenproben ausgewählt, um zu überprüfen, ob sich Trends auch bei dieser Untersuchungsmethode erkennen lassen. Die Summenproben sind eigens gekennzeichnet, wobei ihre Längserstreckung den Profilschnitt angibt, aus dem sie genommen wurden. Durch die größere Probenmenge kommt es zu einer Homogenisierung, so daß sowohl Maxima als auch Minima des MgO- und CaO-Gehaltes ausgeglichen werden. Trotzdem lassen sich die Trends, die durch die Einzelproben gefunden wurden, auch auf diese Weise bestätigen. Werden geochemische Untersuchungen durchgeführt, um Hinweise auf zyklische Sedimentation zu finden, so empfiehlt es sich, trotz des größeren Zeitaufwandes Einzelproben (schichtgebunden) zu analysieren, weil damit bessere Aussagen getroffen werden können.

Aus diesem Verhalten der Karbonatgehalte war es naheliegend, einen Zusammenhang zwischen ihnen und der Schichtmächtigkeit, also Schüttungsintensität, zu vermuten. Es wurde dabei von folgender Überlegung ausgegangen. Durch seine Nähe, seine niedrigere absolute Höhe und durch die südseitige Exposition des Liefergebietes für den Karbonatanteil (Nördl. Kalkalpen, besonders Bettelwurfgebiet im untersuchten Bereich) scheint dieser Raum nicht so starken Änderungen des Abflusses (Erosion), in Abhängigkeit von klimatischen Schwankungen, ausgesetzt gewesen zu sein als etwa die Zentralalpen, die das

Hauptliefergebiet für den nichtkarbonatischen Anteil darstellen. Daraus könnte mit Einschränkungen die Vermutung geäußert werden, daß die Karbonatsedimentation durch längere Zeit annähernd gleich geblieben sei, d. h., daß im gleichen Zeitraum etwa gleichviel Gew.-% Karbonat zur Sedimentation gelangt sind. Weil sich die Schichtmächtigkeit aber trotzdem ändert, müssen andere Schüttungsfaktoren die \pm gleichbleibende Karbonatsedimentation überlagert haben, wobei nur die starke Schüttung aus den Zentralalpen in Frage kommt. Die theoretische Forderung hat dann zu lauten: Bei einer Schichtmächtigkeit von 1 cm und einem angenommenen Karbonatgehalt von 10% müßte eine 2 cm mächtige Schicht nur mehr 5% Karbonat aufweisen, da in gleicher Zeit doppelt soviel zentralalpines Material zur Ablagerung gekommen ist. Es wurde geprüft, ob sich im Profil Schichtlagen finden lassen, die diese Vermutung bestätigen. Die Schichtmächtigkeiten wurden Taf. 1, Spalte 6 entnommen, da sowohl helle als auch dunkle Lage den Karbonatgehalt beeinflussen müßten.

Lab.-Probe	Schichtmächtigkeit	Karbonatgehalt	Theoretischer Wert
363	14,0 mm	11%	22,0%
200	7,0 mm	20%	
729	15,5 mm	7%	12,0%
694	9,0 mm	13%	
1355	13,0 mm	6%	15,6%
1330	5,0 mm	16%	

Tabelle 3 : Beziehung zwischen Schichtmächtigkeit und Karbonatgehalt.

Für diesen Vergleich mußten benachbarte Proben ausgewählt werden, um großräumige Schwankungen innerhalb des Karbonatgehaltes zu vermeiden. Die Ergebnisse der Tab. 3 haben die Vermutungen zum Teil bestätigt, der Zusammenhang zwischen Schichtmächtigkeit und Karbonatgehalt wurde daraufhin im größeren Umfang geprüft und in den folgenden Abbildungen dargestellt.

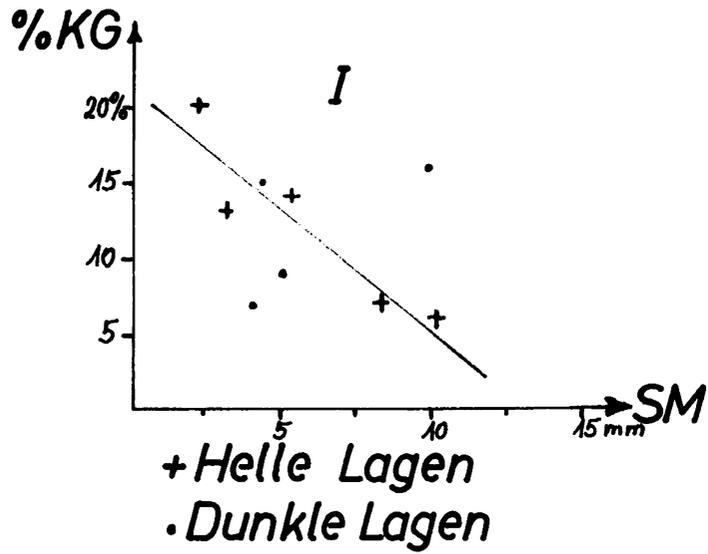


Abb. 1 : Abhängigkeit des Karbonatgehaltes von der Schichtmächtigkeit im Zyklus I.

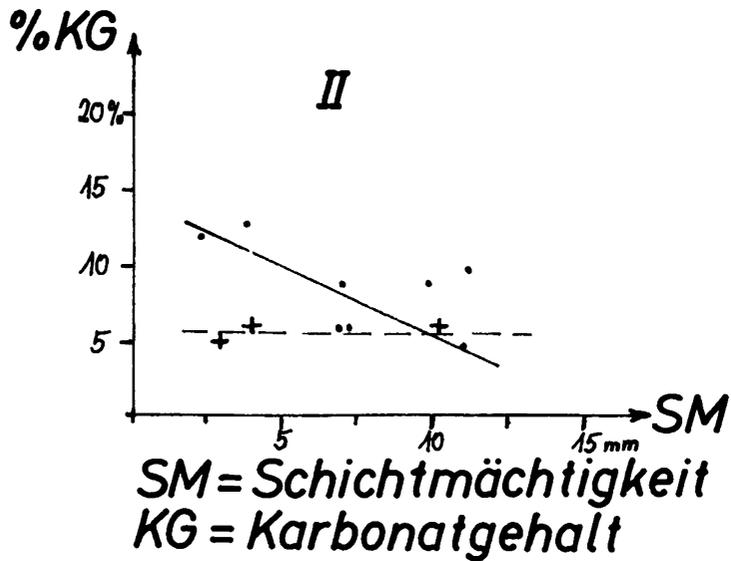


Abb. 2 : Abhängigkeit des Karbonatgehaltes von der Schichtmächtigkeit im Zyklus II.

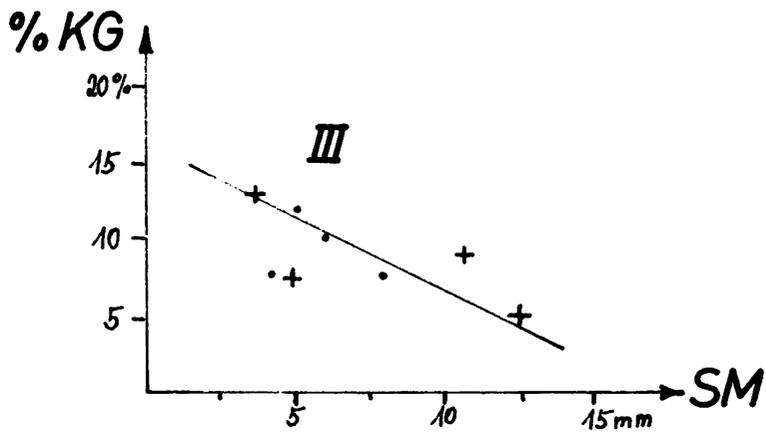


Abb. 3 : Abhängigkeit des Karbonatgehaltes von der Schichtmächtigkeit im Zyklus III.

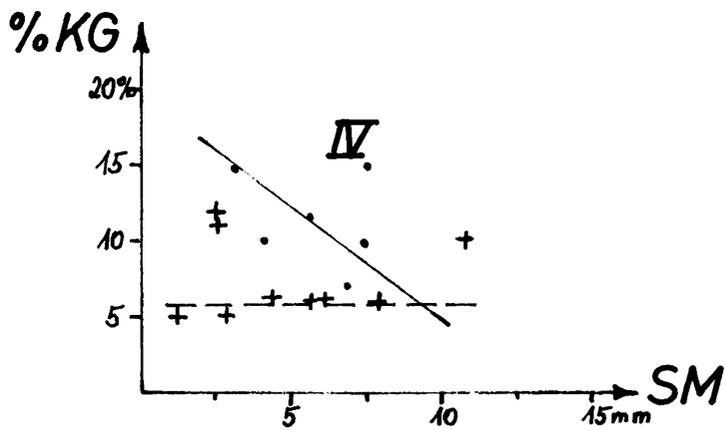


Abb. 4 : Abhängigkeit des Karbonatgehaltes von der Schichtmächtigkeit im Zyklus IV.

Aus diesen Abbildungen scheint teilweise hervorzugehen, daß ein Unterschied zwischen hellen und dunklen Lagen in ihrem geochemischen Verhalten in bezug auf die Schichtmächtigkeit besteht. Vergleiche dazu F. FLIRI (1972, Tab. 3). In allen Zyklen zeigen die dunklen Lagen eine \pm lineare Abhängigkeit von der Schichtmächtigkeit, so daß die oben angeführte Erklärung (Überlagerung der Karbonatsedimentation durch Schüttung aus den Zentralalpen) weiter gestützt wird. Ein anderes Verhalten zeigen die hellen Lagen: Besonders im Zyklus II und IV zeigen sie einen konstanten Karbonatgehalt von 5–7%, der von der Schichtmächtigkeit nicht wesentlich beeinflusst wird. Ein unterschiedliches Verhalten ist in den Zyklen I und III gegeben (Abb. 1 und Abb. 3), in denen sowohl helle als auch dunkle Lagen in Abhängigkeit von der Schichtmächtigkeit stehen. Dieses teilweise verschiedene Verhalten der hellen Lagen scheint dafür zu sprechen, daß bei der Sedimentation der hellen und dunklen Lagen verschiedene Parameter gewirkt haben könnten.

Hinweise auf den Sedimentationsverlauf gibt unter anderem die Darstellung der Bankungsmächtigkeit in Form einer Summenanalyse (Abb. 5). Summenanalysen werden durchgeführt, um Sedimentationslücken, Erosion oder andere Vorgänge zu erkennen, die den Sedimentationsablauf gestört haben. Bei einer gleichbleibenden Sedimentation mit statistischer Verteilung der Schichtmächtigkeiten ergibt sich im Idealfall ein ungestörter Kurvenverlauf, der das Integral der Häufigkeitskurve (Gauß'sche Normalverteilung) darstellt, wobei jeder Wendepunkt einem Maximum der Häufigkeitskurve entspricht.

Für die Erstellung der Summenkurve wurden sämtliche Lagen auf ihre Mächtigkeit hin gemessen und in verschiedenen Klassen notiert. Für die Erstellung der Summenkurve für helle Lagen wurden 122 Schichten ausgewertet, für dunkle 120. Auf der Abszisse sind die Bankungsmächtigkeiten (= Schichtmächtigkeiten) aufgetragen, auf der Ordinate die entsprechende prozentuelle Häufigkeit in logarithmischer Verteilung. In Abb. 5 erkennt man nun wiederum ein unterschiedliches Verhalten von hellen und dunklen Lagen, das sich in verschiedenen Kurvenverläufen ausdrückt. Während die dunklen Lagen der Idealverteilung sehr nahe kommen (einzige Ausnahme der Bereich zwischen 9–10 mm Schichtmächtigkeit), zeigt die Summenkurve der hellen Lagen 4 Bereiche, in denen eine deutliche Abweichung von der statistischen Idealverteilung auftritt. Es sind dies die Schichtmächtigkeiten zwischen 2–3 mm, 6–8 mm, 9–10 mm und 12–13 mm. Übereinstimmung zwischen hellen und dunklen Lagen herrscht somit nur zwischen 9–10 mm, wo in beiden Kurven gehäuft diese Mächtigkeit auftritt.

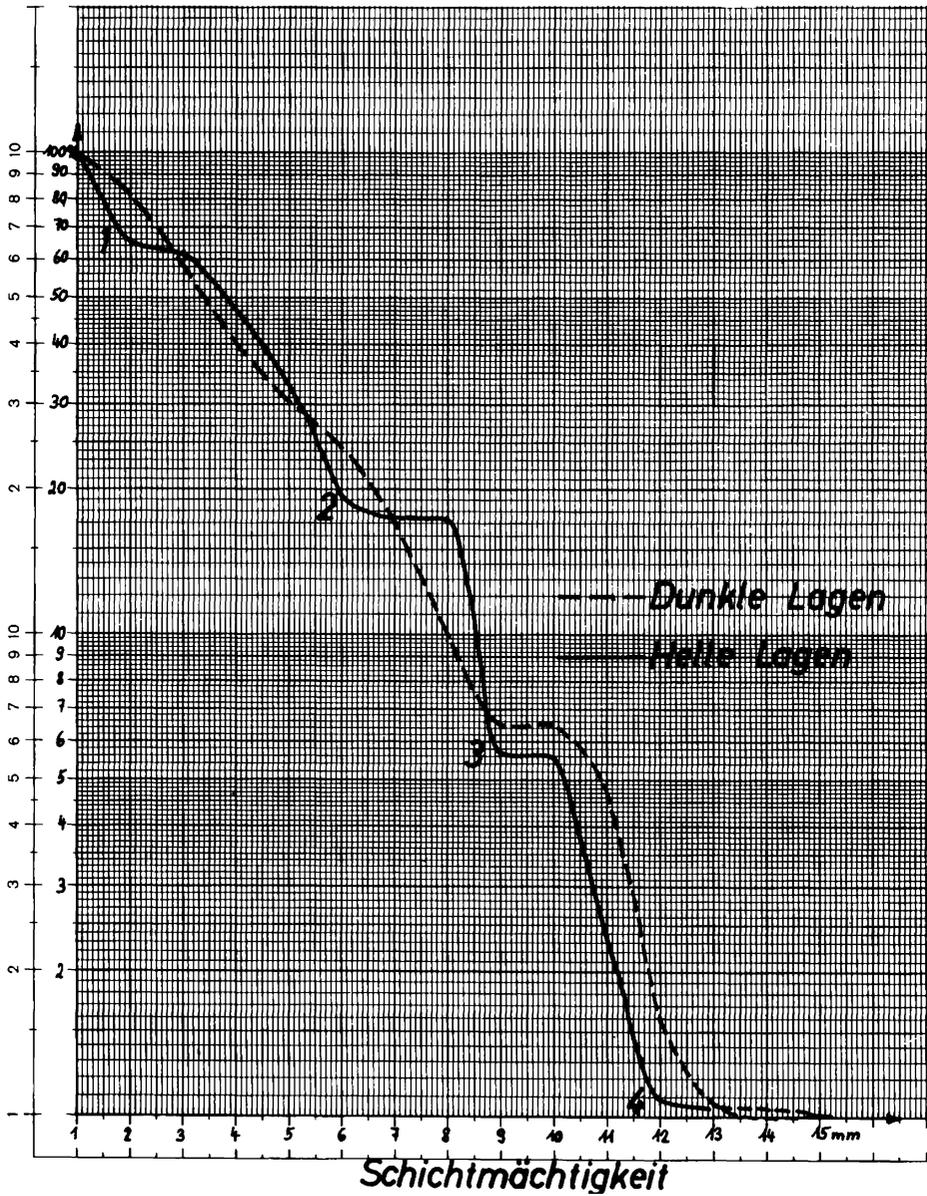


Abb. 5 : Summenanalyse der Schichtmächtigkeiten von dunklen und hellen Lagen.

Der Knick des Kurvenverlaufs an den angegebenen Werten ist ein Hinweis darauf, daß diese Schichtmächtigkeiten häufiger auftreten, als es aufgrund der Statistik zu erwarten wäre. Es müssen daher Faktoren gewirkt haben, die die Bildung von bestimmten Schichtmächtigkeiten begünstigt haben. Die Bereiche, in denen eine prozentuelle Häufung auftritt, können in Tafel 1, Spalte 1 und 2 aufgesucht werden. Man erkennt dabei, daß der Großteil der Zyklen mit ihrer mächtigsten Lage in einen der 4 Bereiche fällt, die in der Summenkurve eine Sonderstellung einnehmen.

Über die Gründe dieser Ausnahmestellung können z. Z. nur Vermutungen angestellt werden. Eine Erklärung muß folgende Tatsachen im Auge behalten:

- 1) Das Auftreten von zyklischer Sedimentation.
- 2) Die häufige Abhängigkeit des Karbonatgehaltes von der Schichtmächtigkeit bei dunklen Lagen.
- 3) Der \pm konstante Karbonatgehalt der hellen Lagen unabhängig von der Schichtmächtigkeit.
- 4) Das abweichende Verhalten der Summenkurve der hellen Lagen.
- 5) Die Übereinstimmung der Summenkurven von hellen und dunklen Lagen im Bereich zwischen 9–10 mm.

Die gleiche Darstellungsweise wie für die Verteilung der Schichtmächtigkeiten wurde bei der Summenhäufigkeit für den CaO- und MgO-Gehalt angewandt. Auch hier wurde versucht, gewisse Unregelmäßigkeiten in der statistischen Verteilung zu finden, um diese für fazielle Fragen auszuwerten. Aus den Abb. 1–4 geht hervor, daß der Karbonatgehalt von der Schichtmächtigkeit abhängig ist. In Abb. 5 erkennt man, daß die Verteilung der Schichtmächtigkeiten nicht statistisch erfolgt, sondern gewisse Schichtmächtigkeiten bevorzugt werden. Aus diesen Zusammenhängen ist daher zu erwarten, daß auch in der Summenkurve für CaO und MgO gewisse Abweichungen auftreten.

Abb. 6 zeigt die Summenkurve für den CaO-Gehalt der untersuchten Proben. In den einzelnen Klassen, die auf der Abszisse aufgetragen sind, wurde die prozentuelle Häufigkeit der Proben mit bestimmtem CaO-Gehalt eingetragen. Aussagen über Ablagerungsmechanismus sind deshalb möglich, da die Proben schichtweise (lagenweise) entnommen und analysiert wurden, der CaO-Wert demzufolge in Abhängigkeit von der Schichtmächtigkeit steht und daher diesbezüglich statistisch ausgewertet werden kann.

In gleicher Weise wurde in Abb. 7 die Summenhäufigkeit bestimmter MgO-Werte dargestellt.

Beide Summenkurven zeigen keine statistische Idealverteilung; auch hier treten Klassenbereiche auf, in denen eine Häufung festzustellen ist. Die Kurven unterscheiden sich aber etwas voneinander. Die CaO-Verteilung ist statistisch ungeordneter als die MgO-Verteilung, in der eine Häufung im Bereich von 1,6–2,0% MgO, und eine Verminderung zwischen 0,6% und 1,0% MgO auftritt. Dieses verschiedene Verhalten wurde näher untersucht.

Aus Taf. 1 geht hervor, daß die MgO-Verteilung der zyklischen Änderung in der Schichtmächtigkeit besonders der hellen Lagen verkehrt proportional ist, während die CaO-Verteilung eher von dunklen Lagen beeinflusst wird. Abb. 5 zeigt das unterschiedliche Verhalten von hellen und dunklen Lagen, so daß es naheliegend ist, daß auch die

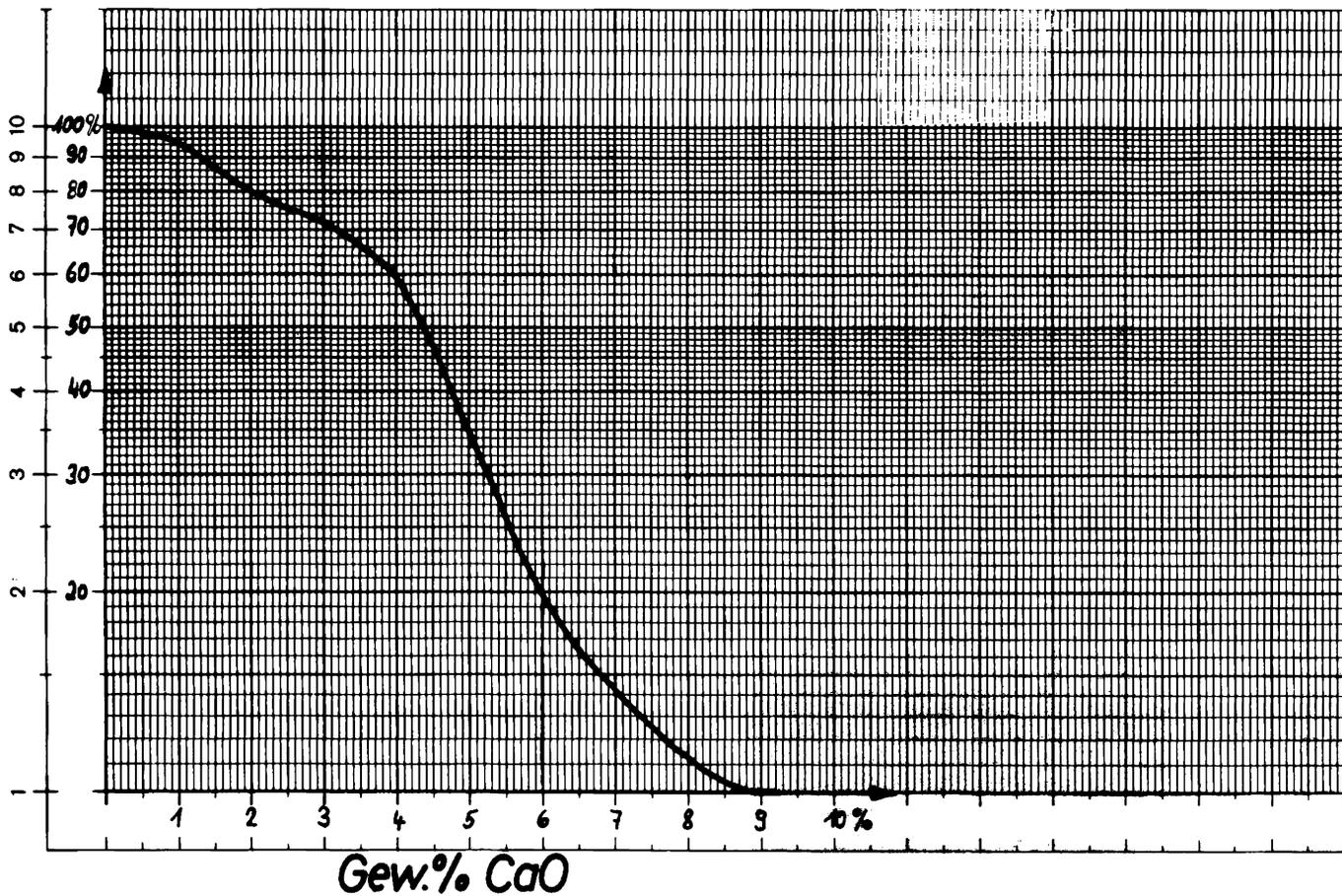


Abb. 6 : Summenanalyse der CaO-Verteilung

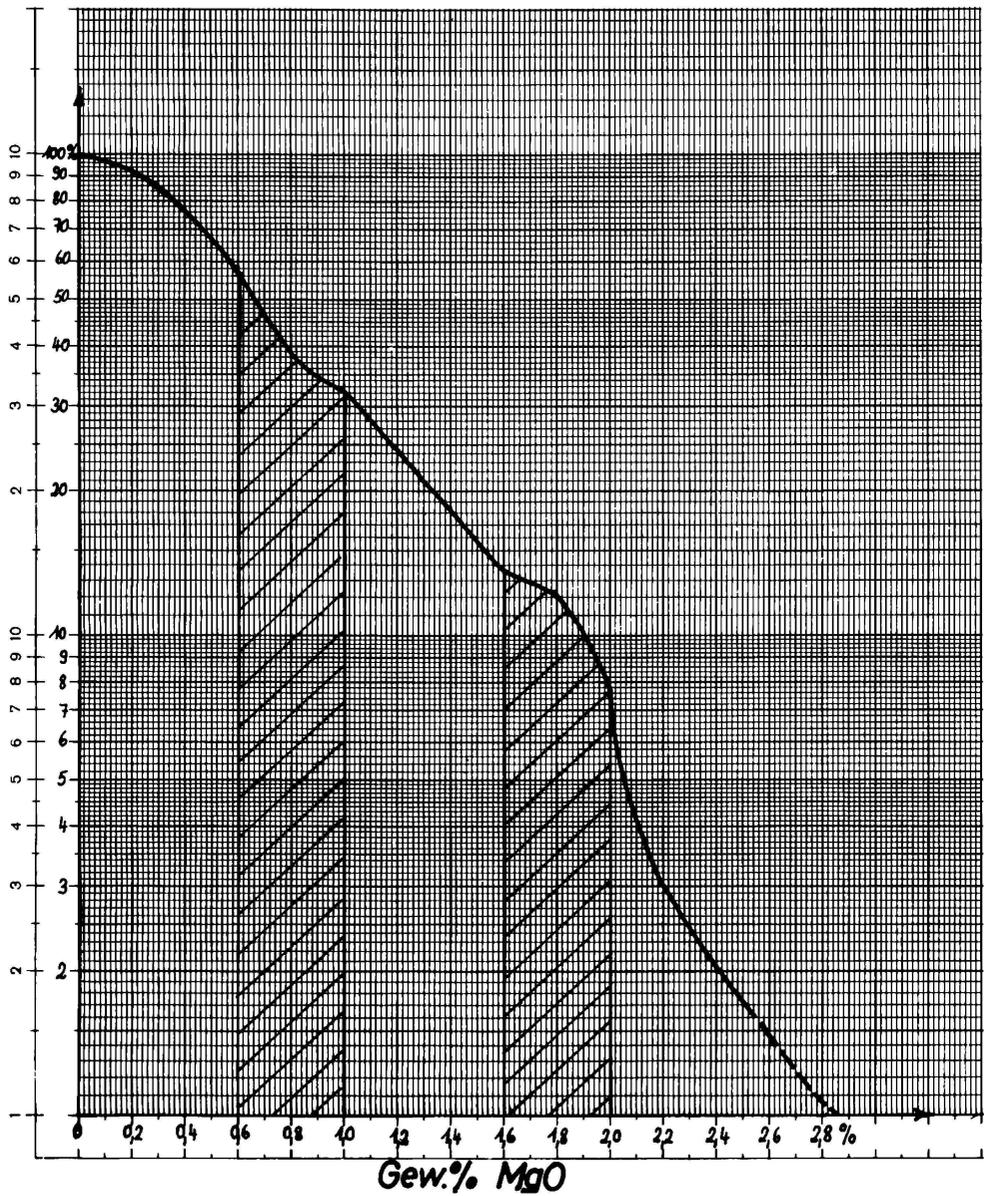


Abb. 7 : Summenanalyse der MgO-Verteilung

MgO-Verteilung größere Abweichungen von der Idealverteilung zeigt, als die CaO-Summenhäufigkeit.

Das Maximum zwischen 1,6 und 2,0% MgO dürfte damit in Zusammenhang mit einem Maximum der Schichtmächtigkeit stehen. Zunächst wurde ermittelt, welchem Gesamtkarbonatgehalt dieser MgO-Wert annähernd entspricht, da es sich zeigte, daß sich MgO und CaO meist ziemlich konform verhalten (Taf. 1, Spalte 3, 4, 5).

MgO-Gehalt	Entsprechender Gesamtkarbonatgehalt in %	
1,6–2,0%	13	
	14,5	
	13,5	
	16	
	8	Mittelwert
	16	11,5%
	8	
	16	
	9,5	

Tabelle 4: Berechnung des durchschnittlichen Gesamtkarbonatgehaltes aus einem MgO-Gehalt von 1,6-2,0%.

Mit dem in Tab. 4 erhaltenen Mittelwert wurde in den Abb. 1–4 die entsprechende Schichtmächtigkeit ermittelt. Sie liegt etwa zwischen 5 und 7 mm und fällt somit in das ausgeprägte Maximum der hellen Lagen in diesem Bereich (Abb. 5).

Die Häufung des MgO-Gehaltes zwischen 1,6 und 2,0% entspricht damit sehr wahrscheinlich dem Maximum der Summenhäufigkeit der hellen Lagen zwischen 6 und 8 mm.

Mineralogische Untersuchungen:

Neben der Bestimmung des CaO- und MgO-Gehaltes wurde auch der in HCl unlösliche Rückstand auf seine mineralogische Zusammensetzung mittels Röntgendiffraktion untersucht. Der Rückstand setzt sich aus überwiegend Muskovit, weniger Biotit, und Chlorit (teilweise in Richtung Leuchtenbergit gehend) zusammen. Weniger häufig ist Feldspat (Albit) und Quarz vertreten. Diese Untersuchungen zeigten, daß sich in der relativen prozentuellen Zusammensetzung heller und dunkler Lagen wenig ändert.

Die hellen Lagen weisen einen etwas höheren Glimmergehalt auf, Chlorit und Quarz dürften spärlicher sein als in dunklen Lagen. Der Feldspatgehalt scheint ziemlich konstant zu sein. Schwierigkeiten bereitet bei dieser relativen quantitativen Bestimmung der verschiedenen Matrixeffekt, der sich mit der Zusammensetzung ändert, sowie der unterschiedliche Karbonatgehalt, der eine Umrechnung des Rückstandes notwendig machen würde.

Die Deutung des Sedimentationsvorganges bzw. -ablaufs muß auf diese Umstände Rücksicht nehmen.

Die Tatsache, daß der Glimmeranteil in den hellen Lagen größer ist, dürfte auf das verschiedene chemisch-physikalische Verhalten der Minerale zurückzuführen sein, das selektiv auf den Transport wirkt.

Die Ursachen zyklischer Sedimentation können sehr mannigfaltig sein; meist wird die Sedimentation nicht nur von einem Faktor beeinflusst, sondern sie stellt das Abbild verschiedener zusammenwirkender Kräfte dar. In Frage kommen für die Bändertone z. B. Jahreszeitenrhythmus, großräumige und langjährige Schüttungsänderungen, Klimaschwankungen und damit verbunden Änderung der Wassertemperatur (z. B. maßgebend für Absetzgeschwindigkeit von tonigem Sediment).

Eine jahreszeitliche Beeinflussung der Sedimentation scheint zunächst in Analogie zu Warventonen sehr naheliegend zu sein. Geht man von der Annahme aus, daß die Zyklen 1–44 durch jahreszeitliche Änderungen entstanden seien, so kann eine altersmäßige Datierung der Bändertone vorgenommen werden. Die durchschnittliche Mächtigkeit dieser Zyklen beträgt 2,27 cm, das entspräche somit bei einer tatsächlich aufgeschlossenen Gesamtmächtigkeit der Bändertone von 60 m einer Bildungszeit von nur 2640 Jahren.

Größenordnungsmäßig fügt sich dieser Wert in die durch radioaktive Altersbestimmung erhaltenen Altersangaben allerdings nicht ein. Dies wäre u. a. dadurch zu erklären, daß die sedimentologische Berechnung des Ablagerungsalters im vorliegenden Fall von der Voraussetzung ausgehen muß, daß die Zyklenmächtigkeit von 2,27 cm, die bisher nur an einem genauer untersuchten Profilmeter bestimmt werden konnte, in allen 60 m annähernd gleich geblieben ist. Bei genauer Betrachtung des untersuchten Meters erkennt man aber, daß bereits in diesem kurzen Abschnitt Änderungen auftreten. Diese Ergebnisse stehen somit im Widerspruch mit dem bei F. FLIRI (1973: 10) errechneten durchschnittlichen Jahresbetrag der Sedimentation von 7 mm bzw. von rund 6 mm (F. FLIRI et al., 1972) für den bisher absolut datierten Profilschnitt.

Eine ganz entscheidende Rolle kommt der klimatischen Beeinflussung der Sedimentation zu. Letzten Endes dürften alle Änderungen der Sedimentationsverhältnisse in den Bändertönen klimatisch bedingt gewesen sein. Die jahreszeitliche Änderung der Sedimentation mit verstärkter bzw. verminderter Schüttung ist nichts anderes als Ausdruck einer rhythmischen Klimaschwankung (Sommer–Winter); langjährige Änderung der Schüttungsintensität hat sehr oft ihre letzte Ursache ebenfalls in Klimaänderungen, die die Erosionsvorgänge beschleunigen oder verlangsamen können.

Damit stellt die Abbildung der Schichtmächtigkeiten in erster Linie eine Klimakurve dar, deren Erklärung weitgehend spekulativ sein muß, da uns rezente Beobachtungen zur Ausbildung eines Bänderungstyps, wie er in Baumkirchen gegeben ist, fehlen dürften. Literaturangaben über rezente Untersuchungen des Sedimentationsmechanismus bei Warventonen finden sich bei W. SCHUMANN (1969: 41,48).

Neben der ausgeprägten klimatischen Beeinflussung der Sedimentation kann aber z. B. durch Auffüllung anderer Seebecken, Veränderung der Morphologie des Einzugsgebietes u. ä. Faktoren die Sedimentation ebenfalls gesteuert werden (freundl. Hinweis von Prof. F. FLIRI).

Die Schwierigkeiten einer Deutung vermindert auch nicht die in Tab. 2 dargestellte Beobachtung, daß sich in den hellen Lagen 5 Abschnitte unterscheiden lassen, die sich jeweils aus 8–12 Zyklen zusammensetzen. Trifft die Vermutung zu, daß die Zyklen Jahre darstellen, so wäre das ein Zeitraum von 8–12 Jahren pro Abschnitt, der sich in den Schichtmächtigkeiten sehr deutlich abbildet und daher auf die Sedimentation von nachhaltiger Wirkung war. Über die Entstehung dieser Sedimentationseinheit können nur Vermutungen angestellt werden, die über den Rang einer Hypothese nicht hinauskommen. Zyklen von 8–12 Jahren sind in der Meteorologie und Astronomie bekannt, ihre Auswirkungen auf sedimentologische Vorgänge aber vermutlich noch zu wenig untersucht.

Beim jetzigen Stand unseres Wissens dürfte es sehr schwierig sein, diese verschiedenen Klimafaktoren in ihrer wahren Bedeutung zu erfassen. Hier können nur Untersuchungen an rezenten Sedimenten weiterhelfen, um die Wechselbeziehungen zwischen Klima und Sedimentation auch für den vorliegenden Fall verstehen zu lernen.

6. Kornverteilung und Schwermineralanalyse (W. Resch)

Dank des Entgegenkommens von Herrn Dipl.-Ing. Dr. H. HUBER sind die Ergebnisse von zwei neuen Kornverteilungsanalysen (Abb. 8) für die Proben 310 (ca. 685 m Höhe) und 317 (ca. 656,5 m Höhe) verfügbar. Obwohl die beiden Kornverteilungskurven unter Verwendung des Materials eines jeweils gut 10 cm mächtigen Profilabschnittes gewonnen wurden, also daraus das Mittel darstellen, weichen sie einigermaßen voneinander ab. Das Studium der Sedimentationszyklen hat aber gezeigt, daß jedenfalls bezüglich der Schichtmächtigkeitsverteilung in gewissen Profilabschnitten erst ab dem Viertelmeterbereich gegeneinander austauschbare Homogenitätsbereiche gegeben sind. Es sind also aus dm-dicken Profilabschnitten gemittelte Daten nicht in allen Fällen repräsentativ für mächtigere Schichtfolgen und auch nicht untereinander ohne Vorbehalte vergleichbar. Das durchschnittlich etwas feinere Korn der im Aufschlußprofil höheren Probe 310 stünde ansonsten der Tatsache eines allmählichen Überganges hangender Teile der Bändertone in Mehlsande (Basis nach F. FLIRI et al. 1970: 9 allerdings erst bei 750 m; zunehmend schluffiger Bänderton nach F. FLIRI 1972, Tab. 1 bei 740 m) jedenfalls entgegen.

Die Kornverteilungskurven zeigen aber als sicher allgemein gültiges Ergebnis, daß das Sediment der Korngröße nach hauptsächlich aus Schluff (auch: „Silt“) besteht. Korngrößenmäßig ist der Sand- und Tonanteil sehr gering. Dieser Tatsache waren sich die meisten Bearbeiter des Inntalquartärs stets irgendwie bewußt (vgl. auch die entsprechenden Diagramme in M. E. ZOEKE 1944). Der Begriff „Bänderton“ (nicht im Sinne von Warventon) für diese Sedimente ist aber schon zu gut eingeführt, um seine Ersetzung durch eine andere Bezeichnung im Rahmen dieser Arbeit zur Diskussion zu stellen.

H. HUBER bemerkte zum Analysenergebnis: „Nach der Klassifikation der Bodenmechanik kann das Material in den Bereich des schluffigen Lehms eingereiht werden. Der Tonanteil liegt zwischen 8 und 15%.“ (Vgl. die Darstellungsmöglichkeit des Kornaufbaues im Dreiecksnetz nach Abb. 386 in E. SCHULTZE & H. MUHS 1967: 349).

Entsprechend E. SCHULTZE & H. MUHS (1967: 350, Abb. 388), A. BENTZ & H. J. MARTINI (1969: 1611, Abb. 39) oder H. FÜCHTBAUER & G. MÜLLER (1970: 133,

Bändertone - Baumkirchen

Probe 310 — Probe 317 — —

Kornverteilung

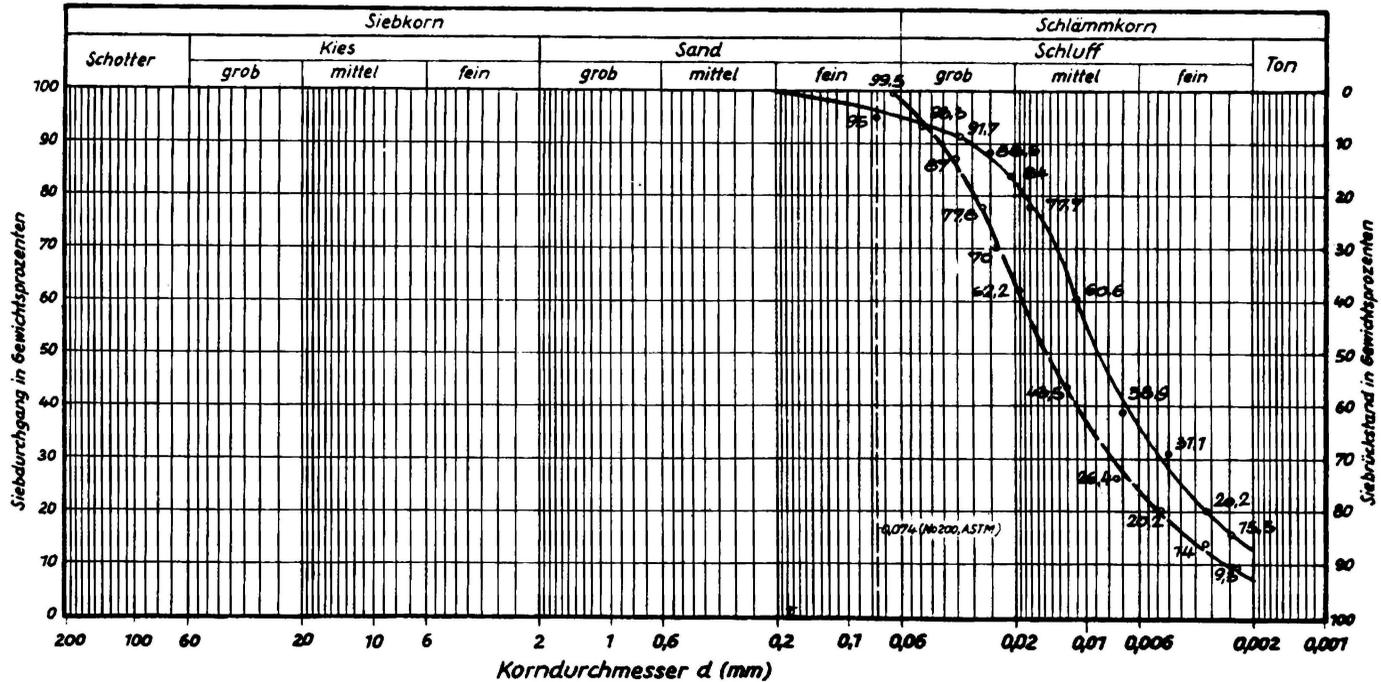


Abb. 8: Kornverteilungskurven zu den Proben 310 und 317 aus der Tongrube Baumkirchen.

Abb. 2/4) könnte auch von einem (schwach) tonig-feinsandigen Schluff gesprochen werden.

Für allfällige Vergleichszwecke sei als Beispiel einer Kornverteilungskurve (getrennt nach hellen und dunklen Bändern) von typischen glazialen Bändertonen auf A. B. SIMON (1970: 19–20 und Abb. 3 – laut Zitat übernommen aus L. F. COOLING 1959) hingewiesen.

Über den Sandanteil (in Gewichtsprozent) einiger weiterer Proben informiert auch Tab. 5. Die entsprechenden Werte sind bei der Untersuchung der Proben auf Mikrofossilien hin angefallen.

Probe-Nr.	Probenmenge (in g)		Nat. Wassergehalt (Gew.-%)	Sandgehalt (% vom Trockengew.)
	bergfeucht	trocken		
104	3000	2460,6	21,92	0,91
105		1500		1,67
302	3179,7	2713,7	17,17	1,15
303	1424,5	1206,5	18,07	1,53

Tabelle 5: Einige physikalische Daten zu in erster Linie mikropaläontologisch untersuchten Proben aus der Tongrube Baumkirchen.

Die Sandfraktionen aller in Tab. 5 angeführten Proben bestehen hauptsächlich aus aufgearbeitetem Kristallin; Körner aus Karbonatgestein treten demgegenüber zurück. In der Korngrößenklasse 0,315–2 mm ϕ überwiegen Gesteinsbruchstücke (meist gut gerundet), zwischen 0,1 und 0,315 mm ϕ überwiegen Mineralkörner und unter 0,1 mm ϕ beobachtet man überhaupt fast nur noch Einzelminerale (vorwiegend Schüppchen von Hellglimmer, dann Chlorit, Biotit, Quarz und wenig andere Minerale). Die bei W. RESCH (1972: 218–219) gemachten Angaben über die qualitative Zusammensetzung der Sandfraktion von Probe 104 und 105 gelten weitgehend auch für die diesbezüglich untersuchten Proben 23 A, 23 B, 302 und 303.

Probe 302 erfaßte einen markanten Geröllhorizont 1,57 m über der Schichtfolge mit den durch subaquatische Rutschung entstandenen Faltenstrukturen. Aus der in erster Linie für die mikropaläontologische Untersuchung aufgesammelten Probe wurden 118,67 g Kiesanteil (ausnahmslos kaum kantengerundeter Wettersteinkalk-Schutt; leicht dolomitische Komponenten mit LF-Gefüge) erhalten. Bei einer erfaßten Schichtfläche von ca. 324 cm² würde dies 3,66 kg Kies auf 1 m² entsprechen. Dieser Wert paßt größenordnungsmäßig jedenfalls sehr gut zu den an sich verlässlicheren, weil aus viel größeren Ausgangsflächen gemittelten Werten bei F. MAYR (1968: 270) aus einem allerdings höher im Profil gelegenen Geröllhorizont (vermutlich ident mit der von

W. HEISSEL 1954: 296–297 erwähnten Geröllage). Für eine morphometrische Geröllanalyse ist die Menge an ausgeschlammtem Kies noch zu klein. F. FLIRI hielt nach Begutachtung der Probe deren Herkunft aus Wildbachschutt aber für durchaus möglich (vgl. auch F. FLIRI 1971: 16–17).

Trotz der Kiesführung von Probe 302 ist deren Sandgehalt nicht erhöht und in der Sandfraktion auch kein höherer Karbonatanteil vorhanden. Die Kiesschüttung wird also durch ein (seltener wiederkehrendes) Ereignis verursacht, das mit der Heranlieferung des vorwiegend schluffigen Bändertonmaterials selbst gar nichts zu tun hat. Der Sand- und der Schluffanteil des Bändertons stammen dagegen aus den gleichen Liefergebieten und verdanken ihren Herantransport prinzipiell dem gleichen, nur in der Intensität schwankenden Vorgang (zeitlich oft wechselndes Transportationsvermögen des Wassers).

Frau Dr. G. WOLETZ verdanken wir die schwermineralanalytische Untersuchung von 6 Proben, die im Zusammenhang mit mikropaläontologischen Untersuchungen in Innsbruck (W. RESCH) geschlammmt wurden. Wir geben den Bericht (briefl. Mitteilung vom 25. 7. 73) von G. WOLETZ im folgenden im Originalwortlaut wieder: „Die geschlammten Proben vom interstadialen Bänderton von Baumkirchen, Inntal, enthalten in der schweren Fraktion in der Hauptsache Chlorit und Glimmerminerale, daneben auch wenig Karbonat. Diese Gruppe von Schwermineralen, die für die Herkunftsbestimmung nicht viel Aussagewert hat, stelle ich den ‚übrigen durchsichtigen Mineralen‘ in der Tabelle gegenüber.

Nur in den Proben 303 und 105 konnten so viel ‚übrige durchsichtige Minerale‘ gezählt werden, daß ich die Prozentzahlen in die Tabelle eintragen konnte. In allen anderen Proben wird die Anwesenheit weniger Exemplare mit + verzeichnet.

Probe Nr.	Analysen Nr.	zus. 100%			„Übrige durchsichtige Min. = dM; zus. 100%“												
		op	BC	dM	Gr	Ru	Tu	Ap	Br	Ti	Ep	Zo	St	Di	Cd	Ho	
303	6092	10	79	11	26	1	3	4	1	2	6	3	11		4	39	
302	6093	11	88	1	+			+									
105	6094	11	83	6	30			10		8	20	1	3	1		27	
104	6095	4	94	2	+			+		+	+						
23 A	6096	9	90	1	+		+	+		+	+					+	
23 B	6097	+	99	+			+	+									
Korngrößengruppe 0,063–0,036 mm:																	
23 B	6098	+	99	+	+		+			+	+					+	+

Tabelle 6: Ergebnisse der Schwermineralanalysen von 6 Proben aus der Tongrube Baumkirchen.

Von allen Proben ist die Kornfraktion 0,1–0,063 mm verwendet worden. (Von Probe 23 B lag außerdem noch die feinere Fraktion 0,063–0,036 mm vor; hier war aber die Ausbeute an „übrigen durchsichtigen Schwermineralen“ volumsmäßig noch wesentlich kleiner!)

Erläuterung der Abkürzungen zu Tabelle 6:

op	opake Minerale	}	zusammen 100%
BC	Chlorit und Glimmer; Karbonat		
dM	übrige durchsichtige Schwerminerale		

Gr	Granat	}	= dM; zusammen 100%
Ru	Rutil		
Tu	Turmalin		
Ap	Apatit		
Br	Brookit		
Ti	Titanit		
Ep	Epidot		
Zo	Zoisit		
St	Staurolith		
Di	Disthen		
Cd	Chloritoid		
Ho	Hornblende (blaugrün)		

Alle die hier vorkommenden Minerale weisen auf ein Einzugsgebiet aus kristallinen Schiefen hin.

Bemerkenswert ist z. B. das vollkommene Fehlen von Zirkon.

Die Abtrennung erfolgte mit Azetylentetrabromid, spez. Gew. 2,8; Chlorit und Glimmer sind gerade an der Grenze, kommen nicht quantitativ in die schwere Fraktion, und von den Karbonaten nur die schwereren.“

Soweit eine kurze Diskussion dieser Untersuchungsergebnisse nötig ist, wird auch die Arbeit von Frau M. E. ZOEKE (1944: 12–15) zum Vergleich herangezogen.

M. E. ZOEKE hat von einer einzigen, nicht genauer lokalisierten Probe (unter Kontrolle durch eine horizontal weiter entfernt aufgesammelte „Gegenprobe“) aus der Tongrube von Baumkirchen („Fritzens“) die Kornfraktion 0,01–0,0316 mm ϕ und 0,0316–0,1 mm ϕ schwermineralanalytisch untersucht. Auf die generellen Untersuchungsergebnisse und Schlußfolgerungen ZOEKEs soll allein aus dem Blickwinkel der Arbeiten in Baumkirchen hier nicht eingegangen werden. Eine kurze referierende Bemerkung zu der leider nicht publizierten Arbeit von M. E. ZOEKE findet sich in F. FLIRI et al. (1970: 11).

Der von G. WOLETZ hervorgehobene hohe Gehalt der schweren Fraktion an Chlorit und Glimmermineralen konnte von mir auch in der Kornfraktion 0,1–0,315 mm ϕ allgemein konstatiert werden. Der Gehalt an diesen Phyllosilikaten liegt in den untersuchten Proben in den Fraktionen 0,315–0,063 mm ϕ bei über 80 Kornzahl-%; vgl. diesbezüglich auch die Ergebnisse von M. KÖHLER S. 199 dieser Arbeit, die bei der

Untersuchung von Probe 301 gewonnen wurden. Außerdem sei hier erwähnt, daß Glimmer und Chlorit auch in den schon viel besser untersuchten, über den Bändertonen des Inntalquartärs allenthalben folgenden Mehlsanden zu den wichtigsten Komponenten gehören (J. LADURNER 1954: Tab. 4 und 1956: Tab. 3). Eine geringere Bedeutung haben die Phyllosilikate nach J. MANGELSDORF (1971: 408) mengenmäßig in den Sandlagen innerhalb der Terrassenschotter und auch in den rezenten Innsedimenten.

Die an Schwermineralen reichsten Proben 105 und 303 ergaben ein verhältnismäßig ähnliches Schwermineralspektrum, was sich daraus erklärt, daß beide Proben zwar von horizontal weiter auseinanderliegenden Stellen, aber aus genau der gleichen Lage des Bändertonprofils stammen (vgl. Kapitel 3). Zur Armut der Proben 302 (aus Niveau mit Geröllhorizont) und 104 an Schwermineralen sei auf Tab. 5 hingewiesen, aus der ersichtlich ist, daß es sich um die Ausbeute aus gewichtsmäßig relativ großen, restlos geschlammten Proben handelt.

Die Probe 23 B bestand aus zwei ausgesuchten dunklen, in bergfeuchtem Zustand schwach rötlich getönten, feinkörnigen Lagen (6 mm und 1,6 mm dick), die aus dem Rest der Probe (= 23 A; knapp 10 cm mächtig) ansonsten normalen Bändertons sorgfältig herauspräpariert wurden. Von Probe 23B wurde auch die Korngröße 0,063 bis 0,036 mm ϕ gewonnen, weil bei nur 64,1 g (Trockengewicht) Ausgangsmaterial der Rückstand der Fraktion 0,1–0,063 mm ϕ relativ gering war. Das Schwermineralspektrum zeigt zwischen 23 A und 23 B keinen signifikanten Unterschied.

Auf eine Herkunft des Materials aus einem vorwiegend von kristallinen Schiefen aufgebauten Gebiet weisen auch die Gesteinsbruchstücke der gröberen Sandfraktionen hin (vgl. W. RESCH 1972: Beschreibung zu Probe 104 und 105). Bei Berücksichtigung des hohen Glimmer- und Chloritgehaltes waren eventuell die Quarzphyllitzone, Grauwackenzone (Wildschönauer Schiefer) und Tauernschieferhülle (Kalkphyllite) wesentliche Liefergebiete für das die Bändertone zusammensetzende Material.

Der nicht unbedeutende Gehalt an Staurolith spricht m. E. eventuell auch für eine teilweise Herkunft von Material aus einem Altkristallin-Gebiet (Stubai-Öztaler Alpen), da der Staurolith im nach Norden abdachenden Bereich der Tuxer-Zillertaler Alpen nur untergeordnet auftritt. Es ist außerdem nicht geklärt, wie weit Material bis zu seiner Sedimentation im Bändertonsee eventuell wiederholt umgelagert, d. h. zuletzt aus älteren quartären Sedimenten ausgeschwemmt wurde.

Der Zirkon, der in unseren Proben nach den Befunden von G. WOLETZ vollkommen fehlt, konnte von M. E. ZOEKE im Bänderton von Baumkirchen in sogar nicht unbedeutlicher Menge (16% in der gröberen, 22% in der feineren Fraktion) gefunden werden. Für Granat und Hornblende gibt ZOEKE dagegen wesentlich niedrigere Prozentzahlen an. Die neuen Schwermineralanalysen zeigen gerade im Vergleich mit den Ergebnissen ZOEKES, die die einzelnen Mineralien in ihrer Arbeit teilweise auch kurz beschreibt (Farbe, Form, Rundung usw.), daß schwermineralanalytisch am Bänderton von Baumkirchen noch einige Arbeit zu leisten wäre.

Die bisher schwermineralanalytisch untersuchten Proben stammen alle aus einem engen Profilibereich zwischen ca. 654 und knapp 657 m Höhe. Ob Änderungen der Schwermineralspektren innerhalb der 60 m mächtigen Schichtfolge der Tongrube auftreten, ist noch nicht untersucht.

Grundsätzlich wäre aber überhaupt noch zu klären, wieweit die mineralogische Zusammensetzung der untersuchten Bändertone, insbesondere deren Glimmerreichtum, wirklich nur eine Frage der Verfügbarkeit oder auch wesentlich eine Frage des Transportmechanismus war. Bei einem mehr suspensionsartigen Transport als Gletscher- oder Flußtrübe werden die blättchenförmigen Schichtsilikate, also auch Glimmer und Chlorit, leichter transportiert und vor allem weiter in ein mehr oder weniger stehendes Gewässer hinein verfrachtet, als die bevorzugt rollend transportierten detritischen Körner von Quarz, Feldspat, vielen Schwermineralen usw. annähernd gleichen Korndurchmessers (vgl. H. FÜCHTBAUER & G. MÜLLER 1970: 131). Die genauere Herkunft des die Bändertone aufbauenden Materials kann bei der zumindest heutigen, ziemlich starken klimatischen Differenzierung des Inn-Einzugsgebietes auch für die Beantwortung paläoklimatologischer Fragestellungen einmal von Interesse sein.

7. Bodenmechanische Kennwerte (W. Resch)

A. Natürlicher Wassergehalt, Spez. Gewicht, Feucht- und Trockenraumgewicht, Porenvolumen, Wassersättigung

Die hierher gehörenden Kennwerte sind in Tab. 7 zusammengestellt und getrennt für die beiden Bearbeiter, denen wir sie verdanken, jeweils nach der Höhenlage im Profil gereiht; zu den Höhenangaben selbst vgl. Kapitel 3 dieser Arbeit. Die je 2 Proben aus ca. 685 m (310 und 311) und ca. 665 m (305 und 306) müssen nicht genau die gleichen Schichtlagen umfaßt haben; daraus erklären sich teilweise auch sicher die Abweichungen der betreffenden Kennwerte.

Obwohl bei der Probenentnahme und bei der Volumsbestimmung der Proben (von deren methodischer Exaktheit eine Reihe anderer Werte abhängt) von den beiden Bearbeitern verschieden vorgegangen wurde, war nicht an eine gegenseitige Kontrolle gedacht; es war primär gar nicht eine Ermittlung grundsätzlich gleicher Kennwerte vorgesehen. Zur Probe 318 bemerkte D. BILEWICZ, daß wegen der leichten Aufspaltung nach der sehr ausgeprägten Schichtung das Volumen und damit die daraus abzuleitenden Kennwerte nicht bestimmt werden konnten.

Die Proben wurden möglichst ungestört entnommen. Für die Untersuchungen durch H. HUBER wurden seinen Angaben entsprechend größere Proben aus dem Bänderton herausgeschnitten und gleich in Kunststoffsäcke verpackt. D. BILEWICZ hat die von ihm untersuchten Proben mittels Stechzylindern (ϕ 10 cm, Höhe 12 cm), in denen sie für den Transport nach Möglichkeit belassen wurden, selbst entnommen.

Das Volumen der Proben wurde von H. HUBER durch Wägen an der Luft und anschließendes Wägen der noch bergfeuchten Probe unter Schweröl bekannter Dichte ermittelt. D. BILEWICZ hat die Proben nach dem Wägen an der Luft und vor dem Eintauchen und Wägen unter Wasser mit einer dünnen Paraffinhaut (bekanntes Volumens und spez. Gewichts) überzogen. Die Methoden, nach denen die Proben entnommen und bei der Untersuchung behandelt wurden, werden hier angegeben, weil ein gewisser Einfluß auf die erhaltenen Kennwerte nicht ausgeschlossen werden kann.

Zur weiteren Information über diese für die Bodenuntersuchung entwickelten Arbeitsmethoden wird auf die einschlägige Literatur verwiesen (z. B. A. BENTZ & H. J. MARTINI 1968: 1157 und E. SCHULTZE & H. MUHS 1967: 367); dieser Hinweis gilt auch für die Definitionen der im folgenden gegebenen Kennwerte und die Methoden, wie diese ermittelt werden können.

Probe Nr.	Höhe m	Datum	Bearbeiter	Nat. Wassergehalt (Gew.-%)	Spez. Gewicht (g/cm ³)	Feucht-Raumgewicht (g/cm ³)	Trocken-Raumgewicht (g/cm ³)	Porenvolumen %	Sättigungsgrad %	Nat. Wassergehalt (Vol.-%)
310	ca.685	10.5.73	Huber (2)	27	2,81	2,00	1,57	43,8	96	
305	ca.665	3.5.73	Huber (1)	24	2,81	1,97	1,59	43,3	89	
317	656,47	10.5.73	Huber (3)	17	2,82	1,94	1,65	41,5	68	
311	ca.685	10.5.73	Bilewicz (5)	27 26	2,81	1,75 1,82	1,45 1,48	46 46	85 81	39 38
306	ca.665	10.5.73	Bilewicz (1)	25 26	2,86	1,86 1,85	1,49 1,47	44 45	84 83	37 37
318	656,28	10.5.73	Bilewicz (11)	18 17	2,82	–	–	–	–	–
315	654,95	10.5.73	Bilewicz (9)	22	2,81	1,88	1,54	43	78	33

Tabelle 7: Einige bodenmechanisch-physikalische Kennwerte zu 7 Bändertonproben aus der Tongrube Baumkirchen.

Beide Bearbeiter weisen auf das relativ hohe spez. Gewicht ($2,81-2,82 \text{ g/cm}^3$) der Proben hin, das sich nach H. HUBER aus dem hohen Glimmergehalt (spez. Gew. von Muskovit = $2,78-2,88$) erklärt. Für den Feinsandanteil der Proben wurde in Kapitel 6 schon auf den hohen Glimmergehalt hingewiesen; die über das Liefergebiet des Bändertons in Kapitel 6 angestellten Überlegungen gelten demnach auch für den Schluffanteil dieses Sediments. D. BILEWICZ bemerkte außerdem: „Ein Vergleich der spezifischen Gewichte der Probe 315 (keine sichtbare Struktur) und Probe 318 (ausgeprägter Bändertons mit Mehlsandschichten) zeigt, daß es sich um Material gleichen mineralogischen Aufbaues handeln kann.“

Ob die generellen, wenn auch nur sehr geringen Unterschiede zwischen den von den beiden Bearbeitern ermittelten Raumgewichten (Feucht- und Trockenraumgewicht) sowie in den Kennwerten für Porenvolumen und Wassersättigung eventuell nur mit der jeweils angewandten Methode der Volumsbestimmung zusammenhängen, können wir nicht entscheiden. Bei beiden Bearbeitern fallen aber die Proben aus dem Profilbereich um ca. 655 m Höhe (Probe Nr. 315, 317) durch vor allem deutlich geringere Wassersättigung (Sättigungsgrad = %-Anteil der wassergefüllten Poren vom Porenvolumen) auf. Diese Proben wirkten aber schon im Gelände relativ trocken, was mit ihrer Position im Aufschluß (senkrechte, südexponierte Abbauwand) zusammenhängt; vergleiche diesbezüglich auch die Werte für den natürlichen Wassergehalt der Proben 302 und 303 in Tab. 5.

Bezüglich des Porenvolumens (= Porenanteil in % des Gesamtvolumens) der untersuchten Proben ist eine (nicht lineare) Abnahme nach tieferen Profilabschnitten hin feststellbar, was sich aus der heutigen Lagerungs- und Aufschlußsituation allein erklären läßt. Im übrigen ist das zwischen 41,5% und 46% liegende Porenvolumen als für ein derartiges Sediment durchaus normal zu bezeichnen (vgl. A. BENTZ & H. J. MARTINI 1969: 1384). Schwankungen in gewissen Grenzen können sehr verschiedene Ursachen haben.

B. Druckfestigkeit bei unbehinderter Seitendehnung Kohäsion, Reibungswinkel

Dieser verhältnismäßig einfach vorzunehmende einaxiale Druckversuch (auch „Zylinderdruckversuch“) ergab senkrecht auf die Bänderung nach H. HUBER für die Proben 305 (ca. 665 m Höhe) und 310 (ca. 685 m Höhe) eine Druckfestigkeit (= Belastung bei Bruch des Probezylinders) von $3,2-4,6 \text{ kp/cm}^2$ bei Setzungen von 8–11% (von der Zylinderhöhe vor der Belastung).

„Die Kennwerte für die Scherfestigkeit (Kohäsion und Reibung) wurden an 4 nicht entwässerten direkten Scherversuchen mit Proben aus allen 3 Bereichen bei Normaldrücken zwischen $0,5$ und $3,0 \text{ kp/cm}^2$ mit $c = 0,34 \text{ kp/cm}^2$ und einem Reibungswinkel φ von 19° ermittelt.“ (Briefl. Mitteilung von Ing. Dr. H. HUBER vom Juli 1973.)

Die Ergebnisse der von D. BILEWICZ an 4 Proben vorgenommenen Druckversuche sind auf Abb. 9 wiedergegeben. Die Druckfestigkeit für die Proben 307, 308 und 312 liegt zwischen $3,3$ und $4,6 \text{ kp/cm}^2$; die jeweilige Setzung kann an der Ordinate des Diagrammes abgelesen werden. Die Werte stimmen völlig mit den von H. HUBER ermittelten überein.

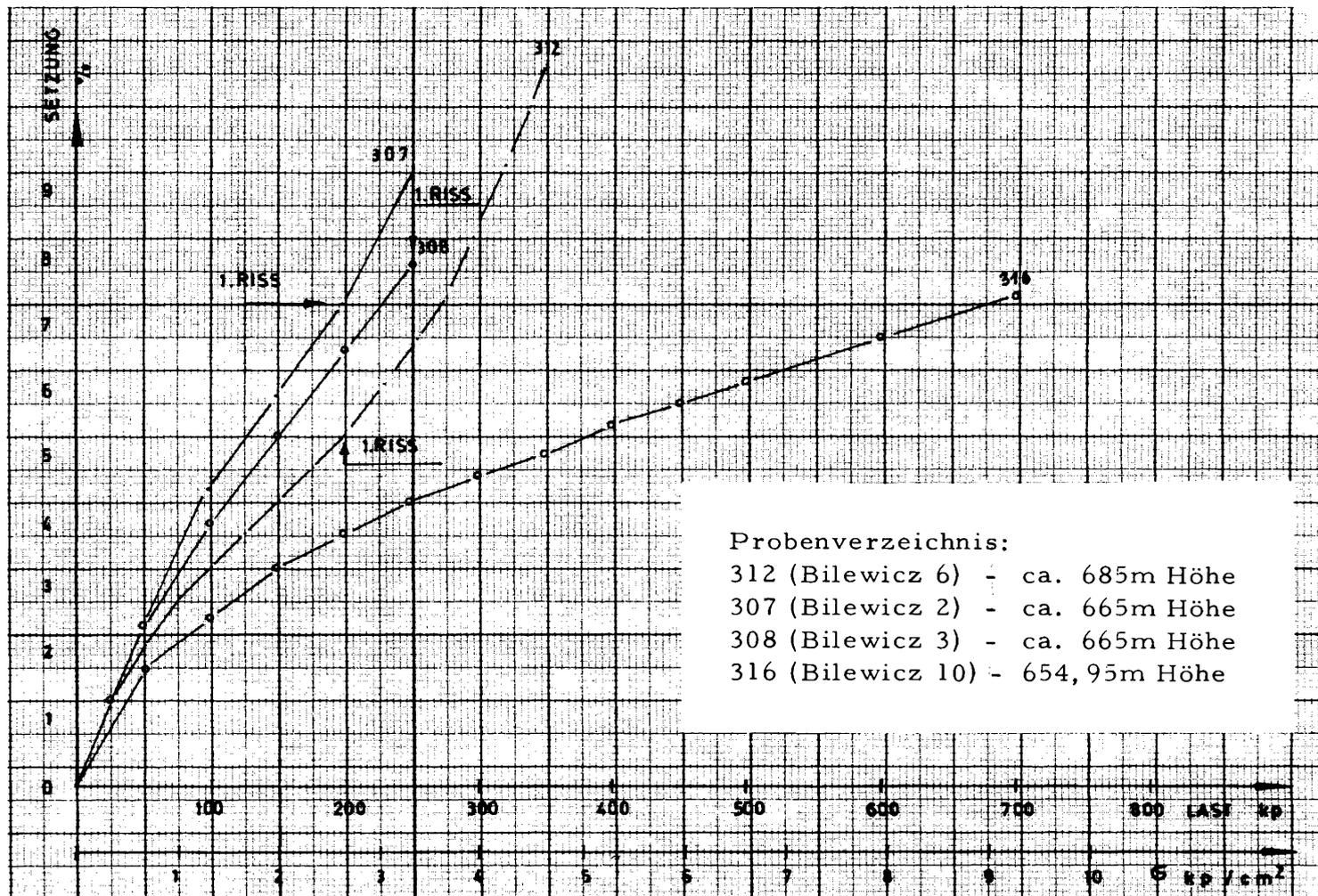


Abb. 9: Ergebnisse der Druckversuche bei unbehinderter Seitendehnung 4 Bändertonproben aus der Tongrube Baumkirchen.

Zur Probe 316 bemerkte D. BILEWICZ (briefl. Mitteilung vom 28. 6. 1973): „Die aus der ‚Rutschfaltung‘ stammende Probe 316 zeigt deutlich ein anderes Verhalten als die übrigen untersuchten Proben (307, 308, 312). Ihre Steifigkeit liegt wesentlich höher, interessanterweise bei größerer Plastizität (Verformbarkeit). Ein typischer Schubbruch wie bei den anderen Proben trat nicht ein, ebenso keine so ausgeprägte tonnenförmige Deformation; der Versuch mußte nach einer übergroßen Seitendehnung abgebrochen werden. Diese Gegebenheiten lassen auf ein gänzlich anderes bodenmechanisches Verhalten dieser Probe Nr. 316 gegenüber den anderen Proben schließen. Leider war der sicherlich interessante Vergleich mit Nr. 318 (aus 656,28 m Profilhöhe) infolge der schlechten Bearbeitbarkeit dieser Probe nicht möglich.“ (Vgl. die Bemerkungen zu dieser Probe S. 207.)

Die verhältnismäßig intensive Verfallung der Probe 316 bewirkte gegenüber den ungestört horizontal gebänderten Proben eine Art Homogenisierung des Gefüges, also Verknüpfung, mit Erhöhung der Plastizität. Eventuell war zusätzlich auch der Tongehalt der Probe 316 etwas höher.

C. Druckversuch bei behinderter Seitendehnung

Die Durchführung des Druckversuches bei behinderter Seitendehnung (auch „Ödometerversuch“) ist zeitlich ziemlich aufwendig. Es konnte dieser Untersuchung daher bisher nur eine Probe in 2 Versuchen unterzogen werden (Probe Nr. 309 = Bilewicz 4; aus ca. 665 m Profilhöhe). Das Ergebnis der beiden Versuche ist im Diagramm von Abb. 10 wiedergegeben.

Von den bodenmechanischen Versuchen, deren Vornahme wesentlich auch den bei Diskussion mit Univ.-Prof. Dr. F. FLIRI empfangenen Anregungen entsprang, wäre der Ödometerversuch einer der wichtigsten gewesen. D. BILEWICZ bemerkte zum Versuchsergebnis:

„Der Zweck des Versuches, eine glaziale Vorlast zu bestimmen, wie es aus Ödometerversuchen möglich ist (E. SCHULTZE & H. MUHS 1967: 466), konnte aus der Auftragung nicht erreicht werden. Dafür könnten folgende Ursachen maßgebend sein:

- 1) Keine Vorlast, oder Wasser als Auflast.
- 2) Die Schicht unter der vermuteten Eislast war selbst gefroren (gemeint ist der Horizont, aus dem die Probe stammt).“

In gesprächsweisen Überlegungen mit Herrn Prof. FLIRI kamen wir bei Berücksichtigung aller relativ gesicherten geologischen Daten (Mächtigkeit der Terrassensedimente insgesamt, Höhe des Inntalgletschers im Hauptwürm¹) auf eine theoretische Vorbelastung der Bändertone im beprobten Niveau von jedenfalls $> 100 \text{ kg/cm}^2$ (maximal evtl. 154 kg/cm^2 !). Wenn sich nichts davon im untersuchten Sediment bis heute abgebildet hat, könnte einer der von D. BILEWICZ erwähnten Gründe maßgeblich sein.

¹) F. FLIRI (1973: 3 und 12) stellt allerdings auch die Möglichkeit einer Zugehörigkeit der auf den Terrassensedimenten liegenden Moränen zu einem Bühlstadium, für das eine jedenfalls geringere Mächtigkeit der Eisdicke als für das Hauptwürm anzusetzen wäre, als zumindest diskussionswürdig hin.

ÖDOMETERVERSUCH PROBE NR. 309 (Bilewicz 4)

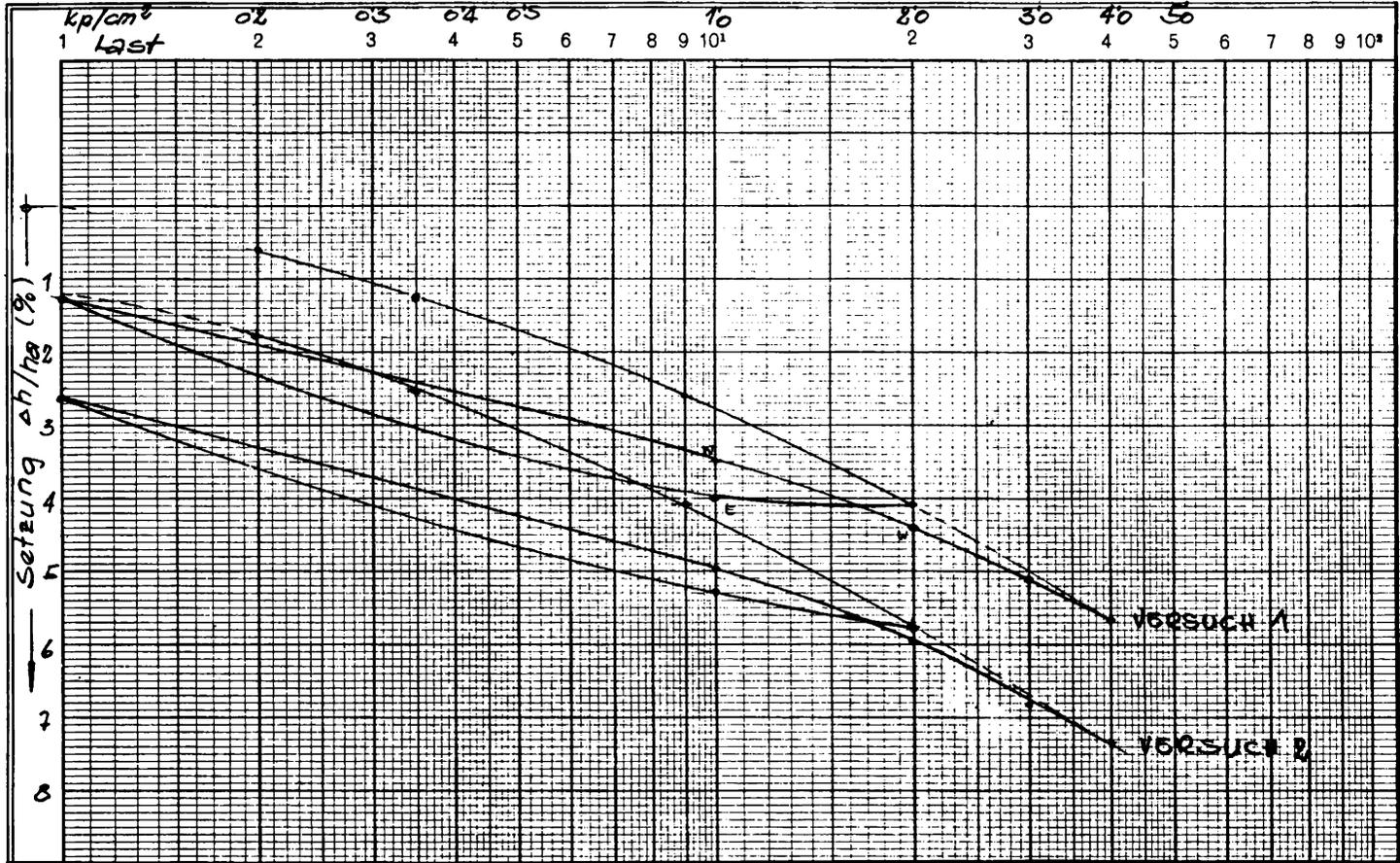


Abb. 10: Ergebnis des Ödometerversuches an der Bändertonprobe 309 aus der Tongrube Baumkirchen.

Eventuell wäre noch eine weitere Möglichkeit, warum es zu keiner Setzung bzw. Zusammenpressung kam, die, daß das Porenwasser bei der glazialen Belastung nicht entweichen konnte. Jedenfalls sei hier vordringlich darauf hingewiesen, daß bei einer neuerlichen Probenentnahme nicht kritisch genug verfahren werden kann und die Proben in möglichst großer Tiefe von der derzeitigen Oberfläche gewonnen werden sollen. Nach unserer Vermutung war die untersuchte Probe hinsichtlich der Fragestellung des Versuches schon zu stark gestört.

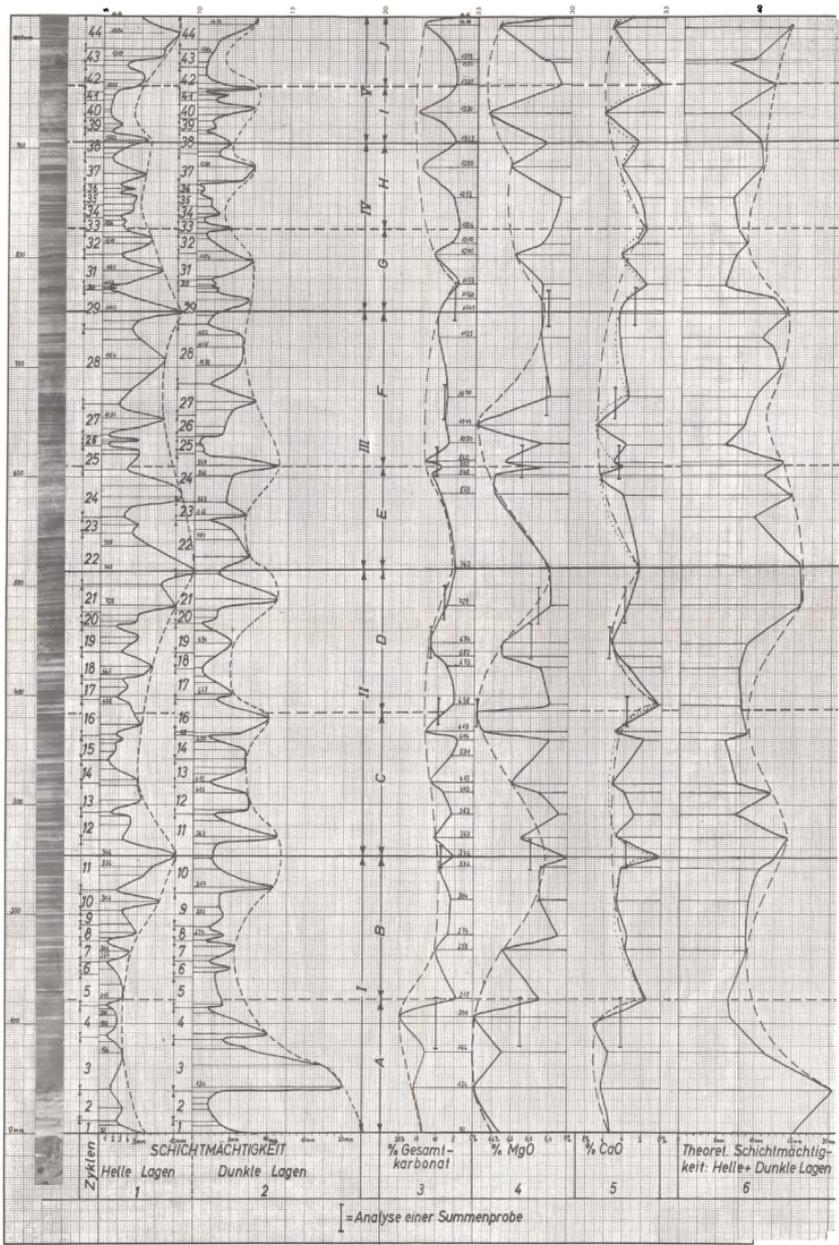
Das beim Versuch erhaltene Diagramm (Abb. 10) wird trotz des negativen Befundes abgebildet. Es soll Vergleiche mit Diagrammen (z. B. in E. SCHULTZE & H. MUHS 1967: 466–468) eindeutig vorbelasteter Sedimente mit einer dann viel steiler und mit deutlichem Knick abfallenden Erstbelastungslinie ermöglichen. Da unsere Arbeit im übrigen ergeben hat, daß sich das untersuchte, vorwiegend schluffige und eher mineralarme (hauptsächlich Glimmer und Chlorit, also Phyllosilikate) Sediment von den echten Warventonen z. B. Skandinaviens oder Kanadas verhältnismäßig stark unterscheidet, soll auf weitere Vergleiche von bodenmechanischen Kennwerten verzichtet werden.

Einiges, besonders Methodisches, soll hier bei Berücksichtigung der Arbeit von A. B. SIMON (1970) und unseren Erfahrungen abschließend noch einmal betont werden: Erforderlich ist für eine Reproduzierbarkeit der Versuche eine genaue Lokalisation der Probepunkte im Gelände, fachgerechte Probeentnahme und methodische Beschreibung der Versuchsausführung. Wünschenswert wäre oft eine getrennte Untersuchung der hellen und dunklen Bänder. SIMON schildert wiederholt die Schwierigkeiten bei der Ermittlung repräsentativer bodenmechanischer Kennwerte und deren große Abhängigkeit von der Ausbildung des schichtigen Gefüges (Bänderung) und anderen Eigenschaften und Zuständen (z. B. Wassergehalt) des Sediments. Schließlich hat auch K. KNOBLICH (1971) die gegenseitige Abhängigkeit verschiedener bodenmechanischer Eigenschaften toniger Sedimente klar aufgezeigt.

8. Literatur

- BENTZ, A. & MARTINI, H. J. (Hrsg.), 1968–1969: Lehrbuch der Angewandten Geologie, Bd. 2, T. 1, 2. XIX und XXII, 2151 S., 759 Abb., 213 Tab. – F. Enke Verl., Stuttgart.
- DUFF, P. McL. D., HALLAM, A. & WALTON, E. K., 1967: Cyclic sedimentation. XI, 280 S., 91 Fig., 35 Tab. – Elsevier Publishing Company, Amsterdam, London, New York.
- FLIRI, F., BORTENSCHLAGER, S., FELBER, H., HEISSEL, W., HILSCHER, H. & RESCH, W., 1970: Der Bänderton von Baumkirchen (Inntal, Tirol) – Eine neue Schlüsselstelle zur Kenntnis der Würm-Vereisung der Alpen. Z. f. Gletscherkde. u. Glazialgeologie, 6, H. 1/2, S. 5–35, 9 Abb. – Innsbruck.
- FLIRI, F., 1971: Beiträge zur Stratigraphie und Chronologie der Inntalterrasse im Raum von Innsbruck. Mit einem Beitr. von E. W. GRÜNING. Veröff. Tiroler Landesmuseum Ferdinandeum, 51, Jg. 1971, S. 5–21, 7 Abb., 3 Tab. – Innsbruck.
- FLIRI, F., HILSCHER, H. & MARKGRAF, V., 1971: Weitere Untersuchungen zur Chronologie der alpinen Würm-Vereisung (Bänderton von Baumkirchen, Inntal, Nordtirol). Z. f. Gletscherkde. u. Glazialgeologie, 7, H. 1/2, S. 5–24, 10 Abb., 4 Tab. – Innsbruck.
- FLIRI, F., FELBER, H. & HILSCHER, H., 1972: Weitere Ergebnisse der Forschung am Bänderton von Baumkirchen (Inntal, Nordtirol). Z. f. Gletscherkde. u. Glazialgeologie, 8, S. 203–213, 1 Abb., 3 Tab. – Innsbruck.

- FLIRI, F., 1973: Beiträge zur Geschichte der alpinen Würmvereisung: Forschungen am Bänderton von Baumkirchen (Inntal, Nordtirol). Z. Geomorph., N. F., Suppl.-Bd. 16, S. 1–14, 1 Fig., 4 Photos, u. 1. Tab. – Berlin, Stuttgart.
- FÜCHTBAUER, H. & MÜLLER, G., 1970: Sedimente und Sedimentgesteine. XV, 726 S., 326 Abb., 66 Tab. – E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchh., Stuttgart.
- HEISSEL, W., 1954: Beiträge zur Quartärgeologie des Inntales. Jahrb. Geol. B.-A. 97, H. 2, S. 251–322, 20 Abb. im Text u. auf Taf. 20–21. – Wien.
- KNOBLICH, K., 1971: Zur Scherfestigkeit und Rutschempfindlichkeit der Tone. Giessener Geologische Schriften, 2, 184 S., 84 Abb., 24 Tab.
- KÖHLER, M., 1973: Methoden zur Bestimmung des Calcit- und Dolomitgehaltes. Veröffentlichungen d. Univ. Innsbruck, Monographien (Heissel-Festschrift). – Innsbruck.
- LADURNER, J., 1954: Mineralführung und Korngrößen von Sanden (Höttinger Breccie und Umgebung). Tschermaks min. u. petr. Mitt., 5, S. 102–109, 4 Tab. – Wien.
- LADURNER, J., 1956: Korngrößen und Mineralführung zweier Sande aus der Gnadenwalder Terrasse (Schottergrube Mils bei Hall in Tirol). Mitt. Geol. Ges. Wien, 48 (Kleibelsberg-Festschr.), S. 129–137, 5 Tab. – Wien.
- MANGELSDORF, J., 1971: Beiträge zur Sedimentologie des Inntalquartärs. In: Beiträge zur Mikrofazies und Stratigraphie von Tirol und Vorarlberg, hrsg. von H. MOSTLER, S. 399–440, 1 Kt.-Skizze, 24 Fig. – Universitätsverl. Wagner, Innsbruck, München.
- MAYR, F., 1968: Über den Beginn der Würmeiszeit im Inntal bei Innsbruck. Z. Geomorph., N. F., 12/3, S. 256–295, 6 Fig., 1 Beil. – Berlin, Stuttgart.
- MÜLLER, G., 1964: Methoden der Sediment-Untersuchung. XII, 303 S., 91 Abb., 30 Tab., 3 Beil. – E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchh., Stuttgart.
- RESCH, W., 1972: Mikropaläontologische Untersuchungen im Bänderton von Baumkirchen (Inntal, Tirol). Z. f. Gletscherkde. u. Glazialgeologie, 8, S. 215–230, 30 Abb. – Innsbruck.
- SCHULTZE, E. & MUHS, H., 1967: Bodenuntersuchungen für Ingenieurbauten, 2. Aufl. XVI, 722 S., 782 Abb., 83 Tab., 1 Taf. – Springer-Verl., Berlin, Heidelberg, New York.
- SCHUMANN, W., 1969: Geochronologische Studien in Oberbayern auf der Grundlage von Bändertonen. Bayer. Akad. Wiss., math.-nat. Kl., Abh., N. F., H. 134, 98 S., 7 Fig., 4 Taf., 7 Tab., 12 Falttaf. als Beil. – München.
- SIMON, A. B., 1970: Die bodenmechanischen Eigenschaften der glazialen Bändertone. 57, VI S., 19 Abb., 4 Tab. – Diss. Techn. Univ. München.
- ZOEKE, M. E., 1944: Tiroler Bändertone. Maschinschr. 50 S., 1 Kt., mehrere Tab. u. Diagr. – Diss. Univ. Göttingen.



Tafel 1 : Sedimentationsrhythmen und Karbonatgehalt von Probe 301 (355-356 m Seehöhe) aus der Tongrube Baumkirchen.