

TONGESTEINE UND TONE TIROLS IHRE PALÄO GEOGRAPHISCHE STELLUNG UND ROHSTOFFEIGNUNG

von K.A. Czurda*), S. Bertha**), W. Flörl*) und J. Horvacki*)

mit 7 Abb. und 9 Tab.

Zusammenfassung

Die Geländeerkundung und Analyse hinsichtlich der Eignung von Tonen und Tongesteinen in Tirol als Zementzuschlags-, Grobkeramik- und Blähtonrohstoff hat sich auf Tonschiefer der Nördlichen Grauwackenzone, insbesondere auf die Wildschönauer Schiefer, auf die Schiefertone der Nördlichen Kalkalpen, die Tone des Häringer Tertiärs und die quartären Bändertone erstreckt.

Die geochemischen und semiquantitativen Mineralbestandsdaten werden dargestellt und erläutert. Die paläogeographischen Aussagen stützen sich darauf. Für die quartären Bändertone wird das Modell getrennter interstadialer Eisrandseen im Inntal vertreten. Alle Tone, insbesondere die Schiefertone der Kalkalpen, sind als Zementzuschlagsstoff geeignet, die Bändertone, ebenso wie die Angerbergsschichten des Häringer Tertiärs, auch für die Grobkeramikindustrie. Nur die Wildschönauer Schiefer wurden auch hinsichtlich ihrer Blähton-eignung analysiert und haben sich dafür als durchaus geeignet erwiesen. Die inhomogenen Vorkommen in der Natur lassen jedoch einen Abbau nicht wirtschaftlich erscheinen.

Anschriften der Verfasser:

*) Univ.-Doz. Dr. Kurt A. Czurda, Dr. Walter Flörl, Dr. Josip Horvacki,
Institut für Geologie und Paläontologie, Universitätsstr. 4, A-6020 Innsbruck.

**) Dr. Sándor Bertha, Amt der Oberösterreich. Landesregierung, Hydrographischer Dienst, Kärntnerstr. 12, A-4020 Linz.

Summary

Field investigation, chemical and petrographical analyses were performed on clays, shale and slate of different geological units in Tirol/Austria in order to investigate raw material properties for the concrete-, ceramic- and expanded clay aggregate-industry. In this study clays and claystones of the following units are included: slates of the Northern Greywacke unit, shales of the Northern Limestone Alps, clays of the Häring Tertiary and the layered freshwater clays of the Quaternary.

The geochemical and semiquantitative petrographical analyses are displayed and explained. The paleogeographical conclusions are based on this. For the quaternary clays the model of separated glacial lakes between the valley slopes and the main glacier is pleaded for. All the clays and claystones are found appropriate for concrete admixtures, especially those of the Northern Limestone Alps, the clays and the glacial lake clays of the Häring Tertiary (Angerberg formation) as well for ceramic products. Only the Wildschönau-slates of the Greywacke unit have been analyzed with respect to expanding clay properties and have been proved more or less suitable for this purpose. The inhomogeneity in the natural occurrence makes economic working yet doubtful.

Inhalt

1. Die Tonschiefer der Grauwackenzone
 - 1.1. Stratigraphie und Tektonik
 - 1.2. Geochemie und Petrographie
 - 1.3. Paläogeographie
 - 1.4. Rohstoffeignung
 - 1.4.1. Grobkeramikrohstoff
 - 1.4.2. Zementrohstoff
 - 1.4.3. Blähtonrohstoff
2. Die Schiefertone der Nördlichen Kalkalpen
 - 2.1. Stratigraphie und Tektonik
 - 2.2. Geochemie und Petrographie
 - 2.3. Rohstoffeignung
3. Die Tone des Häringer Tertiärs
4. Die quartären Bändertone
 - 4.1. Altersmäßige Einstufung
 - 4.2. Petrographie und sedimentologische Analysen
 - 4.3. Paläogeographie
 - 4.4. Rohstoffeignung

Literatur

1. DIE TONSCHIEFER DER GRAUWACKENZONE (W. FLÖRL)

1.1. Stratigraphie und Tektonik

Die Untersuchungen hinsichtlich rohstoffbezogener Aspekte beschränken sich im gegebenen Fall ausschließlich auf die ordovizischen bis mittelsilurischen Anteile der Nördlichen Grauwackenzone. Das Ordoviz wird in der Hauptsache von der "Unteren Wildschönauer Schieferserie" vertreten. Diese Serie setzt sich im wesentlichen aus Tonschieferabfolgen mit örtlich stärker wechselnden Subgrauwacken- bis Quarzgrauwackeneinschaltungen zusammen. Als Charakteristikum dieser ordovizischen Einheit ist das Auftreten basischer Vulkanite hervorzuheben. Letztere zeichnen sich durch eine starke Differenzierung aus. Die Gesteinspalette reicht von Ultrabasiten bis hin zu intermediären Vertretern.

Die Grenze Ordoviz-Silur ist durch saure vulkanitische Ablagerungen (Ignimbrite) gekennzeichnet.

Das Unter- und Mittelsilur sind hauptsächlich durch eine Schieferserie (Höhere Wildschönauer Schiefer und Karbonatabfolgen) (Dolomite und Kalke) vertreten.

Neueren Kenntnissen zufolge stellt man die Nördliche Grauwackenzone in das Oberostalpin.

Im Süden ist die Grauwackenzone gegenüber den benachbarten Einheiten (Quarzphyllitzone, Penninikum) stets tektonisch begrenzt, während im Norden vielfach eine rein stratigraphische Begrenzung durch eine direkte Überlagerung von permoskythischen Anteilen der Nördlichen Kalkalpen gegeben ist (H. MOSTLER, 1970, 1972).

Ein z.T. sehr intensiver, tektonisch bedingter Internbau ist, abgesehen von markanten großtektonischen Strukturen, bezeichnend für die Nördliche Grauwackenzone.

1.2. Geochemie und Petrographie

Die geochemischen und petrographischen Daten beziehen sich vornehmlich auf die Tonschiefergesteine der Wildschönauer Schieferserie. Die chemischen Analysen (mittels Röntgenfluoreszenz) der untersuchten Tonschieferproben zeigen im wesentlichen ein einheitliches Bild. Die Hauptoxidanteile in den Sedimentgesteinen werden von SiO_2 , Al_2O_3 und Fe_2O_3 (als Gesamteisen = $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$) gestellt. Der deutlich variierende SiO_2 -Gehalt (zwischen 46 und 65 Gew.-%) bei den Tonschieferproben kann hauptsächlich auf unterschiedliche Quarz/Phyllosilikat-Verhältnisse zurückgeführt werden. Die Al_2O_3 -Werte sind zum überwiegenden Teil vom Schichtsilikatgehalt abhängig, wobei aber 25 Gew.-% Al_2O_3 ein Maximum darstellen. Der Gesamteisengehalt ist bei allen untersuchten Sedimentgesteinen nur unwesentlich verschieden. Über naßchemische Untersuchungen (Titration) konnten innerhalb der Tonschiefertypen abweichende $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ -Verhältnisse festgestellt werden.

Größere Differenzen ergeben sich bei den Alkalioxidanteilen, wobei die K_2O -Komponente gegenüber der Na_2O -Komponente stets überwiegt, und die

Schwankungen in erster Linie auf den erhöhten Kalianteil von glimmerreichen Tonschieferproben zurückzuführen sind. Die MgO-Anteile liegen im Maximum bei 5% und der CaO-Anteil, mit Ausnahme der mergeligen Probe STA 6 und Kalkproben, unter 3 Gew.-%.

Laut Definition nach TURNER (1968) sind Tonschiefer sehr feinkörnige, leicht metamorphe Gesteine mit vollkommener Spaltbarkeit. Diese strenge Gesetzmäßigkeit wird durch die parallele Anlagerung phyllosilikatischer Minerale (in den Grauwackenschiefern am häufigsten Muskovit und Chlorit) hervorgerufen. Tonschiefer sind in allen tektonischen Einheiten der Ostalpen häufig vertreten. In der oberostalpinen Grauwackenzzone bilden tonige Ablagerungen einen wesentlichen Teil des gesamt lithologischen Aufbaus. Größere Kompetenzunterschiede zwischen tonigen Sedimenten und den massigen Grünschieferkörpern führen zu einer intensiven Verfallung der Tonschiefer. Dort wo vulkanische Einschaltungen stärker zurücktreten, wird eine intensive Verfallung durch großwellige Strukturen abgelöst.

Der Mineralbestand der Tonschiefer bleibt im allgemeinen immer derselbe. Lediglich die Konzentration der einzelnen Gemengteile kann stärkere Schwankungen aufweisen. Einzelne Tonschiefer unterscheiden sich hauptsächlich in der Farbgebung, der Oberflächenausbildung (glatt, gerieft, seidiger Glanz, matt usw.) und in ihrer Internstruktur (gefältelt oder parallel geschichtet). Letztgenannte Unterscheidungsmerkmale werden durch stark schwankende Mineralkonzentrationen augenscheinlich gemacht. Ein hoher Anteil an Glimmermineralen verursacht z.B. eine seidig glänzende Oberfläche, während eine höhere Quarzkonzentration die Oberfläche etwas rauher und matter wirken läßt. Auf diese Weise wird auch die verschiedene Farbgebung beeinflußt. Graue bis grünlich gefärbte Schiefer weisen einen erhöhten Einbau von Chloritmineralen auf. Diese chloritreichen Tonschiefer treten meist in der Nähe von tuffitischen Gesteinen auf. Im Kontaktbereich der Tonschieferlagen zu den Tuffiten vollzieht sich fast immer ein kontinuierlicher Übergang. Schwarze Tonschiefer sind hauptsächlich in der Höheren Schieferserie verbreitet aufzufinden. Die färbende Substanz ist hier kohliges Pigment. Der hohe Gehalt an organischer Substanz sowie der Anstieg an sulfidischem Schwefel lassen auf ein reduzierendes Milieu während der Genese dieser Tonschiefer schließen.

Von den verschiedenen Tonschiefern wurden Dünnschliffe angefertigt und unter dem Durchlichtmikroskop untersucht. Dabei zeigte sich bei den meisten Schliffen eine phyllitähnliche Fältelung, welche bei den schwarzen Gesteinen durch die s-parallele Einregelung von Muskovit und Chlorit unterstrichen wird. Die Achsen dieser Kleinfaltung fallen nicht mit der Sedimentationsschichtung zusammen. Durch rhythmisch wiederkehrende Lagen aus Quarz, Calcit und Plagioklas werden diese Lagediskrepanzen angedeutet. Die Matrix besteht vornehmlich aus einem feinen Filz von Glimmer (Sericit) und Chlorit. Mikroskopisch kleine Klüfte sind durch die hellen Gemengteile (Quarz, Calcit, Albit) ausgefüllt.

Der Quarz tritt in den Tonschiefern in zwei Generationen auf. Die jüngere bildet zusammen mit Albit und Calcit die oben erwähnten Kluftausheilungen und zeigt keine undulöse Auslöschung. Daneben treten noch eckige detritische Quarze auf. Diese Undulosität der Quarze deutet auf gerichtete Druckbeanspruchung der Gesteine hin.

Die Feldspatkomponente ist durchwegs in jedem Tonschieferotyp zu finden. In erster Linie handelt es sich um Albit. Neben dem Natrium-Aluminium-Silikat ist untergeordnet noch Oligoklas, ein Na-Ca-Al-Silikat, vorhanden.

Bei dem Glimmer handelt es sich ausschließlich um Sericit, eine feinschuppige Form des Muskovits. Er tritt in den einzelnen Tonschieferarten in sehr wechselhaften Mengen auf. Die feinschuppigen Aggregate sind s-parallel eingeregelt und häufig durch tektonische Beanspruchung stark verbogen und zerfranst. Röntgenographisch konnte weiters festgestellt werden, daß es sich um phengitischen Glimmer handelt, ebenso wie Muskovit ein dioktaedrischer Vertreter.

Der Chlorit bildet neben Glimmer und Quarz einen Hauptgemengteil des Tonschiefers. Er ist ähnlich wie der Glimmer plättchen- bzw. spindelförmig ausgebildet und vorwiegend s-parallel eingeregelt. Aufgrund von optischen und röntgenographischen Untersuchungen in Verbindung mit entsprechender Literatur (BROWN, 1972) und in Anlehnung an die Dissertationsarbeit von PLATTNER (1972) konnte eine verlässliche Bestimmung der Chloritart gemacht werden. Diese Chloritvarietät konnte als Rhipidolith angesprochen werden. Rhipidolith ist eine mehr oder weniger eisenreiche Chloritassoziation. Aus der Errechnung des normativen Mineralbestands aufgrund der chemischen Analyse gehen eindeutige Schwankungen hinsichtlich des verfügbaren Fe^{++} -Angebotes hervor. Es kann aber festgehalten werden, daß in allen Berechnungsfällen eine Fe^{++} -Substitution vom Angebot her gewährleistet ist.

Calcit tritt nur als Kluffüllung auf und liegt, mit Ausnahme der leicht mergeligen Tonschiefer, durchwegs in Mengen unter 1 Vol.-% vor. Im Tonschiefer mit mergeligem Charakter kann Calcit sogar als Nebengemengteil bezeichnet werden. Er liegt überwiegend als sekundäre Mineralneubildung vor.

Neben Chlorit bilden Hämatit und Kohlenstoff die färbenden Substanzen in den Tonschiefern. Hämatit übersteigt kaum 1 Vol.-%, während der Kohlenstoffgehalt in den schwarzen und dunkleren Tonschiefern zwischen 2 und 4 Vol.-% liegt. Den Rest bilden hauptsächlich Akzessorien wie Zirkon, Apatit, Turmalin und Erze. In einigen Gesteinen sind Akzessorien sogar als Übergemengteile vorhanden.

1.3. Paläogeographie

Der Westabschnitt des Nördlichen Grauwackenzone ist hinsichtlich seiner paläogeographischen Entwicklung von verschiedenen Bearbeitern eingehend untersucht worden. Aus einer Fülle von Teiluntersuchungen hat sich in jüngster Zeit ein gut gesichertes paläogeographisches Modellbild manifestiert. Gerade für die Erkundung massenrohstofforientierter Prämissen liefern entwicklungsgeschichtliche Erkenntnisse gewissermaßen die Grundlage dafür. Die Zuordnung einzelner Teilgebiete an Schwellen-, Zwischenschwellen- und Beckenbereichen, in erster Linie auf lithologische Gesichtspunkte gestützt, erlaubt Hinweise auf die Ausdehnung und Homogenitätsverhältnisse der verschiedenen "Faziesbereiche" und führt letztlich zu einer gezielteren Abschätzung von möglichen Massenrohstoffressourcen.

Die paläogeographische Situation des Ordoviz ergibt sich aus der Morphologie eines bereits zur kambro-ordovizischen Zeit hochmetamorphen kristallinen Grundgebirges. Das stark gegliederte Relief des kristallinen Ligendkomplexes läßt die Anlagerung von Becken- und Schwellenbereichen auf relativ engem Raum als möglich erscheinen.

Die Herausgestaltung eines Grabenbruchsystems (Taphrogeosynklinale), hervorgerufen durch magmatogene, tektonische Prozesse in der Unterkruste, führt also zur Anlagerung von etwa 1000 m mächtigen Beckensedimentstapeln bzw. von geringmächtigen schwellennahen Ablagerungen.

Während die eigentlichen Beckensedimente zum überwiegenden Teil durch tonige Sedimente und Pillow-Laven-Einschaltungen vertreten sind, herrscht in Zwischen- bzw. Hochschwellenbereichen neben tonig-sandigen Sedimenten vor allem eine vermehrte Tuffförderung vor.

In kleineren Becken (zwischen zwei Schwellenbereichen) kommt es häufig zu gröberklastischen Zwischenschaltungen, welche durch relativ rasche Schüttungsvorgänge vom Schwellenbereich her in die tonige Sedimentation des Zwischenbeckens eingreifen.

Die erste Karbonatsedimentation findet erst im tieferen Silur statt. Im Anschluß an die Anlagerung der Porphyroidplatte (Ordoviz/Silur) kommt es zu neuerlichen tektonischen Äußerungen. Durch synsedimentäre Bruchtektonik vollzieht sich eine Aufgliederung in die einzelnen Faziesbereiche (Flachwasser-, Schwellen- und Beckensedimente). Im Übergangsbereich zwischen Schwelle und Becken werden bevorzugt Kalk und Kalkmergel abgelagert. Die recht unterschiedlichen Absenkungsbewegungen einzelner Teilschollen können eine rasche, lokalbegrenzte Einsedimentierung von massigen Kalkkomplexen durch die tonigen Beckensedimente bewirken. So wird ein metasomatischer Ionenaustausch weitgehend unterbunden und eine Dolomitisierung der reinen Kalksedimente ($> 90\% \text{ CaCO}_3$) verhindert.

An einigen Stellen (Stampfanger, Barmerberg) sind reine Kalke in unmittelbarem Kontakt mit dunklen Tonschiefern aufgeschlossen. Aus all diesen Überlegungen heraus lassen sich in bezug auf hoffnungsträchtige Massenrohstoffpotentiale entscheidende Hinweise auf deren Verbreitung und Abschätzbarkeit gewinnen.

1.4. Rohstoffeignung

Die schwach metamorphen Metasedimente der Tiroler Grauwackenzone sind, nach entsprechenden Voruntersuchungen im Gelände und unter Berücksichtigung bisheriger Arbeiten über diese geologische Einheit, bezüglich ihrer Verwendungsmöglichkeit für den Baurohstoffsektor in Betracht zu ziehen.

1.4.1. Grobkeramikrohstoff

Die stoffliche Zusammensetzung der Grauwackensedimente (Wildschönauer Schiefer) entspricht durchwegs den Richtlinien der Grobkeramik. Ein entsprechend hoher Feinanteil (Illit/Chlorit $> 20\%$) sowie eine ausreichende Menge an Magerungs- (feinverteilter Quarz) und Flußmittel (Karbonat, Feldspat) liegen auf alle Fälle innerhalb der festgelegten Toleranzgrenzen. Untersuchungen hinsichtlich der Korngrößenzusammensetzung ergeben im Ternären-System einen relativ großen Streubereich, d.h. die starken Schwankungen spiegeln den inhomogenen Aufbau dieser Gesteinsserien wieder und lassen darüber hinaus auf eine Qualitätsverminderung dieses Grobkeramikrohstoffs schließen.

In schwelennahen Bereichen sind vermehrt Grobschüttungskörper mit tonigen Sedimenten in ständiger Wechsellagerung. Erst gegen das Becken hin klingen die größeren Einschaltungen allmählich ab und tonig-siltige Lagen mit Tuffen und Laven werden vorherrschend. Diese Gebiete mit möglichst gleichbleibenden Sedimentationsabfolgen und verringerter vulkanischer Beeinflussung werden als die wahrscheinlichsten Rohstoffressourcen für die Grobkeramik in Aussicht gestellt.

1.4.2. Zementrohstoff

Wie aus den Richtlinien für Zementrohstoffe hervorgeht, erscheinen nur jene Lagerstätten wirtschaftlich interessant, welche möglichst geringen stofflichen Schwankungen unterliegen und der Zusammensetzung eines Naturzements nahekommen. Im gegebenen Fall sind diese Grundforschungen für eine wirtschaftliche Nutzung aber keinesfalls gegeben. Es ist auch nicht die Aufgabe dieser Untersuchungen, abbauwürdige Lagerstätten zu finden, sondern einfach die stofflichen Eigenschaften und die geologischen Verhältnisse darzulegen und einer objektiven Beurteilung zu unterziehen. Es wurden zwei Gebiete auskartiert, in denen neben reinen bis mergeligen Kalksteinen Tonschiefer vorkommen (siehe Detailprofil, Abb. 2). Die dazugehörigen Profile (Barmerberg und Stampfangergraben) sollen in erster Linie die wechselhaften lithologischen Verhältnisse deutlich machen.

LEGENDE






















GESTEINSBEZEICHNUNG :	MINERALBESTAND :
 Dolomit	 Calcit
 Kalk	 Dolomit
 Knollenkalk	 Quarz
 Kalk mit Hornstein	 Feldspat
 Kalk - rauhwackoid	 Montmorillonit
 Schiefertone	 Illit - Muskowit
 Schiefertone mit Kalk	 Chlorit
 Mergel	 Hornblende
 Tonschiefer	
 Porphyroidtuff	
 Schotter	
 Sandstein ; Sandlinse	
 Bänderton	

Abb. 1: Legende zu den Säulenprofilen und zum Mineralbestand

Profil STAMPFANGERGRABEN : Petrographie

Wildschönauer Schiefer

M=1:250

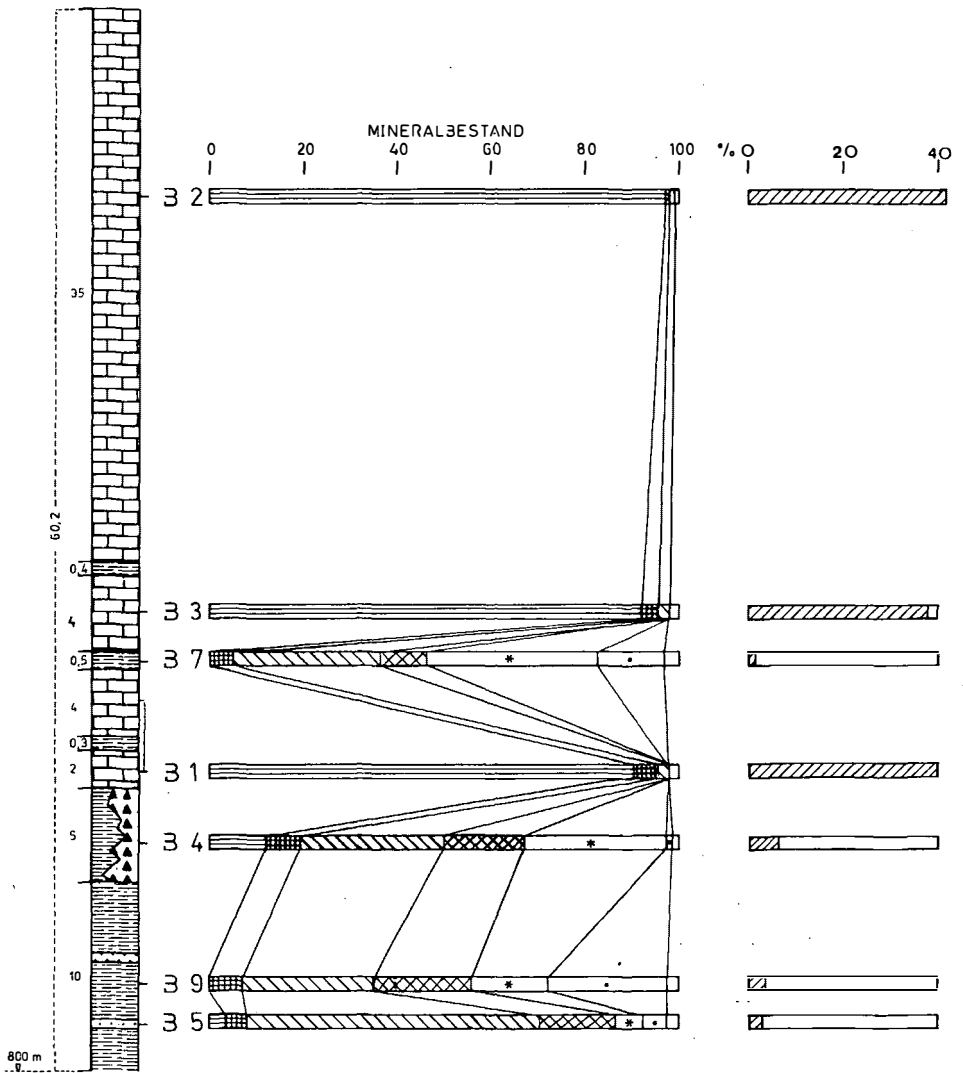


Abb. 2: Profil Wildschönauer Schiefer: Stampfangergraben. Säulenprofil und Mineralbestand

Grundsätzlich kann festgestellt werden, daß die stoffliche Eignung insofern nicht gegeben ist, da keine mergelige Zusammensetzung vorkommt, sondern kalkige und tonige Komponenten getrennt vorliegen.

Die daraus zu erwartenden abbau- und aufbereitungstechnischen Probleme sprechen jedoch gegen mögliche Hoffungsgebiete für die Zementindustrie. Abschließend ist noch darauf zu verweisen, daß der Trend in der Zementindustrie dahin geht, die Zementproduktion zu einem guten Teil aus umweltbelastenden Abfallstoffen wie z.B. Flugaschen abzudecken.

1.4.3. Blähtonrohstoff

Unter "Blähton" versteht man ganz allgemein ein leichtes, poröses Produkt, das durch Brennen geeigneter Rohstoffe unter bestimmten physiko-chemischen Bedingungen durch Aufblähen entsteht (H. SCHULZ, 1968). Die hier zu besprechenden Ausgangsstoffe für die Herstellung von Blähprodukten setzen sich in der Hauptsache aus den feinklastischen Gesteinen der Grauwackenzone zusammen.

Die Grundlage für eine Abschätzung der Tonschiefererien als Ausgangsmaterial für keramische Leichtzuschlagstoffe bildet zweifelsohne die genaue Kenntnis der geologisch-tektonischen Gegebenheiten.

Die untersuchten Gesteinsserien sind als eine etwa 1000 m mächtige Sedimentauffüllung innerhalb einer Taphrogeosynklinale (ursprünglich durch Zerrungstektonik herausgebildetes Grabensystem) anzusehen. Durch die verstärkt aufgetretenen Vertikalbewegungen kann es zu unterschiedlichen Ablagerungsbedingungen auf relativ engem Raum kommen. So treten im Übergang von Becken zu Schwellenbereichen, aber auch in Zwischenschwellenbereichen (z.B. durch vermehrte Grobschüttungen in diesen Bereichen), stärker differenzierte Sedimente auf, d.h. die dort angelagerten tonigen Sedimente sind relativ schlecht sortiert, nur wenig homogen und recht unterschiedlich in ihrer Korngrößenzusammensetzung. Die einigermaßen gut sortierten, laminierten, feinschichtigen Tonschieferablagerungen (Sericitschiefer) sind dagegen vorwiegend auf den tieferen Beckenbereich beschränkt. Die laminierte Ausbildung dieser Sedimente weist auf ein ruhiges Ablagerungsmilieu hin, was einen weiteren Hinweis auf Beckensedimentation gibt. Von A. AICHHORN (1978) wird aus dem Raum Zell am See das Vorherrschen von laminierten, feinschichtigen Sericitschiefern mit wenigen Subgrauwackenzwischenlagen beschrieben. Diese Sedimentabfolge und das häufigere Auftreten von Pillow-Laven-Komplexen deuten auf einen tieferen Beckenbereich in diesem Gebiet hin. A. AICHHORN weist in diesem Zusammenhang auch auf die lokal recht unterschiedlichen Mächtigkeiten der klastischen Sedimente hin. Dies könnte nach seiner Meinung auf stärkere Reliefschwankungen des Untergrundes zurückzuführen sein.

Sedimente des tieferen Beckenbereiches wären für die Bereitstellung von Blährohstoffen von ganz besonderem Interesse, da sie zum einen hohe Tongehalte und zum anderen wenig grobklastisches Material aufweisen. Für eine mögliche Auswahl von entsprechenden Blährohstoffvorkommen müßten in jedem Fall paläogeographische Gesichtspunkte mitberücksichtigt werden. Nur so ist man in der Lage, gezielt ausgelegte Geländeaufnahmen in dieser Richtung durchzuführen. Die tektonische Beanspruchung, die in dieser geologischen Einheit verstärkt stattgefunden hat, kann sich durch lokale, sehr intensive Verfaltungen auf den homogenen Aufbau eines Vorkommens negativ auswirken und zu Fehleinschätzungen Anlaß geben. Von stofflicher Seite her sind diesbezüglich keine ernstlichen Bedenken anzumelden. Ledig-

lich bei den an Tonschiefergranulaten durchgeführten Blähversuchen haben sich Aufspaltungserscheinungen entlang den Schieferungsflächen gezeigt. Schmelzmikroskopische Untersuchungen an Tonschiefergranulaten ergaben aber keine gravierende Verschlechterung der Bläheigenschaften aufgrund der intensiven Schieferung dieser Gesteine.

Abschließend kann also festgehalten werden, daß sich die Kenntnis über die paläogeographische Situation auf eine objektive Beurteilung von Blährohstoffvorkommen günstig auswirken kann. Ferner ist den tektonischen Einflüssen unter allen Umständen Rechnung zu tragen, da die Abschätzbarkeit sowohl hinsichtlich des Ausmaßes als auch des homogenen Aufbaus eines Vorkommens sehr erschwert ist.

2. DIE SCHIEFERTONE DER NÖRDLICHEN KALKALPEN (K. CZURDA & S. BERTHA)

2.1. Stratigraphie und Tektonik

Der kalkalpinen Schichtserie in Tirol sind neben Karbonaten und Sandsteinen immer wieder Schiefertone zwischengeschaltet. Die ev. für eine Rohstoffnutzung in Frage kommenden Schiefertonserien, Partnach-, Raibler, Kössener und Allgäuschichten wurden anhand zahlreicher Profile petrographisch und chemisch quantitativ analysiert und danach repräsentative Mittelwerte errechnet.

Die Schiefertonsabfolgen der Kreidezeit, also die Neokom- und Cenomanmergel wie auch die Mergel der Gosauschichten, wurden - wegen ihrer meist entlegenen Vorkommen, die wirtschaftlich im Zuge einer Rohstoffnutzung nicht zu vertreten sind - in die Untersuchung nicht miteinbezogen. Das Häringer Tertiär, das als inneralpine Molasse ja nicht den Kalkalpen zuzurechnen ist, wird im nachfolgenden Kapitel 3 behandelt.

Die erwähnten triassischen und jurassischen Schiefertone, die Gegenstand dieser Untersuchung sind, nehmen die bekannte stratigraphische Stellung ein, wonach die Partnachmergel dem Ladin, die drei Raibler Schiefertonschichten dem Karn, die Kössener Schichten dem Obenor bis Rhät (URLICHS, 1972) und die Allgäuschichten (= Liasfleckenmergel) dem Lias und Dogger (JACOBSHAGEN, 1965) zuzuordnen sind.

Die untersuchten Tonformationen gehören unterschiedlichen Deckeneinheiten innerhalb der oberostalpinen Nördlichen Kalkalpen an. Die weit ausgedehnten Vorkommen von Allgäuschichten, Kern der sog. Allgäuer Hauptmulde, die das Lechtal beherrschen, sind der Lechtaldecke zuzuschreiben. Zur tieferen, südlicheren tektonischen Einheit, der Inntaldecke, muß man die analysierten Profile der Raibler Schichten bei Zirl und der Partnachmergel bei Thaur rechnen, während das Profil der Kössener Schichten entlang dem Weißloferbach bei Kössen der Staufen-Höllengebirgsdecke des Tirolikums angehört.

2.2. Geochemie und Petrographie

Von den Partnach-, Raibler und Kössener Schiefertonen und Mergeln wurden, ebenso wie für die Liasfleckenmergel (Allgäuschichten), an Stichproben der Pauschalchemismus und der semiquantitative Mineralbestand ermittelt.

Die Partnachschiechten sind Schiefertone bis Mergel der zeitgleichen Riffazies des Wettersteinkalkes. Die Feinklastika der Partnachschiechten sind das typische Beckensediment, wenn auch immer wieder Karbonatbänke eingeschaltet sind. Die Karbonatfolgen häufen sich gegen E, mit Annäherung an das Riff, bis sie eine kalkige Beckenfazies ausbilden. Das Riff wächst zunächst über seinen eigenen Schutt, dann über die kalkige und schließlich auch über die mergelige Beckenfazies im W. Die Gleichaltrigkeit von kalkiger und toniger Beckenfazies konnte mit Hilfe von Conodonten, Holothurienskleriten und Roveacriniden nachgewiesen werden (BECHSTÄDT & MOSTLER, 1974).

Die Partnachmergel wurden im Raum Thaur untersucht, wo sie verhältnismäßig tief ins Inntal herunterziehen und verkehrsmäßig leicht zugänglich sind - ein Aspekt, der bei einer Rohstoffbetrachtung sicher eine ausschlaggebende Rolle spielt. Ein Profil oberhalb von Thaur wird in Abb. 3 in Verbindung mit dem semiquantitativen Mineralbestand dargestellt. Der Gehalt an Tonmineralen - vornehmlich Illiten und Fe-Chloriten - geht in den Schiefertontypen bis zu 80%. Der Calcitanteil überwiegt meist den Dolomitanteil, jedoch kommen auch fast reine Dolomitbänke vor. Sie sind in gewissen Abschnitten konzentriert, was auch leicht evaporitische Bedingungen an Beckenrandlagen schließen läßt.

Mittelwerte aus den Raibler Schiefertonen und Raibler Dolomiten, die aus dem Profil Zirl I und Zirl II ermittelt wurden, zeigen, daß fazielle Übergänge zwischen der Karbonat- und der Schiefertonzfazies bestehen. Die terrigenen Einflüsse, die für die Anlieferung der Tonkomponenten der drei Tonhorizonte verantwortlich sind, haben sich durch schnell anwachsende Anlieferung der Klastika und durch allmähliches Abklingen der Schüttung ausgezeichnet.

Chemismus %	Schieferton	Dolomit
SiO ₂	58.2	4.52
Al ₂ O ₃	17.6	1.64
FeO	3.4	0.52
MgO	3.1	12.09
CaO	0.6	38.07
Na ₂ O	0.59	0.07
K ₂ O	6.01	0.16
TiO ₂	0.79	0.09
MnO	0.09	0.14
P ₂ O ₅	0.08	0.03
Glühverlust	9.86	42.35
Gesamt	100.32	99.68

Tab. 1: Durchschnittswerte des Pauschalchemismus der Raibler Schichten von Zirl, aufgrund von Mikrosondenanalysen

Profil THAUR : Petrographie Partnachsichten

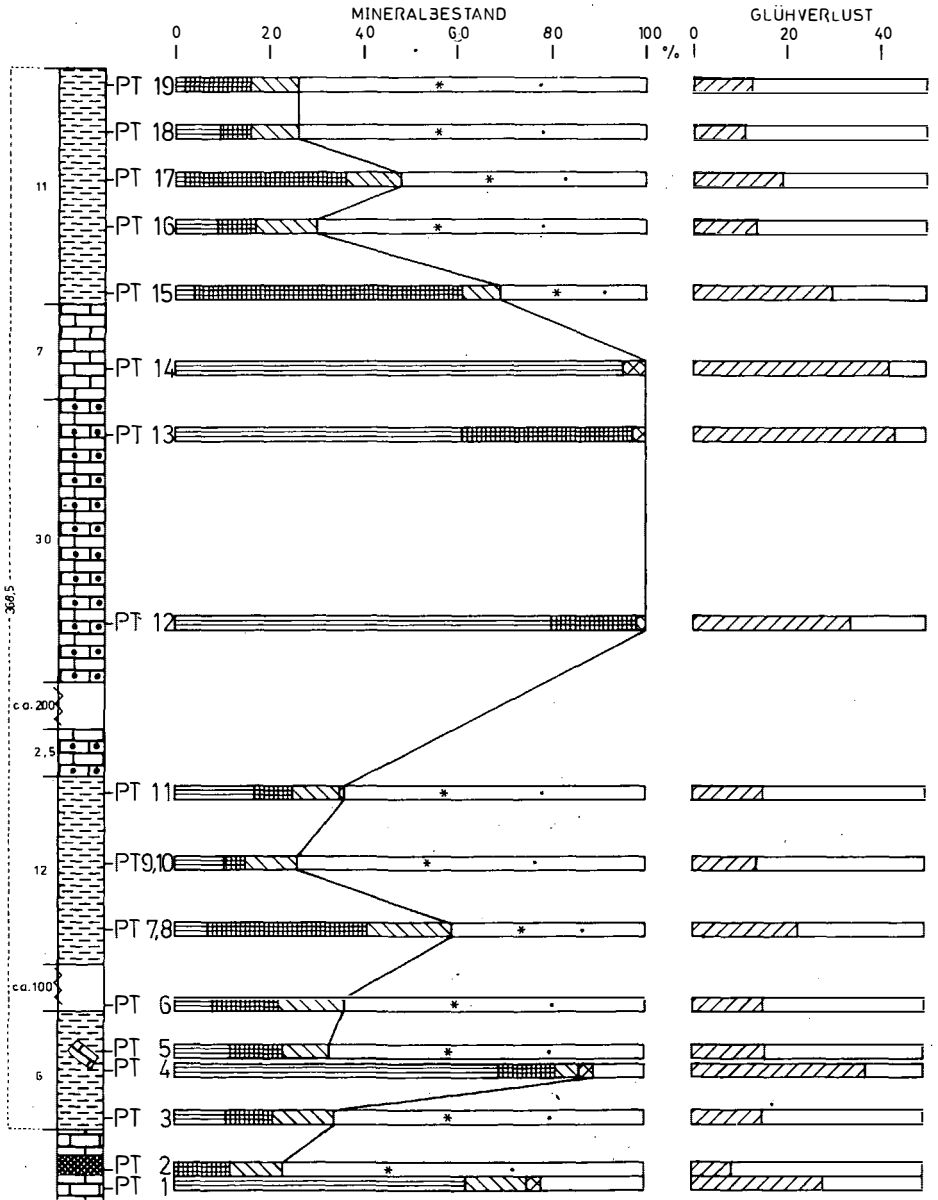


Abb. 3: Profil Partnachsichten: Thaur bei Innsbruck. Säulenprofil und Mineralbestand

Auch der Mineralbestand zeigt diese fazialen Übergänge an. Als Endglieder sind Schiefertone bzw. Dolomite anzusehen. In den drei bekannten Raibler Schiefertonzonhorizonten (Carditahorizonte) überwiegen natürlich die reinen Schiefertone mit durchschnittlich 81% Tonmineralgehalt, genauso wie in der mächtigkeitsmäßig überwiegenden Dolomitfazies die kalkigen Dolomite mit durchschnittlich 52% Dolomitgehalt vorherrschen. Als Ursache für die klastische Sedimentanlieferung ist ein vorübergehender Aufstieg der angrenzenden Festländer anzusehen. In der folgenden Tabelle sind für den Mineralbestand die Durchschnittswerte getrennt nach Karbonaten, Mergeln und Schiefertonen angegeben, wobei die Daten ebenfalls aus den Profilen Zirl I und II stammen.

Mineralbestand %	Schiefer-ton	Mergel	Karbonat
Dolomit	3	16.50	51.73
Calcit	11	28.88	62.82
Quarz	15.15	11.75	4.21
Feldspat	-	2.75	2.57
Tonminerale	81.-	44.25	8.--

Tab. 2: Durchschnittswerte des semiquantitativ ermittelten Mineralbestands der Raibler Schichten von Zirl I und II

Die Kössener Schichten, die sich überwiegend aus Schiefertonen und Mergeln zusammensetzen, breiten sich im untersuchten W-Abschnitt der Kalkalpen über die Hauptdolomit- bzw. Plattenkalkplattform aus. Eine erneute terrigene Beeinflussung und stärkere Absenkung des Meeresbodens bei nicht Schritt haltender Sedimentation, somit größeren Wassertiefen, sind faziesprägend für die Kössener Schichten. Die ersten Riffbildungen, die im Rhätoliaskalk zu einer Blüte heranreifen, sind zu beobachten. Korallenstöcke und Einzelkorallen sind häufig.

Die Schiefertone sind karbonatarm, enthalten aber immer etwas Dolomit. Die reinen Karbonatbänke bestehen fast nur aus Calcit mit etwas Feldspat. In den nachfolgenden Tabellen sind der Chemismus (Tab. 3) und der Mineralbestand (Tab. 4) als Durchschnittswerte anhand des detailliert beprobten Profils "Weißloferbach" bei Kössen dargestellt.

Chemismus %	Schiefer-ton	Mergel
SiO ₂	36.70	20.93
Al ₂ O ₃	12.85	6.83
FeO	4.74	2.75
MgO	3.88	1.95
CaO	17.36	35.47
Na ₂ O	0.17	0.16
K ₂ O	2.71	1.35
TiO ₂	0.52	0.33
MnO	0.07	0.07
P ₂ O ₅	0.15	0.13
Glühverlust	19.06	29.81
Gesamt	98.21	99.78

Tab. 3: Durchschnittswerte des Pauschalchemismus der Kössener Schichten (Klastika) vom Weißloferbach/Kössen aufgrund von Mikrosondenanalysen

Mineralbestand %	Schieferton	Mergel	Karbonat
Calcit	22.20	59.75	79.75
Dolomit	15.33	7.67	26.50
Quarz	11.60	8.75	-
Feldspat	1.75	3.25	4.--
Tonminerale	55.33	22.50	4.--

Tab. 4: Durchschnittswerte des semiquantitativ ermittelten Mineralbestands der Kössener Schichten vom Weißloferbach/Kössen

Die Allgäuschichten (Liasfleckenmergel) zeigen die schon im höheren Rhät angelegte paläogeographische Gliederung in Schwellen- und Beckenregionen an. Sie vertreten lateral die Unterlias-Rotkalke. Während die Rotkalke auf den unteren Lias beschränkt sind, nehmen die Allgäuschichten den gesamten Lias und Dogger ein. Sie treten in den Lechtaler Alpen felsbildend auf und sind i.a. mergelig mit zwischengeschalteten Karbonatbänken entwickelt. Die Karbonate sind meist dolomitische Kalke mit variierendem Tongehalt. Sie gehen kontinuierlich in Mergel über. Reine Schiefertone sind selten.

Die wohl mächtigste und für einen rohstoffmäßigen Abbau praktisch unbegrenzte Menge befindet sich im Lechtal. Der semiquantitative Mineralbestand in Durchschnittswerten, ebenso der Pauschalchemismus, sind in den folgenden Tabellen 5 und 6 enthalten (Profil Häselgehr).

Chemismus %	Karbonate	Mergel	Schiefertone
SiO ₂	22.59	32.46	42.31
Al ₂ O ₃	3.95	6.83	12.21
FeO	0.24	0.58	0.77
MgO	2.08	2.27	2.35
CaO	38.88	30.13	20.45
Na ₂ O	0.31	0.46	0.62
K ₂ O	0.35	0.95	2.56
TiO ₂	0.17	0.36	0.66
MnO	0.09	0.44	0.19
P ₂ O ₅	0.43	0.14	0.02
Glühverlust	31.80	25.37	17.53
Gesamt	99.89	99.99	99.67

Tab. 5: Durchschnittswerte des Pauschalchemismus der Allgäuschichten von Häselgehr/Lechtal aufgrund von Mikrosondenanalysen

Mineralbestand %	Karbonat	Mergel	Schieferton
Calcit	57.08	41.39	11.90
Dolomit	21.54	13.74	6.32
Quarz	8.96	14.94	16.86
Feldspat	2.83	2.19	1.50
Tonminerale	13.90	29.52	67.36

Tab. 6: Durchschnittswerte des semiquantitativ ermittelten Mineralbestands der Allgäuschichten von Häselgehr/Lechtal

2.3. Rohstoffeignung

Für alle Schiefertone und Mergel der kalkalpinen Schichtserie triassischen und jurassischen Alters kommt eine Verwendbarkeit in der Zementindustrie in Frage. Die Zementzuschlagseignung muß allerdings eingeschränkt werden, da hohe Mg-Gehalte und hohe Tonerdemoduli manche Vorkommen nur gemischt mit anderen Schiefertönen und Kalken verwendbar erscheinen lassen. Allerdings ist ein räumlich nahe gelegenes Kalkvorkommen im Kalkalpenbereich meist gegeben. Als am besten geeignet für die Zementindustrie können die Allgäuschichten, vorwiegend Mergel, eingestuft werden. Sie sind im Lechtal in großen Mengen vorhanden. Zum Großteil sind die Vorkommen fast mischungsfrei zu verwenden, da die Mg-Gehalte gering und ausreichend Kalkbänke zwischengelagert sind.

Für die Verwendung in der Grobkeramikindustrie sind die Schiefertone und Mergel kaum geeignet. Stets eignet sich für diesen Zweck der plastische Ton besser als der Schiefertone, der vor seiner weiteren Verarbeitung erst gemahlen werden müßte.

3. DIE TONE DES HÄRINGER TERTIÄRS (K. CZURDA & S. BERTHA)

Die Angerbergsschichten, als chattischer Anteil des Häringer Tertiärs, erstrecken sich als Oberangerberger Tertiär entlang des Inn von Rattenberg bis Breitenbach, und von dort bis etwa Angath als Unterangerberger Tertiär.

Im Bereich der Unterangerberger Schichten wurden bei Wörgl-Innfähre (tiefere Anteile) und bei Kleinsöll (höhere Anteile) entlang dem Inn Profile aufgenommen und beprobt. Das Säulenprofil mit semiquantitativer Petrographie für das Vorkommen Wörgl-Innfähre ist in Abb. 4 dargestellt und das bei Kleinsöll in Abb. 5).

Die relativ hohen Anteile an schwellbaren Tonmineralen (vorwiegend Montmorillonit, etwas mixed-layer-Phasen) sprechen für eher limnisches Ablagerungsmilieu. Es ist zu vermerken, daß der Feinanteil in den höheren, jüngeren Unterangerbergsschichten bei Kleinsöll im Durchschnitt gleich wie in den tieferen Abschnitten bei Wörgl-Innfähre (bei 40%) liegt, jedoch der Montmorillonitanteil zum Hangenden hin abnimmt. Die allmählich schon im

Profil FÄHRE BEI WÖRGL : Petrographie Unterangerbergsschichten

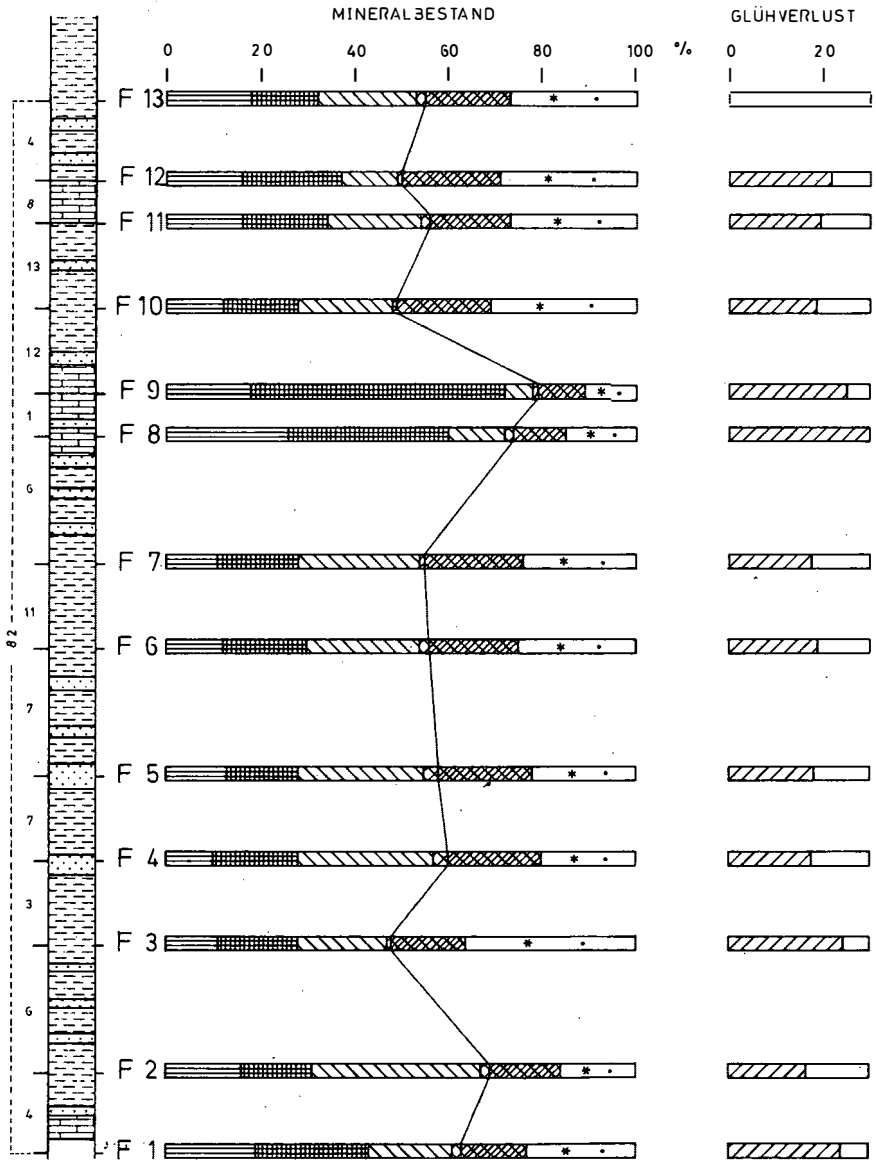


Abb. 4: Profil Unterangerbergsschichten: Innfahre bei Wörgl. Säulenprofil und Mineralbestand

Profil KLEIN SÖLL : Petrographie Unterangerbergsschichten

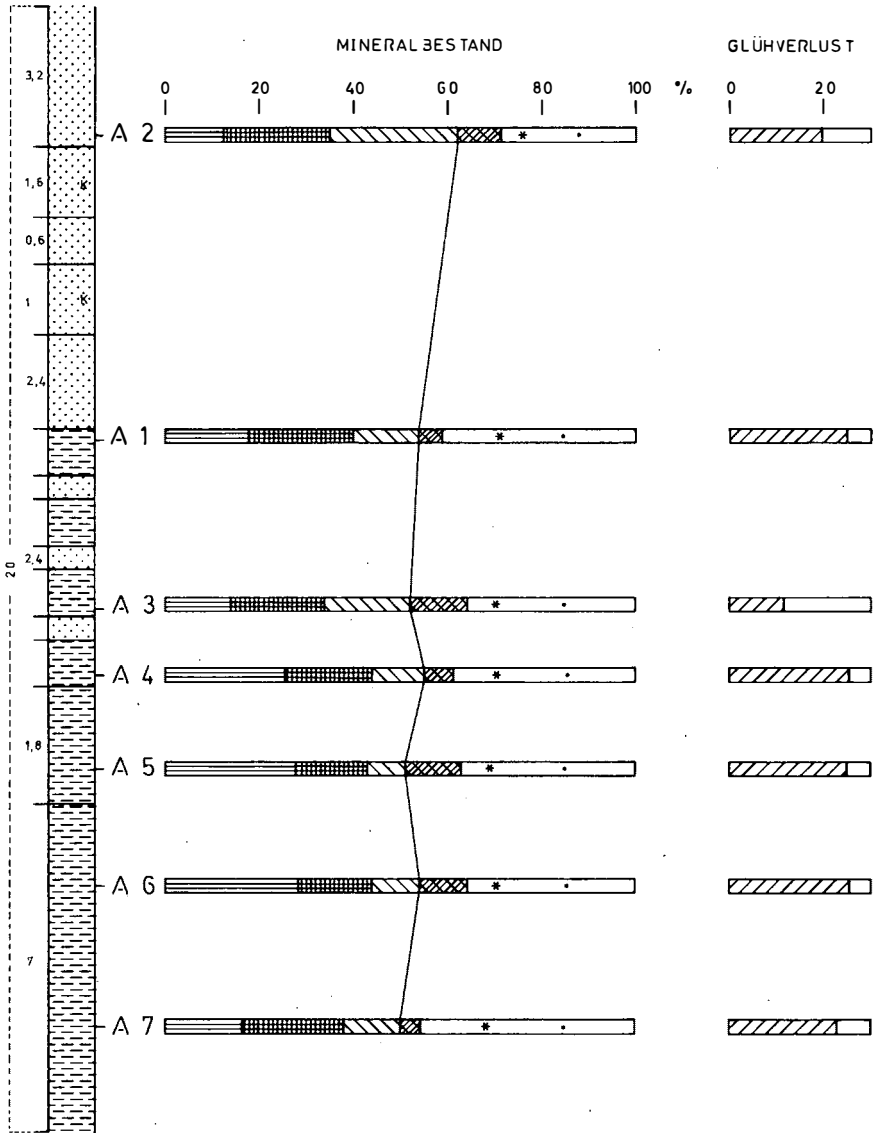


Abb. 5: Profil Unterangerbergsschichten: Kleinsöll. Säulenprofil und Mineralbestand

höheren Chatt einsetzende Schüttung von Grobklastika, die dann die Fazies der Oberangerbergschichten bestimmt, kündigt sich in den aufgenommenen Profilen noch nicht an.

Die Mergel werden i.a. mittel- bis hochplastisch, wenn sie der Verwitterung auch nur kurze Zeit ausgesetzt sind. Dies beruht auf der geringen karbonatischen Kornbindung und dem Gehalt an Montmorillonit. Die Tone bis Mergel eignen sich wahrscheinlich gut für die Grobkeramik- und die Zementindustrie. Erste Versuche hinsichtlich ihres Blähverhaltens scheinen auch die Eignung zu Blähtonaggregaten nahezulegen. Die Rohstoffeignung insgesamt bedarf jedoch noch eingehenderer Untersuchungen.

4. DIE QUARTÄREN BÄNDERTONE (J. HORVACKI)

4.1. Altersmäßige Einstufung

Die jüngeren Eiszeitablagerungen, die beiderseits des Inntals als Reste einer Talzuschüttung erhalten blieben (PENCK, 1882), wurden nach ihrer morphologischen Form als "Terrassensedimente" bezeichnet. Dabei handelt es sich um eine interglaziale Serie ("geschichteter Lehm", Sand und Schotter), die von einer älteren Moräne (? Riß) unterlagert und einer jüngeren (? Würm) überlagert wird (HEISSEL, 1954). Das unterste Glied dieser Formation bildet "geschichteter Lehm" - geläufig als Bänderton bezeichnet. Die untere, helle Lage eines Zyklus besteht aus Feinsand bis Silt und entspricht der Zeit der Schneeschmelze. Die dunkle, obere Schicht zeigt eine weniger starke Wasserzufuhr an und setzt sich ausschließlich aus Tonfraktion zusammen.

Die zeitliche Einstufung der Terrassensedimente wird durch ihre mangelnde Fossilführung und die schlechten Aufschlußverhältnisse der "älteren" Eiszeitablagerungen erschwert. Durch die wenigen Fossilfunde und die detaillierte Auswertung dieser sowie Warvenmessungen (Mächtigkeit), und vor allem mit Hilfe von C^{14} -Daten, konnte ein absolutes Alter für den Bänderton von Baumkirchen von ca. 28.000 a festgestellt werden (FLIRI et al., 1970). Es wäre demnach ein interstadial - Würm II-Würm III - entstandenes Sediment (Tab. 7). Ob dieses absolute Alter auch für die anderen Bändertonvorkommen im Inntalraum zutrifft, bleibt offen.

Viele Autoren (PENCK, 1980; ZOEKE, 1944; HEISSEL, 1954) sprachen sich für einen Inntalsee, andere wiederum (AMPFERER, 1908; PENCK, 1922; WEHRLI, 1928; MACHATSCHEK, 1934; BOBEK, 1935; KLEBELSBERG, 1935; PASCHINGER, 1957; MAYR, 1968) für mehrere voneinander getrennte Becken aus.

GLIEDERUNG ALPEN		C-14 10 ³ a	
HOLOZÄN			
		10	
PLEISTOZÄN	JUNG-PLEISTOZÄN	SPÄT-WÜRМ	30
		MITTEL-WÜRМ	
		FRÜH-WÜRМ	
	RISS / WÜRМ - Interglazial		72
	RISS - Vereisungen		115
	MITTEL- PLEIS.	MINDEL / RISS - Interglazial	
		MINDEL - Eiszeit	
		GÜNZ / MINDEL - Interglazial	
	ALT-PLEISTOZÄN	GÜNZ - Eiszeit	
		DONAU / GÜNZ - Warmzeit	
DONAU - Kaltzeit			
BIßER / DONAU - Warmzeit			
BIßER - Kaltzeit			

Tab. 7: Gliederung des Quartär in den Alpen mit absoluten Altersdaten

4.2. Petrographie und sedimentologische Analysen

Die Proben, stets aus mehreren Lagen homogenisiert, wurden auf ihre mineralogische und chemische Zusammensetzung röntgenographisch untersucht. Zur Ermittlung des Karbonatanteils wurde zusätzlich das SCHEIBLER-Verfahren angewandt. Für die Röntgenfluoreszenzspektralanalyse wurden Schmelzpillen vorbereitet. Die Korngrößenverteilung erfolgt nach BOYOUCOS-CASAGRANDE unter Anwendung des STOKESchen Gesetzes.

Die Karbonatverteilung (siehe Tab. 8) im ganzen Untersuchungsgebiet zeigt keine (unter großräumig auftretenden Bändertenvorkommen) Zu- bzw. Abnahme im Karbonatgehalt. Es lassen sich nur Vergleiche unter einigen der bearbeiteten Stellen ziehen. So fällt auf, daß die Vorkommen in kalkalpinen

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Imst	8	18.94	16.0	23.0	10.94	2.0	16.0	8.00	4.0	15.0	1:0.7
Telfs	6	41.00	12.0	68.0	9.83	0.0	21.0	31.17	12.0	47.0	1:3
Inzing	14	7.18	2.0	13.5	0.89	0.0	2.5	6.28	2.0	11.5	1:7
Ziegelstadel	7	19.14	15.0	25.0	3.07	2.0	4.0	16.07	12.0	23.0	1:5
Arzl	4	20.75	16.0	25.5	6.75	6.0	8.0	14.00	10.0	18.5	1:2
Baumkirchen	30	13.38	9.0	22.0	5.52	3.0	9.0	7.86	5.0	14.0	1:1.5
Kasbach	5	21.50	20.0	25.0	6.30	5.0	10.0	15.20	14.0	16.5	1:2.5
Schloßberg	7	78.93	70.5	89.0	18.71	1.5	36.5	60.21	37.5	87.5	1:3
Steinberg I	9	43.11	39.0	49.0	11.38	9.0	14.0	31.73	28.0	36.0	1:3
Steinberg II	5	45.10	40.5	50.0	8.80	6.0	12.0	36.30	32.0	41.5	1:4
Steinberg III	4	82.00	81.0	83.0	11.37	9.5	13.5	70.62	67.5	72.5	1:6.5
Brandenberg	9	47.83	27.5	65.0	16.27	11.0	22.5	31.55	16.5	46.5	1:2
Staudinger	14	50.03	44.0	55.0	12.07	6.5	17.5	37.96	30.5	46.5	1:3
Hopfgarten	6	5.50	4.0	9.0	1.33	1.0	2.0	4.16	2.0	8.0	1:3
Ellmau	4	21.00	18.0	23.0	7.00	6.0	8.0	14.00	11.0	16.0	1:2
Itter	4	21.75	20.0	23.0	5.25	4.0	6.5	16.50	14.5	18.5	1:3
Auffach	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Matrei/Brenner	6	19.25	17.0	22.5	8.83	7.0	12.0	10.58	7.0	12.5	1:1

1: Anzahl der Proben

2: Gesamtkarbonatgehalt im Durchschnitt

3: Gesamtkarbonatgehalt min.

4: Gesamtkarbonatgehalt max.

5: Calcitgehalt im Durchschnitt

6: Calcitgehalt min.

7: Calcitgehalt max.

8: Dolomitgehalt im Durchschnitt

9: Dolomitgehalt min.

10: Dolomitgehalt max.

11: Calcit/Dolomitverhältnis

Tab. 8: Karbonatgehalt und -verteilung der Bändertonevorkommen

Seitentälern: Schloßberg, Steinberg, Brandenburg und Staudingerbach, die höchsten Gehalte, sowohl an Gesamtkarbonat als auch an Calcit (Cc) und Dolomit (Do) aufweisen. Dagegen ist der Bändertone von Auffach, zentralalpiner Bereich, karbonatfrei. Die Vorkommen im Haupttal - Imst, Telfs, Inzing, Ziegelstadel, Arzl, Baumkirchen, Kasbach - zeigen in keiner Weise eine progressive noch eine regressive Entwicklung sowohl des Gesamtkarbonat- als auch des Cc- und Do-Gehalts. Imst, Ziegelstadel, Arzl und Kasbach enthalten annähernd gleich viel Karbonat, aber das Cc-/Do-Verhältnis ändert sich gewaltig. So weist Imst im Durchschnitt als einziges Vorkommen höhere Cc- als Do-Werte auf.

Gut die Hälfte der Vorkommen enthält einen Quarzgehalt (siehe Tab. 8) zwischen 10% und 12%. Die restlichen Stellen weisen einen extrem niedrigen (z.B. Schloßberg, 3%), oder einen hohen (z.B. Itter, 18%; Auffach und Staudingerbach, 17%) durchschnittlichen Quarzgehalt auf. Bei den Proben der im Inntal gelegenen Vorkommen ist keine richtungsabhängige Veränderung entlang dem Tal zu bemerken.

Eine kontinuierliche Zu- bzw. Abnahme des Feldspatanteils (siehe Tab.8) der Vorkommen ist nicht nachzuweisen. Im Haupttal ist einerseits die hohe Konzentration in Proben von Arzl, andererseits die Armut bei Proben von Imst und Kasbach zu bemerken.

Von den Tonmineralen (TM) (siehe Tab. 8) konnten nur Illit/Muskovit (Ill/Mu)- und Chloritgruppe (Chl) nachgewiesen werden. Das Verhältnis dieser beiden TM-Gruppen zueinander ergab jedoch größere Differenzen unter den untersuchten Proben und Vorkommen. Mit Ausnahme von Kasbach sind die Bändertone im Inntal durch das Vorherrschen der Ill/Mu-Gruppe gekennzeichnet. Die Chloritgruppe tritt nur bei Auffach stark hervor. In den restlichen Profilen herrscht eher Gleichgewicht in der TM-Gruppenverteilung.

Von den übrigen Mineralgruppen wurde lediglich der Hornblendereflex identifiziert. Dieser Reflex tritt sehr unterschiedlich bei verschiedenen Proben bzw. Vorkommen auf, da es sich um geringe Anteile (Spur) handelt. Auffallend ist das Auftreten des Hornblendereflexes bei allen Proben von Inzing und Ziegelstadel (Einzugsgebiet Ötztal - Stubai Altkristallin). Bis auf wenige Ausnahmen fehlt bei Baumkirchen, Schloßberg, Brandenburg, Kasbach und Auffach fast völlig jeder röntgenographisch nachweisbare Hornblendeanteil.

Die graphische Darstellung der Korngrößenverteilung in Form gemittelter Kornsummenkurven aus Streubereichen (Abb. 6) aller untersuchten Proben der Vorkommen im Inntal verdeutlicht die größeren Differenzen in der Lage der einzelnen Streubereiche im Kornsummendigramm. Die erschlossenen Bändertone von Imst, Inzing und Kasbach, dann Ziegelstadel und Baumkirchen, und letztlich Arzl und Telfs, lassen sich zu deutlich voneinander getrennten Kornverteilungsgruppen zusammenfassen. Dabei unterscheiden sich diese drei Gruppen in den am Kornaufbau beteiligten Sand-, Silt- und Tonmengen. So ist die erste Gruppe (Imst, Inzing, Kasbach) durch einen höchsten Tonanteil (bis 35%) und einen niedrigsten (unter 18%) Sandanteil gekennzeichnet. Die zweite Gruppe (Ziegelstadel, Baumkirchen) ist in den Ton-, Silt-, Sandmengen völlig identisch. Der Tonanteil variiert bei beiden Vorkommen zwischen 10% und 25%, der Sandanteil bleibt unter 20%. Die Vorkommen Arzl und Telfs zeigen die höchsten Sand- und die niedrigsten Tonwerte. Die übrigen Bändertonevorkommen zeigen ebenfalls unterschiedliche Massenanteile der einzelnen Kornklassen (siehe auch Tab. 8).

Die sedimentologisch-statistischen Parameter, Sortierung und Schiefe zeigen auch innerhalb der Proben ein- und desselben Profils bzw. einer

Lokalität oft größere Abweichungen voneinander. Auffallend gute Sortierung (niedrige Werte) weisen die Vorkommen Auffach und Itter, dagegen Brandenberg und Telfs die größte Streuung auf. Bei den Vorkommen in der Reihenfolge Hopfgarten, Matrei, Ziegelstadel, Baumkirchen, Inzing, Steinberg, Ellmau, Staudingerbach, Schloßberg, Kasbach werden die durchschnittlichen Sortierungskoeffizienten höher. Die asymmetrischen Kornverteilungskurven (Schiefekoeffizient) zeigen Itter, Telfs, Staudingerbach und Steinberg, wobei die Werte stets ein positives Vorzeichen, d.h. mehr Kornklassen in den feineren Korngrößen haben.

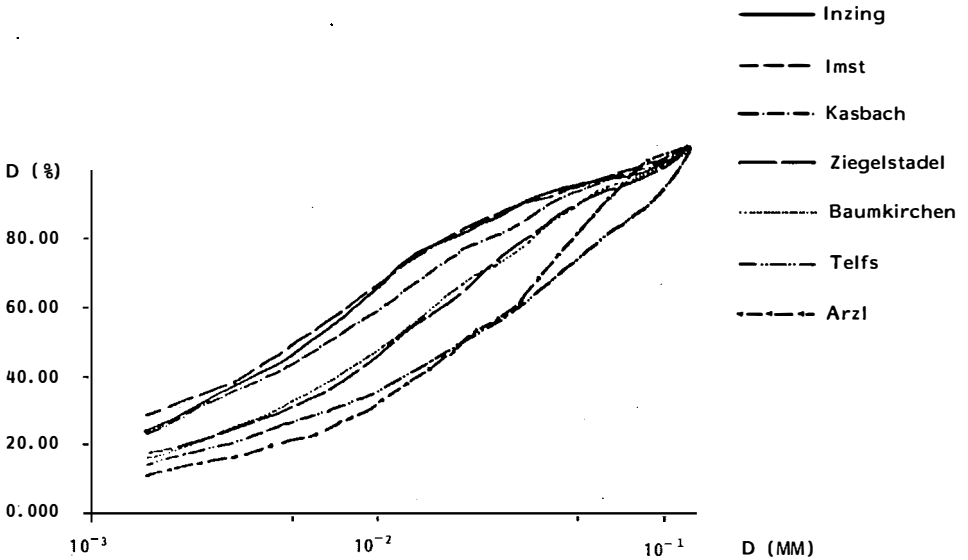


Abb. 6: Korngrößenverteilungskurven der untersuchten Bändertonvorkommen im Inntal.

4.3. Paläogeographie

Im vorangegangenen Kapitel (4.2.) wurden der Mineralbestand und die Kornzusammensetzung als Kriterien zur Unterscheidung der einzelnen Bändertonvorkommen herangezogen.

Zur Erstellung eines paläogeographischen Modells sollen außerdem weitere Parameter, welche zuletzt HORVACKI (1982) beobachtet und beschrieben hat, dienen:

- a) Unterschiedliche Warvenmächtigkeit
- b) Geographische Lage und die verschiedenen hohen Obergrenzen der Vorkommen
- c) Art der Überlagerung der Bändertone
- d) Auftreten bestimmter Sedimentstrukturen
- e) Zusammensetzung der Schotter im Hangenden der Bändertone
- f) Lebensspuren und Holzreste

Der unterschiedliche Mineralbestand der Bändertone deutet auf zwei Einzugsgebiete hin. Einerseits handelt es sich um die kalkalpine, andererseits um die zentralalpine, kristallin- und schiefer-tonreiche Komponente. In den Vorkommen der nördlichen Seitentäler kommt das kalkalpine (Nördliche Kalkalpen) Liefergebiet deutlich zum Ausdruck. Im Gegensatz dazu deutet der Mineralbestand (Karbonatarmut) des Vorkommens Auffach auf den ausschließlich zentralalpinen Bereich hin. Der Bändertone von Matrei, ebenfalls im zentralalpinen Bereich liegend, wurde sicherlich aus dem Brennermesozoikum mit Karbonat beliefert. Die lokalen Einzugsgebiete spiegeln sich im Mineralbestand auch bei den Vorkommen im Inntal, z.B. Inzing-Ziegelstadel, wider. Im allgemeinen erhalten die verschiedenen Bändertonevorkommen auch völlig ortsfremde Mineralgruppen. Diese dürften aus älterem Moränenmaterial, aber auch aus durch Gletscherschmelzwasser verfrachtetem Material stammen. Daß der Mineralbestand nicht nur vom Liefergebiet, sondern auch von der Kornzusammensetzung der Sedimente abhängig ist, wird durch die Trennung zweier Lagen einer Probe von Hopfgarten bestätigt. Die feine Lage ist nahezu quarz-, dolomit- und calcitfrei, dagegen steigt aber in der groben Schicht der Anteil dieser Minerale und gleichzeitig wird Tonmineralverlust bemerkbar.

Weiters ist eine Abhängigkeit zwischen der Streuung und der Korngröße zu verzeichnen. Eine Sortierung des Sedimentmaterials erfolgte nur in den feineren, die größeren Kornklassen blieben nahezu unsortiert. Die Differenzen in der Korngrößenzusammensetzung und Sortierung der einzelnen Proben desselben Profils variieren bei manchen Vorkommen gering, bei anderen wiederum markant. Diese Schwankungen sind vor allem auf veränderliche klimatische bzw. Sedimentationsbedingungen zurückzuführen.

Die Bändertone weisen sehr unterschiedliche Warvenmächtigkeiten auf (z.B. Ziegelstadel kaum-gering; Inzing gut, mit kaum sichtbaren dunklen Lagen). Manche Vorkommen sind durch typische Sedimentstrukturscheinungen charakterisiert (z.B. Arzl - "Boudinage"-Struktur). Im Inntal liegen die Bändertone in unmittelbarer Nähe eines größeren Zuflusses bzw. an Seitentalausgängen. Schloßberg und Steinberg liegen in glazial übertieften Senken, welche u.U. eine Seebildung begünstigt haben.

Der Bändertone vom Ziegelstadel wird als einziges Vorkommen im Inntal direkt durch Moränen überlagert.

Die Zusammensetzung der Schotter im Hangenden zeigt, daß diese in den Seitentälern durch lokale Einzugsgebiete beeinflußt wurden. Die örtlichen Komponenten sind in der Regel schlechter gerundet und in ihrem Anteil den "ortsfremden" Geröllen weit unterlegen. Sofern eine Überlagerung der Bändertone im Inntal durch Schotter in den aufgenommenen Profilen vorhanden ist, zeigen diese das gleiche Komponentenspektrum. Sie werden kaum von den lokalen Verhältnissen beeinflußt.

Im Bändertone von Baumkirchen konnten Lebensspuren beobachtet und Ästchenreste (Pinusart) gefunden werden. Das fossile Material war schlecht erhalten und somit nicht näher zu bestimmen.

Wenn man diese Beobachtungen einordnen will, so stellt sich zwingend die Frage, ob es überhaupt möglich ist, daß die Bändertonevorkommen - wegen der beträchtlichen petrographischen Differenzen - in einem großen Inntalsee abgelagert wurden.

Die verschiedenen Parameter lassen sich nicht voneinander trennen, da sie einander beeinflussen und miteinander verknüpft sind. Man kann sicherlich nicht von einem See sprechen, wenn sich die einzelnen, insbesondere die geographisch benachbarten, Bändertonlager in einigen Punkten so markant unterscheiden. Die Feststellung, daß der Mineralbestand in beträchtlicher Weise von lokalen Einzugsgebieten geprägt wurde, stimmt mit der weiteren Beobachtung, daß die Suspension über längere Zeit in Schwebelage bleibt, nicht überein, weil es dadurch zur Mischung dieser, infolge der uferparallelen Strömungen in Glazialseen, kommen müßte (COLLINSON, 1981). Daß es zu keiner Mischung gekommen ist, kann, was eher unwahrscheinlich ist, durch unterschiedliche Dichte der Suspension erklärt werden. Wenn man in diese Betrachtung einen weiteren Parameter, nämlich die Korngrößenverteilung, einbezieht, so müßte mit sehr unterschiedlichen Verhältnissen im Inntalsee gerechnet werden. Demnach würde der Bänderton von Inzing in einem ruhigen (? Bucht) und zugleich nur von einem Zufluß mit lokalem Sediment belieferten Ablagerungsmilieu zum Absatz gekommen sein. Das letztere ist ebenfalls eher unwahrscheinlich, aber möglich. Warum sollten die Karbonate des benachbarten Liefergebietes des Bändertons vom Ziegelstadel nie Inzing erreicht haben, wobei die ersteren stärkere Wasserbewegung anzeigen? Die Korngrößenverteilung und Anhäufung der Karbonate in größeren Kornklassen sind m.E. nicht zufriedenstellend, genauso wie die Karbonatfällung, zu welcher es kommen kann, wenn kalkiges Material in Lösung herantransportiert wird (KELTS & HSU, in: LERMAN (Ed.), 1978). Die Obergrenze des Bändertonvorkommens vom Ziegelstadel liegt um 100 m tiefer als bei Inzing. Ob es bloß eine Auswirkung der Erosion ist? Demnach sind die mächtigen Terrassenschotter vom Ziegelstadel, angenommen, daß sie einheitlich im Inntal dem letzten Gletschervorstoß zuzuschreiben sind (FLIRI et al., 1970), einer stärkeren Erosionsphase ausgesetzt gewesen. Wahrscheinlicher als die unterschiedlich heftige erosive Entfernung des Hangenden ist jedoch die verschiedenzeitliche Ablagerung der Bändertonvorkommen.

Aus bisherigen Untersuchungen wird angenommen, daß der Schotter dem letzten (Würm III) Gletschervorstoß (Vorstoßschotter) und die Moräne der letzten Vergletscherung (Würm III) (FLIRI et al., 1970), im Hangenden der Bändertone, zuzuordnen sind. Die Bändertone müssen also älter als diese sein. Wenn man von der Annahme, wonach die kleineren Gletscher rascher, größere langsamer und ganz große oft mit Verspätung auf den Klimaumschwung reagieren, ausgeht, ist die Vorstellung von einem Interstadialalter der Bändertone wohl berechtigt. Auf die Erwärmungsperiode - Interstadial - (zwischen Würm II und III) hat der mächtige Inntalglacier sehr träge, die seitlichen (Seitentäl-) Gletscher dagegen aber viel schneller reagiert. Dieses Ereignis hat somit in den Seitentälern früher zu einer Eisfreiheit geführt als im Inntal selbst. Aufgrund der Nomenklatur von METZ (1977) könnte es zu Eisrandstauseebildung gekommen sein.

Das Gletschereis hat die großen Wassermengen (Abschmelzung) der seitlichen Täler abgedämmt und somit zur Bildung eines Eisrandsees geführt (Abb. 7). Mit dem langsamen Zurückweichen (Abschmelzen) des Inntaleises vergrößerte sich der See.

Die Seebildung und die Abdämmung der seitlichen Täler erfolgte sicherlich nicht gleichzeitig, da auch die Seitentäler nicht gleich groß bzw. nicht gleichzeitig eisfrei wurden. Der Bänderton von Imst ist möglicherweise jünger als der im Inntal. Der See könnte durch den Riegel von Karres abgedämmt worden sein, in der Zeit, in der das Gurgltal bereits eisfrei gewesen ist. Für verschiedenzeitliche Ablagerung der Bändertone spricht auch der Bänderton vom Ziegelstadel durch seine fehlende Schotterüberlagerung.

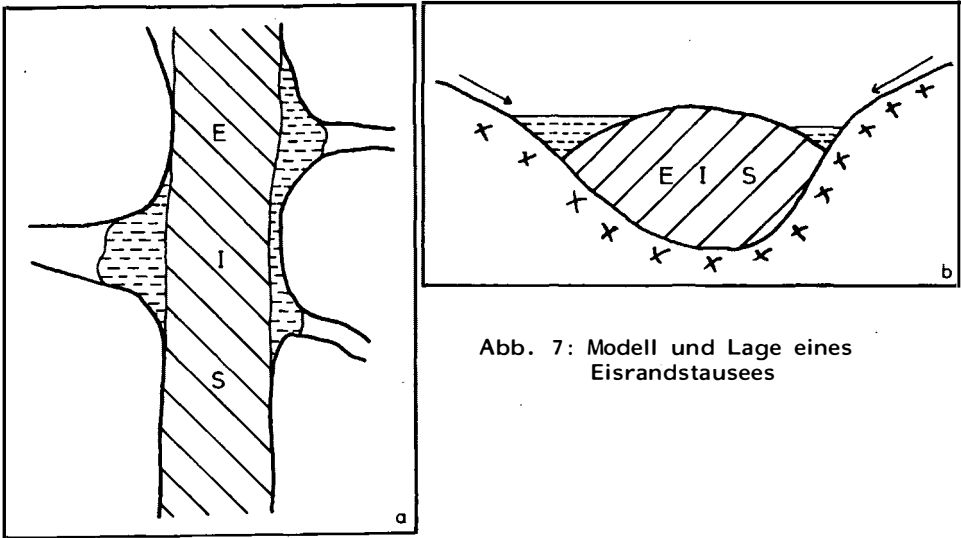


Abb. 7: Modell und Lage eines Eisrandstausees

Durch die erosive Wirkung des heranwachsenden Gletschers (auch die der seitlichen Gletscher) wurden während der letzten (Würm III) Vergletscherung die Bändertone größtenteils entfernt. Sie sind heute, an den Talflanken, als Reste früherer Lager erhalten.

4.4. Rohstoffeignung

Wie der Mineralbestand der Bändertone zeigt, ist dieses Sediment prinzipiell als grobkeramischer Rohstoff geeignet. Es treten einige Differenzen im Quantum der einzelnen Mineralgruppen, vor allem zwischen den im Inntal und den in den kalkalpinen Seitentälern erschlossenen Vorkommen auf.

So sind die Vorkommen Schloßberg, Steinberg, Brandenburg und Staudingerbach durch einen niedrigen TM-Gehalt, dagegen aber einen hohen, stets unter dem Richtwert ($< 30\%$) liegenden Calcitgehalt gekennzeichnet. Der Verlust an TM-Gehalt stellt jedoch die Bändertone von Schloßberg (durchschnittlich 15%), Steinberg (durchschnittlich 22%) und Staudingerbach (durchschnittlich 17%) als potentiellen grobkeramischen Rohstoff eher in Frage. Die restlichen Vorkommen erreichen die erforderlichen Anteile, sowohl an TM als auch an Feldspat und Quarz. Calcit bleibt deutlich unter den erlaubten 30% . Da die Bändertone nur Illit und Chlorit von den Tonmineralen enthalten, ist es sicherlich notwendig, sie durch die entsprechenden Zusätze (z.B. Kaolinit, Montmorillonit) als wenig mageren Rohstoff zu verbessern. Der Fe- und Ti-Gehalt der Proben läßt abschätzen, daß die Erzeugnisse stets farbig sein werden (Tab. 9).

	Imst	Inzing	Ziegelstadel	Arzi	Baumkirchen	Kasbach	Steinberg	Brandenberg	Hopfgarten	Ellmau	Staudingerbach	Matrei	Schloßberg
xx	4	15	6	1	30	5	16	12	4	1	14	6	3
CaO	7.56	4.05	9.14	7.09	3.83	9.44	14.85	17.83	1.76	9.25	18.06	10.34	30.76
Al ₂ O ₃	17.07	17.22	13.47	16.55	23.06	16.46	9.35	10.67	21.34	16.14	7.08	17.43	4.81
FeO*	5.68	6.90	4.46	5.26	8.42	6.61	3.03	3.40	7.60	5.54	2.39	6.34	0.85
MnO	0.10	0.09	0.12	0.10	0.09	0.08	0.09	0.06	0.11	0.15	0.07	0.22	0.05
K ₂ O	3.55	3.48	2.71	4.04	5.24	2.74	2.92	2.32	4.75	3.36	1.66	2.92	0.73
P ₂ O ₅	0.23	0.17	0.24	0.17	0.14	n.b.	0.16	0.16	0.05	0.27	0.15	n.b.	0.03
TiO ₂	0.70	0.92	0.68	0.85	0.87	0.69	0.38	0.42	1.07	0.69	0.25	0.67	0.18
SiO ₂	44.25	54.25	47.40	47.08	48.37	43.74	36.27	35.62	52.06	44.60	34.29	44.20	16.87
MgO	6.00	4.13	6.09	5.41	3.60	2.70	7.86	7.34	3.39	5.35	8.38	2.99	9.28
Na ₂ O	1.49	2.77	2.30	2.35	0.96	n.b.	1.22	0.85	1.57	1.27	0.73	n.b.	0.31
SO ₃	n.b.	n.b.	n.b.	0.06	0.09	n.b.	0.06	0.05	n.b.	n.b.	0.08	n.b.	n.b.
GV	12.93	5.93	12.83	10.94	8.04	12.70	23.63	20.89	6.28	13.26	25.78	13.45	35.67
Summe	99.56	99.91	99.44	99.90	102.71	95.16	99.82	99.61	99.98	99.88	98.92	98.56	99.54
Sil.-M.	1.95	2.25	2.64	2.16	1.54	1.90	2.93	2.53	1.80	2.06	3.62	1.86	2.98
Tonerde-M.	3.01	2.50	3.02	3.15	2.74	2.49	3.09	3.14	2.81	2.91	2.96	2.75	5.66

*FeO als Gesamteisen

xx Zahl der analysierten Proben

Tab. 9: Pauschalchemismus der Bändertone

Die Korngrößenverteilung (Tab. 8) zeigt deutlich, daß Bändertone ohne Zusätze an bestimmten Korngrößenbereichen nur zur Herstellung von minderwertigen Produkten geeignet sind. Etwas bessere Kornzusammensetzung weisen Inzing (ausgeglichen), Imst (hoher < 2 µm-Anteil), Kasbach, Ellmau und Hopfgarten auf. Durch die entsprechenden Beimischungen der Fraktion < 0.002 mm und vielleicht von Kaolinit wären diese Vorkommen als guter Rohstoff zur Herstellung von Hohlziegeln geeignet.

Trotz relativ guter Qualität (Mineralbestand und Kornverteilung) reichen die geschätzten Kubaturen einiger Vorkommen für einen wirtschaftlich sinnvollen Abbau nicht aus.

Als ein geeigneter und in ausreichender Menge über Jahre hinaus vorhandener Rohstoff bieten sich auf jeden Fall die Vorkommen Imst, Ziegelstadel, Baumkirchen und Hopfgarten an.

Wie aus den chemischen Analysen einiger Proben (Tab. 9) hervorgeht, sind die Bändertone als Zementzuschlagstoff wenig geeignet. Obwohl die Silikat- und Tonerdemodule, mit Ausnahme von Schloßberg, stets im erlaubten, genormten Bereich schwanken, übersteigen die Alkalien in den untersuchten Proben die Grenzwerte von 1%, und somit scheiden sie als möglicher Zementrohstoff aus. Nicht nur, daß die Proben alkalireich sind, sondern auch ihre Mg-Anteile sind höher als erlaubt. Lediglich in allen Proben von Baumkirchen, Inzing, Kasbach, Hopfgarten, Auffach und Matrei bleiben sie unter 5%.

LITERATUR

- AICHHORN, A. (1978): Geologische Untersuchungen im Raum Viehhofen/Zell am See. - Unveröff. Diss., Universität Innsbruck.
- AMPFERER, O. (1908): Über die Entstehung der Inntalterrassen. - Verh. Geol. R.-A., 87-97, Wien.
- BECHSTADT, T. & h. MOSTLER (1974): Mikrofazies und Mikrofauna mitteltriadischer Beckensedimente der Nördlichen Kalkalpen Tirols. - Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck, 4, 5/6, 1-74, Innsbruck.
- BOBEK, H. (1935): Die jüngere Geschichte der Inntalterrasse und der Rückzug der letzten Vergletscherung im Inntal. - Jb. Geol. B.-A., 85, 135-189, Wien.
- BROWN, G. (1972): The X-ray identification and crystal structures of clay minerals. - Mineral. Soc., London.
- COLLINSON, J.D. (1981): Lakes. - In: READING, H.G. (Ed.): Sedimentary Environments and Facies, 61-80, Blackwell Scientific Publications.
- FLIRI, F.; BORTENSCHLAGER, S.; FELBER, H.; HEISSEL, W.; HILSCHER, H. & W. RESCH (1970): Der Bänderton von Baumkirchen (Inntal, Tirol). Eine neue Schlüsselstelle zur Kenntnis der Würm-Vereisung der Alpen. - Z. f. Gletscherkunde u. Glazialgeologie, 6, 5-35.
- FLÖRL, W. (1982): Zur Geologie des Hartkasergebietes unter Berücksichtigung rohstoffkundlicher Aspekte. - Unveröff. Diss., Univ. Innsbruck.
- HEISSEL, W. (1954): Beiträge zur Quartärgeologie des Inntales. - Jb. Geol. B.-A., 97, 251-322, Wien.
- HORVACKI, J. (1982): Ablagerungsmodell der Tiroler Bändertone aufgrund sedimentpetrographischer Analysen mit rohstoffkundlicher Bewertung. - Unveröff. Diss., Univ. Innsbruck.

- JACOBSHAGEN, V. (1965): Die Allgäu-Schichten (Jura-Fleckenmergel) zwischen Wettersteingebirge und Rhein. - JB. Geol. B.-A., 108, 1-115, Wien.
- KELTS, K. & K.J. HSU (1978): Freshwater carbonate sedimentation. - In: LERMAN, D. (Ed.): Lakes, Chemistry, Geology, Physics, 295-323, Springer-Verlag.
- KLEBELSBERG, R.v. (1935): Geologie von Tirol. - Borntraeger, 872 S., Berlin.
- MACHATSCHEK, F. (1934): Beiträge zur Glazialgeologie des Oberinntales. - Mitt. Geogr. Ges. Wien, 77, 217-244.
- MAYR, F. (1968): Über den Beginn der Würmeiszeit im Inntal bei Innsbruck. - Z. f. Geomorph., 3, 256-296.
- METZ, B. (1977): Geomorphologische Untersuchungen zur Unterscheidung zwischen Eisrand- und Moränenstauseen. - Ber. Naturforsch. Ges. zu Freiburg/Br., 67, 203-216.
- MOSTLER, H. (1970): Struktureller Wandel und Ursachen der Faziesdifferenzierung an der Ordoviz/Silur-Grenze in der Nördlichen Grauwackenzone (Österreich). - Festbd. Geol. Inst., 300-Jahr-Feier Univ. Innsbruck,
- MOSTLER, H. (1972): Zur Gliederung der Permoskyth-Schichtfolge im Raum zwischen Wörgl und Hochfilzen. - Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud., 20, Wien, 155-162.
- PASCHINGER, H. (1957): Klimamorphologische Studien im Quartär des alpinen Inntals. - Z. f. Geomorph., N.F. 1, 237-270.
- PENCK, A. (1882): Die Vergletscherung der deutschen Alpen, ihre Ursachen, periodische Wiederkehr und ihr Einfluß auf die Bodengestaltung. - 483 S., Leipzig.
- PENCK, A. (1890): Die Glazialschotter in den Ostalpen. - Mitt. Dtsch. u. Österr. AV, 289-292.
- PENCK, A. (1920): Die Höttinger Breccie und die Inntalterrasse nördlich Innsbruck. - Abh. Preuß. Akad. Wiss., Phys.-math. Kl., 2, 136.
- PENCK, A. (1922): Ablagerungen und Schichtstörungen der letzten Interglazialzeit in den Nördlichen Kalkalpen. - Sitzber. Preuß. Akad. Wiss., Phys.-math. Kl., 20, 214-251.
- PLATTNER, A. (1973): Phasenumbildung bzw. -neubildungen beim Brennen der Wildschönauer Schiefer unter besonderer Berücksichtigung ihrer Bläheigenschaften. - Forsch.-Ber. Inst. f. Baustofflehre u. Materialprüfung, Univ. Innsbruck.
- SCHULZ, H. (1969): Geologische und verfahrenstechnische Voraussetzungen für die Prognose und Suche von natürlichen Rohstoffen zur Herstellung von Blähton und Blähschiefer. - Z. angew. Geol., 15, 4.
- TURNER, F.J. (1968): Metamorphic petrology. - McGraw-Hill.
- URLICHS, M. (1972): Ostracoden aus den Kössener Schichten und ihre Abhängigkeit von der Ökologie. - Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud., 21, 661-709, Innsbruck.
- WEHRLI, H. (Monographie der interglazialen Ablagerungen im Bereich der nördlichen Ostalpen zwischen Rhein und Salzach. - Jb. Geol. B.-A., 78, 357-498, Wien.
- ZOEKE, M.E. (1944): Tiroler Bändertone. - Diss., Univ. Göttingen.