

Kristallingerölle in Liasbuntkalken der Lechtaler Alpen

Exotic cristalline components in Liassic Cephalopod Limestones
of the Northern Calcareous Alps

Magnus LANTSCHNER*, Richard LEIN* & Martin THÖNI*

mit 2 Abbildungen und 1 Tafel
with 2 figures and 1 plate

Schlüsselwörter:

Nördliche Kalkalpen
Tirol/Vorarlberg
Adneter Kalk
Kristallingerölle

Keywords:

Northern Calcareous Alps
Tyrol/Vorarlberg
Adnet Limestone
Cristalline Cobbles

Herrn Prof. Dr. H. MOSTLER
zum 60. Geburtstag gewidmet

Adresse der Autoren:

Authors address:

* Institut für Geologie der Universität Wien
Geozentrum, Althanstraße 14
A-1091 Wien

Mitt. Ges. Geol.- Bergbaustud. Österr.

Bd. 39/40

S. 211–220

Wien 1996

Inhalt

1. Zusammenfassung, Abstract	213
2. Einleitung	213
3. Fundpunkt	213
4. Schichtfolge des Lias	214
4.1. Hierlatzbasiskalk	214
4.2. Adnet Kalk	214
4.3. Allgäuschichten	214
4.4. Ziegelrotserie / debris flow	214
5. Petrographie der Kristallin-Komponente	217
6. Detritische Quarze im Crinoidenmikrit	217
7. Diskussion	217
8. Literatur	218

Contents

1. Zusammenfassung, Abstract	213
2. Introduction	213
3. Finding place	213
4. Stratigraphic sequence	214
4.1. Hierlatzbasiskalk	214
4.2. Adnet Limestone	214
4.3. Allgäu Formation	214
4.4. Adnet Marls	214
5. Petrography of the exotic crystalline components	217
6. Detritic quartz grains in crinoidal limestones	217
7. Discussion	217
8. References	218

1. Zusammenfassung

Es wird von einem Fund exotischer Gerölle berichtet, welche in Liasbuntkalken der Lechtaler Alpen (Arlberggebiet) auftreten. Aufgrund ihrer petrographischen Analogie zu Gesteinen der Phyllitgneiszone wird eine Herkunft der Gerölle aus dem Sockelbereich der Kalkalpen vermutet. Weiters wurden in Buntkalken desselben Gebietes den ganzen Jura hindurch kleine Mengen windverfrachteter Quarze ($\varnothing < 0,02$ mm) festgestellt.

Dader Fund cm-großer Glimmerschieferstücke in Liasbuntkalken keinen Einzelfall darstellt, sondern ähnliche Funde aus demselben stratigraphischen Niveau auch aus anderen Teilen der Nördlichen Kalkalpen bekannt sind, wird die Frage nach dem Herkunftsgebiet diskutiert. Als plausibelste Erklärung erscheint ein im Lias erfolgtes transpressives Hochschürfen von Teilen des kalkalpinen Basements, das entlang großer Transformstörungen erfolgt sein dürfte.

Abstract

New findings of exotic cobbles embedded in Jurassic Limestones from the Lechtal Alps (Arlberg Area) are reported. Petrographic-microstructural characteristics and mineralogy of these rocks compare well with the crystalline units as exposed in the nearby "Phyllitgneiszone". For this reason, derivation of the exotics from the former basement of the Northern Calcareous Alps (NCA) seems probable. Furthermore, in most of the Jurassic Red Cephalopod Limestones from the wider area of investigation, small but consistent amounts of wind-blown quartz grains (< 0.02 mm) have been observed.

Findings of cm-sized micaschist detritus have earlier been reported also from other parts of the NCA and from well comparable stratigraphic levels. Therefore, the question about the derivation of such basement components is discussed here. We propose transpressive exhumation and subsequent erosion of parts of the NCA's crystalline basement during the Liassic as one possibility, which may have been active along major E-W striking transform faults.

2. Einleitung

Im Rahmen einer Kartierungsübung des Geologischen Institutes der Universität Wien wurden im Sommer 1992 im Grenzbereich zwischen Tirol und Vorarlberg (nordöstlich des Flexenpasses) Kristallingerölle entdeckt, welche in Liasbuntkalken eingebettet sind. Eine zur gleichen Zeit laufende und nunmehr abgeschlossene Diplomarbeit (LANTSCHNER 1994), welche eine

Bearbeitung der Sonderentwicklung der Juraschichtfolge dieses Raumes zum Ziel hatte, gab nähere Hinweise zur stratigraphischen Position des Schichtverbandes, der diese exotischen Gerölle enthält. Im Rahmen dieser Arbeit wurden in Jurabuntkalken weitere Profile zwar keine Kristallingerölle, jedoch verbreitet detritische Quarze entdeckt, die den Schluß auf ein nicht allzu entferntes kristallines Hinterland nahelegen.

Vor dem Hintergrund derartiger geodynamischer Implikationen scheint eine Diskussion des Fundes vor allem deshalb wichtig, weil es mancherlei Hinweise für das Vorhandensein von exotischen Geröllen in kalkalpinen Juraablagerungen gibt. Doch sind diese entweder umstritten, ähnlich jenen, welche DIENER (1885:31) aus dem Rofengebirge erwähnt hat, oder nicht näher dokumentiert wie jene, welche PLÖCHINGER (pers. Mitt.) vor längerer Zeit in Liasbuntkalken des Osterhorn-Tirolikums entdeckt hat.

3. Fundpunkt

Der auf markierten Wegen von Lech bzw. von Zürs aus leicht erreichbare Fundpunkt (Abb. 1) befindet sich im Bereich der Lechtal-Decke, unmittelbar nördlich der Krabachjoch-Deckscholle. Das Gebiet wird dominiert von flachen, westvergenten Überschiebungen, die ältere ESE-WNW streichende Strukturen überprägen, deren südlicher Teil abgesenkt wurde (HELMCKE 1975: 205). Die Juraschichtfolge dieses Raumes zeichnet sich durch eine besonders geringmächtige Sonderentwicklung aus (KOCH & STENGEL-RUTKOWSKI 1959, KINDLE 1983).

Jene Buntkalke, welche die erwähnten Kristallingerölle enthalten, stehen südlich der Wösterspitze in unmittelbarer Nähe des Bockbachsattels auf der dem Ochsenzümpel zugewandten Seite an. Dort ist in einem schleifenden Geländeverschnitt weitflächig der Kontakt zwischen Oberrhätalkalk und dem hier ungewöhnlich massig ausgebildeten Adneter Kalk besonders gut aufgeschlossen. Der Adneter Kalk ist an dieser Stelle zwar sehr fossilreich (Crinoiden, Lamellibranchiaten, Gastropoden und Belemniten), jedoch arm an Ammoniten, von denen kein einziges Exemplar in körperlicher Erhaltung herauspräpariert werden konnte.

Eingebettet in einer endogen brekziösen Buntkalkmatrix finden sich an dieser Stelle vereinzelt plattige Glimmerschieferkomponenten unterschiedlicher Größe (max. 7 cm), deren Ecken abgerundet sind und deren Oberfläche keine Kritzspuren aufweist.

In unmittelbarer Nähe keilen die Allgäuschichten von Osten nach Westen aus, die Adneter Kalke in distalerer Position (liegend der Allgäuschichten) sind deutlich knollig-bankig ausgebildet. Die Fortsetzung nach We-

sten hin ist nicht aufgeschlossen. Das genaue stratigraphische Alter der Brekzie konnte also aufgrund fehlender Fossilien nicht bestimmt werden, sodaß auf analoge Profile dieses Raumes (s.u.) weiterverwiesen werden muß. Die Lithofazies deutet auf Sinemur oder Pliensbach hin, ohne daß jedoch die stratigraphische Position näher eingengt werden kann.

Unmittelbar im Hangenden des massigen Adneter Kalkes folgt bereits malmischer Steinmühlkalk, was als Hinweis auf tektonische „Erosion“ durch horizontale Bewegungen an den Schichtgrenzen zu sehen ist.

4. Schichtfolge des Lias

Die folgende Beschreibung der aus zahlreichen Detailprofilen der näheren Umgebung des Fundpunktes abgeleiteten Liasschichtfolge (LANTSCHNER 1994) erfolgt in stratigraphischer Reihenfolge:

4.1. Hierlatzbasiskalk

Die Schichtfolge des Juras beginnt in den Nordkalkalpen immer wieder mit einem massigen grauen, crinoidenführenden Kalk. In Anlehnung an BÖHM (1992) wird diese maximal 6 bis 7 m mächtige Entwicklung als Hierlatzbasiskalk bezeichnet. Der makroskopisch schwer vom liegenden Oberrätkalk zu trennende Hierlatzbasiskalk besteht aus Wacke- bis Packstones mit Crinoiden und Schwammnadeln als Hauptkomponenten. Daneben treten Brachiopoden, Gastropoden, Ostracoden, Ammoniten und rotaliide Foraminiferen auf. Für die Interpretation wichtig sind Glaukonitvorkommen, die diffus (? in Grabgängen) in der Matrix verteilt sind.

Zur Genese dieses Kalkes (Karbonatgehalt 90%) kann nur eine langsame Sedimentationsrate (Glaukonit, Kondensationshorizonte) als sicher angegeben werden. Es handelt sich sicher nicht um eine Tiefseesediment, eine Ablagerung unterhalb der Wellenbasis scheint wahrscheinlich.

4.2. Adneter Kalk

Diese auffallende Schwellenfazies besteht aus 6-10 m mächtigen, roten Kalken die unterschiedlich gut gebankt

sind. Es handelt sich um biodetritische Wackestones, selten Floatstones, sehr feinkörnig und gut sortiert. Neben den sehr häufigen rotaliiden Foraminiferen treten Gastropoden, Schalenreste und Ostracoden auf. Crinoidenstielglieder sind stets eisenimprägniert, wodurch die Maschentextur betont wird. Hartgrundklasten und andere hydrogene Vererzungen sind häufig.

Neben ausgesprochenen Knollenkalken mit guter Bankung (Kälbergümple) treten auch massige Rotkalken mit wechselnd brekziösem Charakter auf. Diese Brekzien setzen sich zusammen aus gut gerundeten Kalkknollen in Adneter Kalk-Fazies, aus nicht oder nur schlecht gerundeten Komponenten mit Material aus dem stratigraphisch Liegenden (Oberrätkalk, Hierlatzbasiskalk) sowie aus den oben bereits erwähnten Kristallingeröllen.

4.3. Allgäuschichten

Der klassischen Einteilung der Jura-Faziesbereiche folgend repräsentieren die Allgäuschichten die Beckensedimentation, deren Ablagerungstiefe bereits JACOBESHAGEN (1965) als nicht sehr hoch einschätzt. Die Allgäuschichten bestehen aus einer geschichteten Kalk-Mergelwechselfolge mit lagigem und knolligem Homstein. Beeindruckend ist die schwankende Mächtigkeit, die im kartierten Gebiet von 0–80 m reicht. Die Hauptmasse der Kalke besteht aus feinkörnigen Mudstones, selten sind Komponenten wie Foraminiferen, Schwammnadeln, Pellets oder Ammoniten. Durch die genaue Kartierung konnte eine proximale Fazies abgetrennt werden, welche Rotfärbung und Fossilreichtum von den normalen Allgäuschichten unterscheidet (LANTSCHNER, 1994).

Während aus benachbarten Gebieten Kalkarenite, debris flows und Megabrekzien beschrieben sind (KINDLE 1983), finden sich im Gebiet östlich des Flexenpasses keine Hinweise auf Sedimenttransport.

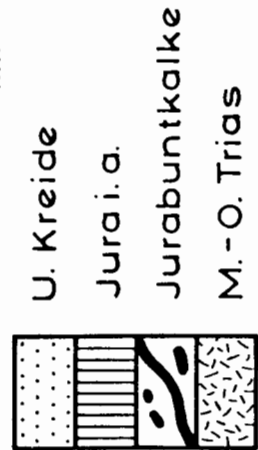
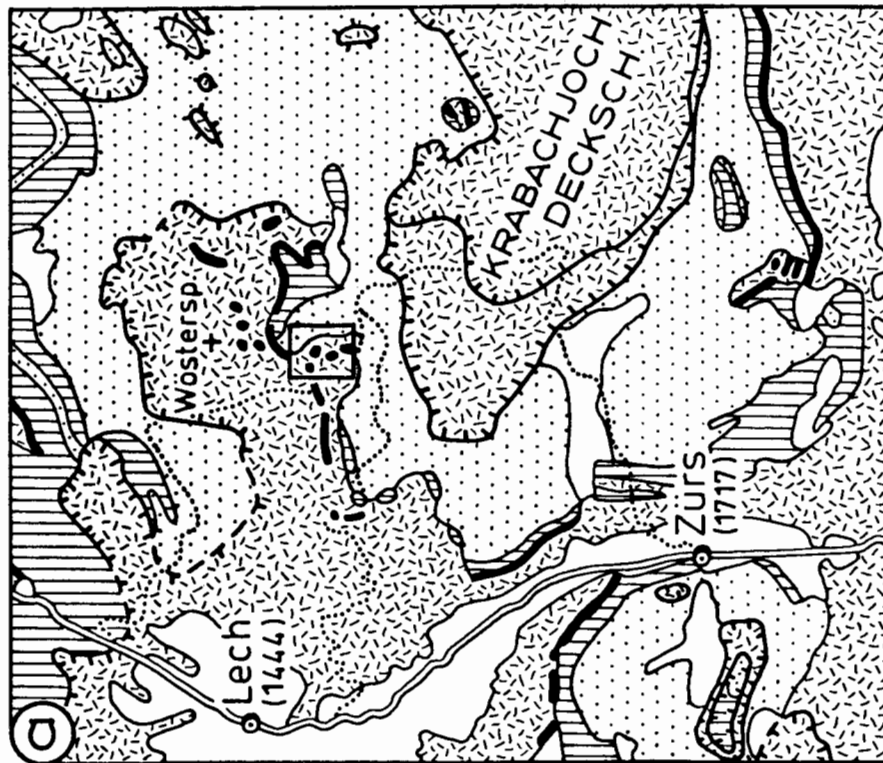
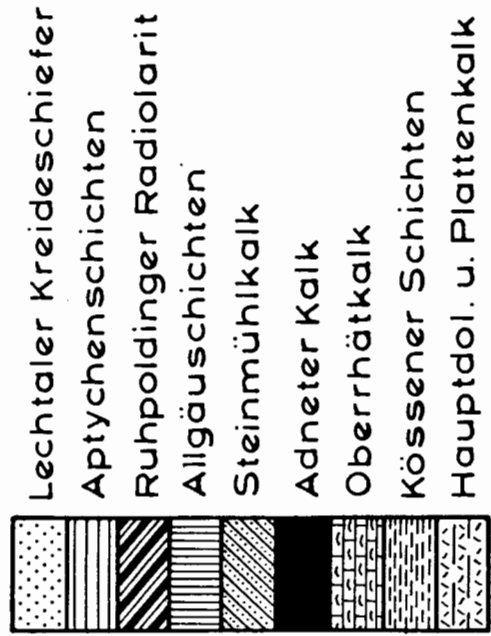
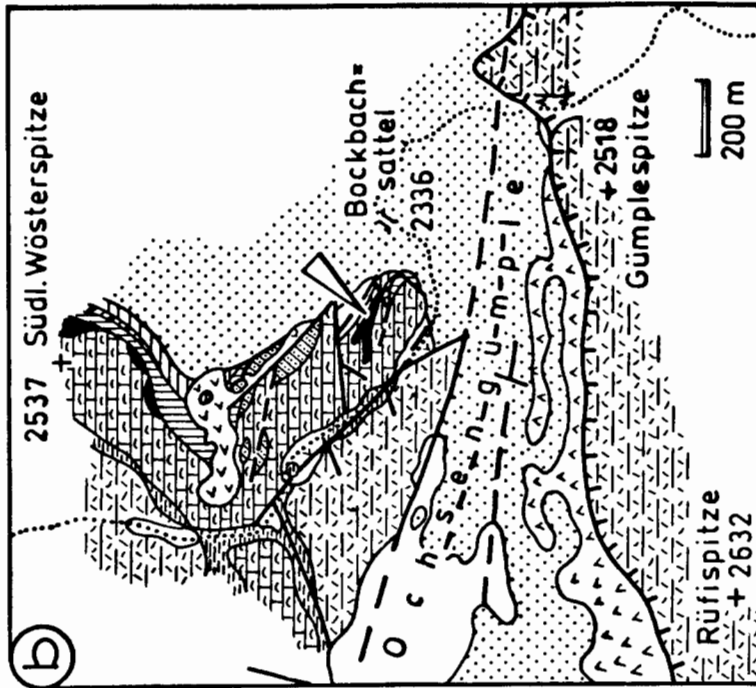
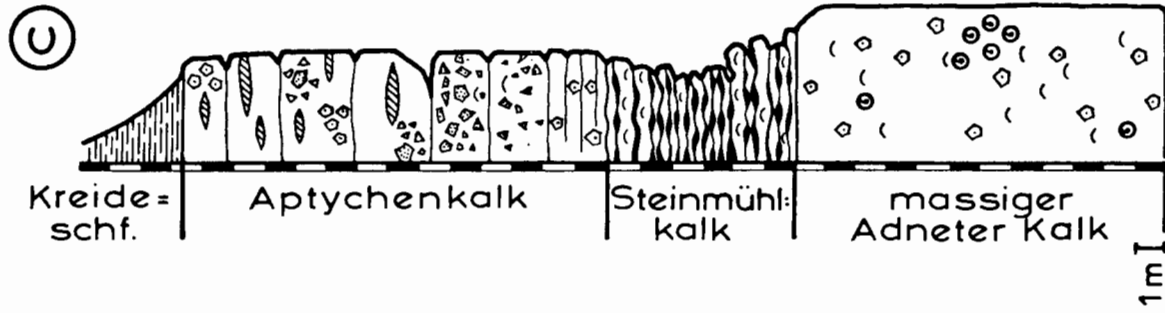
4.4. Ziegelrotserie / debris flow

Die Adneter Mergel, die in den westlichen Nordkalkalpen nach HUCKRIEDE (1959) als Ziegelrotserie bezeichnet werden, reichen, durch Ammonitenfunde

Abb. 1 (rechts): Lageskizzen und Profil vom Fundpunkt der in Adneter Kalken eingebetteten exotischen Kristallin-Gerölle.
 a.) Geologische Übersichtsskizze des Arlberggebietes nach AMPFERER (1932, vereinfacht) mit dem eingerahmten Fundgebiet (S Wösterspitze).
 b.) Detailaufnahme des Fundgebietes nach einer unveröffentlichten Kartierung (SCHUSTER & SCHROFFENEGGER 1990).
 c.) Profil südl. Wösterspitze mit Juraabfolge in Schwellenentwicklung. Die exotischen Komponenten stammen aus dem „massigen Adneter Kalk“.

Fig. 1 (right): Sketch map and profile of the Adnet Limestones containing crystalline components.

a.) Geological map of the Arlberg-region (AMPFERER 1932, simplified) with the finding locality.
 b.) Detailed map of the finding locality (SCHUSTER & SCHROFFENEGGER 1990, unpublished).
 c.) Columnar section "Southern Wösterspitze" with a condensed Jurassic sequence. The exotic crystalline cobbles are embedded in the massive Adnet Limestone.



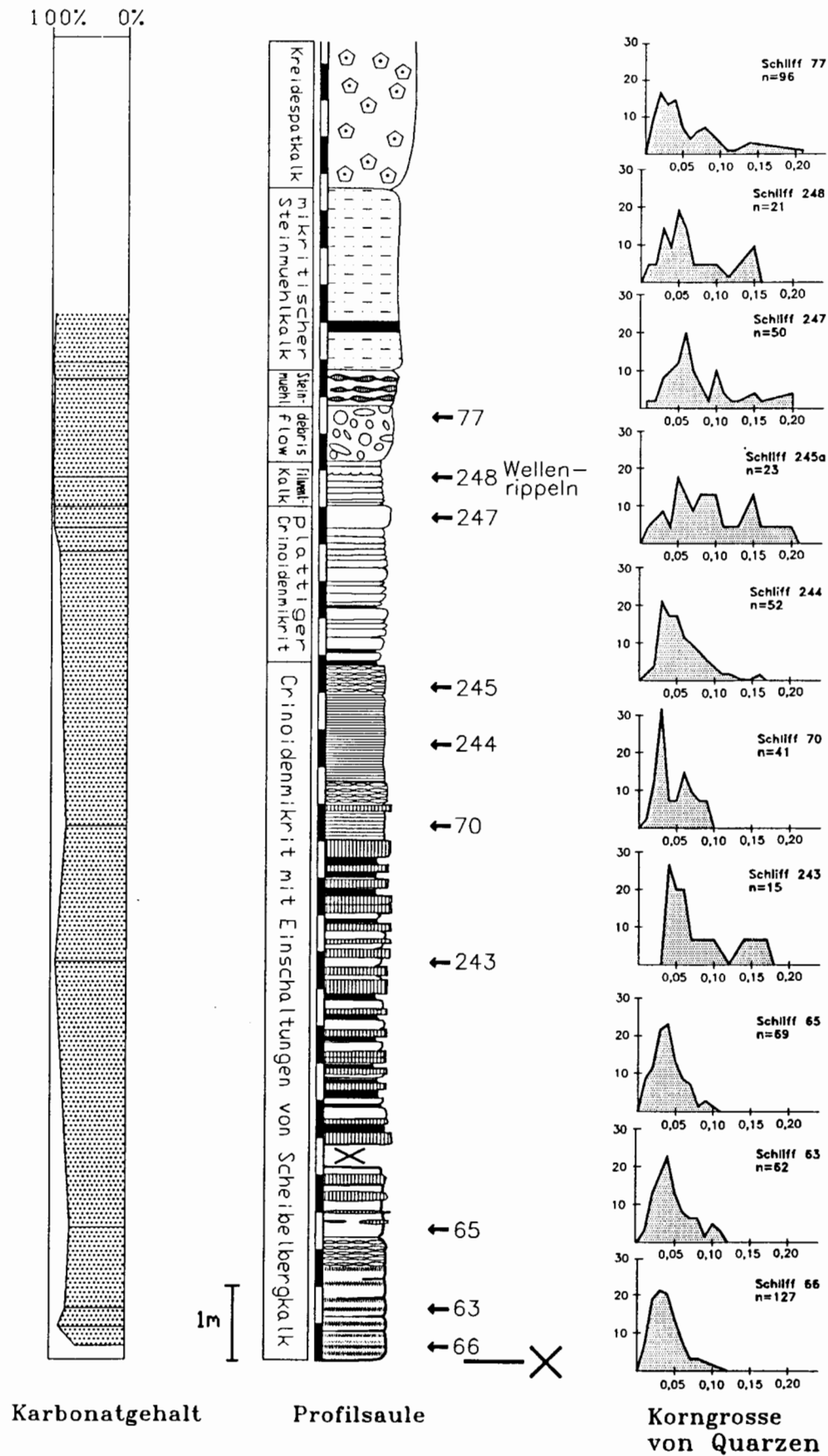


Abb. 2: Karbonatgehalt, Profilsäule und Korngrösse von Quarzen der Juraentwicklung im oberen Almajurtal.
 Fig. 2: Contents of carbonate, profile column and grain size of detritic quartz of the Jurassic sequence in the upper Almajurtal.

bestätigt, vom O.Pliensbach bis ins O.Toarc. In den ziegelroten Kalkmergeln (64% Karbonat) stecken Kalkknollen, die meist Ammonitensteinkerne darstellen. In Zusammenhang mit der Ziegelrotserie steht ein matrixgestützter debris flow. Dieser enthält schlecht sortierte, gerundete Komponenten aus dem stratigraphisch Liegenden in einer ziegelroten Matrix. Bei schwankender Mächtigkeit (max. 2 m) ist er hier im Hangenden des Adneter Kalks stets entwickelt, während er in Profilen mit Allgäuschichten fehlt. Neben Komponenten der oben genannten Schichtglieder führt er häufig Eisen-Mangan-Krusten und -knollen.

5. Petrographie der Kristallinkomponente

Die mehrere cm großen Kristallinkomponenten sind schlecht gerundet (Taf. 1, Fig. 1, 2). Sie zeigen makroskopisch ein für Glimmerschiefer charakteristisches Crenulationsgefüge. Mikroskopisch sind Hellglimmer, Quarz, Plagioklas sowie zwei Biotitgenerationen zu erkennen. Die feinkörnige Generation von grünem Biotit ist offenbar das Produkt einer jüngeren Alterationsphase. Das Hellglimmergefüge, das die Hauptschieferung definiert, ist stark gefältelt (undulös) und z.T. geknickt. Die Einwirkungen dieser spät- bis postkristallinen Deformationsphase könnten auch mit einer schwach metamorphen Überprägung in Verbindung stehen, die zur retrograden Umwandlung, wie Serizitisierung von Plagioklas und Chloritisierung von Biotit bzw. zur Neubildung von Biotit II geführt hat. Risse und Zerschneidungszonen sind mit Kalzit verfüllt; vermutlich eine Einwirkung des Meerwassers. Nach Mineralbestand und Gefüge ist die Komponente gut mit dem im Süden der Kalkalpen angrenzenden Kristallin der Phyllitgneiszone, die die stratigraphische Basis der postvariszischen Serien (Nördliche Kalkalpen) darstellt, zu vergleichen.

6. Detritische Quarze im Crinoidenmikrit

In einem Profil in Crinoidenkalk-Fazies, welches im nördlich der Valluga gelegenen Almajurtal über Adneter Kalk folgt, zeigte sich in den Dünnschliffen eine Häufung von deutlich gerundeten Quarzkörnern, meist kleiner als 0,05 mm (Abb. 2). Die Körner zeigen eine normale Auslöschung, ihr Vorkommen bleibt untergeordnet (unter einem Volumsperzent). Korngrößenmessungen zeigten, daß im Profil die Korngröße vom Liegenden ins Hangende zu-, die Häufigkeit dagegen abnimmt: Ein äolischer Transport wird für diese Komponenten als wahrscheinlich erachtet. Auch im Steinmühlkalk fanden sich detritische Quarzkörner, jedoch in bedeutend geringerem Umfang. Weiters wurden in einem aus einer debris-flow-Se-

quenz stammenden Rollstück Metaquarzitkomponenten entdeckt, deren Quarze eine undulöse Auslöschung zeigen (Taf. 1, Fig. 4).

7. Diskussion

Das Auftreten von exotischen Kristallinkomponenten in oberostalpinen Jurabuntkalken scheint eine verbreitete, wenngleich selten erfaßte Besonderheit darzustellen. Abgesehen von mehreren Hinweisen aus dem Salzburger Raum (Osterhorngruppe) scheinen ähnliche Funde aus allerjüngster Zeit im Bereich des Achensees (Diss. A. SPIELER) darauf hinzudeuten, daß die von DIENER (1885:31) festgehaltene Beobachtung einer Liasbreccie mit Glimmerschieferkomponenten aus dem unmittelbar östlich des Achensees gelegenen Rofangebirge trotz des vehementen Zweifels von WÄHNER (1903:41) durchaus zutreffend sein dürfte.

Das Vorkommen von Kristallingerölen in Liasbuntkalken, wie auch das den ganzen Jura hindurch anhaltende Auftreten von detritären Quarzen in selbigem Faziesraum, wirft die Frage nach dem Ort jenes kristallinen Hinterlandes, von dem dieses Material herzuweisen ist, wie auch die Frage nach dem Transport auf. Besonders schwierig ist eine befriedigende Erklärung des Vorkommens der erwähnten cm-großen Kristallingeröle innerhalb eines küstenfernen Ablagerungsraumes mit Mangelsedimentation, der ansonsten frei von jeglicher siliziklastischer Beimengung ist. Am ehesten wäre eine Verfrachtung der Komponenten mittels Drift, angeheftet an schwimmendem pflanzlichem Material (Wurzeln), denkbar.

Klarer scheint dagegen der Transportmechanismus jener feinkörnigen Spektren detritärer Quarze zu sein, welche im Untersuchungsgebiet den ganzen Jura hindurch angetroffen werden. Ihre Korngrößenverteilung legt einen äolischen Transport nahe.

Aufgrund von Rezentenbeobachtungen ist man gut über die Bedeutung und Menge äolisch verfrachteten Materials informiert. Satellitenbeobachtungen haben zudem wertvolle Daten bezüglich der zu erwartenden Transportweiten beigesteuert. Aufgrund dieser Beobachtungen kann davon ausgegangen werden, daß ca. 90% des in einer Transporthöhe von 3–4 km windverfrachteten Staubes sich aus Tonpartikeln zusammensetzt, den Rest stellen Quarzkörner, die meist kleiner als 0,02 mm sind (CHESTER et al. 1972, WINDOM & CHAMBERLAIN 1978).

Bezogen auf die Gesamtfläche des Ozeans erscheint die Größenordnung des durch ablandige Winde bewirkten Sedimenttransportes eher gering. Doch kann nach WINDOM (1975) in küstenfernen Faziesbereichen mit geringen Sedimentationsraten der Sedimentanteil äolischer Herkunft bis zu 10–30 % erreichen. Die Menge des laufenden äolischen Sedimenteintrages ins Meer dürfte zudem einer eustatischen Steuerung unterworfen sein (SARNTHEIN & WALGER 1974, SARNTHEIN & DIESTER-HAASS 1977).

Die erwähnten Kristallinkomponenten, wie auch die windverfrachteten Quarzkornspektren, setzen ein kristallines Hinterland voraus, welches innerhalb (oder randlich) des ostalpinen Faziesraumes gelegen haben muß. Aufgrund der Petrographie der Glimmerschiefer-Gerölle und ihrer Analogie zum Kristallin der Phyllitgneiszone besteht die Möglichkeit ihrer Ableitung von der Grundgebirgsbasis der Kalkalpen.

Zwar sind aus dem Ostalpin im Jura Extensionsbewegungen und Kippschollentektonik bekannt. (EBERLI 1985, LEMOINE & TRÜMPY 1987, u.a.). Diese konnten möglicherweise dazu führen, daß entlang steiler scarps ältere Teile der Schichtfolge freigelegt wurden, doch ist auf diesem Wege eine allein auf Schollenkipfung beruhende Freilegung des kristallinen Sockels nur schwer vorstellbar. Dagegen wird von CHANNEL et al. (1990, 1992) eine Zweiteilung der kalkalpinen Jura-Entwicklung vertreten, indem eine von Lias bis Dogger währende transtensionale Phase mit (heute) E-W-orientierten sinistralen Blattverschiebungen im Malm infolge von Änderungen im Stressfeld (Beginn des Riftings im Atlantik) durch eine Hauptzerrungsphase mit Kippschollentektonik und ohne große Seitenversätze abgelöst wird. Das Auftreten vereinzelter Kristallingerölle im Lias der Nördlichen Kalkalpen könnte demnach Ausdruck großer Bewegungen entlang (heute nicht überlieferter) Transferzonen sein, welche ein partielles Hochschürfen des Untergrundes, einschließlich des kristallinen Basements, bewirkt haben könnten. Auch die von de ZANCHE & MIETTO (1984) aus den Südalpen berichtete Entdeckung einer im tieferen Hauptdolomit eingeschalteten Brekzie, die viele aus dem unmittelbaren Basement ableitbare Kristallinkomponenten enthält, könnte Ausdruck solcher bereits in der Obertrias einsetzender Transferbewegungen sein.

Dank

Für die begleitende Diskussion sei besonders den Herrn Prof. Dr. Rainer Brandner (Innsbruck), Doz. Leo Krystyn, Dr. Michael Wagreich (beide Wien) gedankt. Für die Mitwirkung an den Hochgebirgskartierungsübungen am Krabach-Joch und die dortige Bergung der Kristallingerölle sei besonders Herrn Mag. Ralf Schuster (Wien) unser herzlicher Dank ausgesprochen.

8. Literatur:

AMPFERER, O. (1930): Beiträge zur Geologie des obersten Lechtales. — Jb. Geol. B.-A., **80**, 103–146, 36 Abb., 2 Taf., Wien.
 — (1932): Erläuterungen zu den geologischen Karten der Lechtaler Alpen. — Wien (Geol. B.-A.).
 BÖHM, F. (1992): Mikrofazies und Ablagerungsmilieu des Lias und Dogger der Nordöstlichen Kalkalpen. — Erlanger geol. Abh., **121**, 57–217, Erlangen.

CHANNEL, J.E.T., BRANDNER, R., SPIELER, A. & SMATHERS, N.P. (1990): Mesozoic paleogeography of the Northern Calcareous Alps — Evidence from paleomagnetism and facies analysis. — *Geology*, **18**, 828–831, 5 Abb., 1 Tab., Boulder.
 —, BRANDNER, R., SPIELER, A. & STONER, J.S. (1992): Paleomagnetism and paleogeography of the Northern Calcareous Alps (Austria). — *Tectonics*, **11/4**, 792–810, 20 Abb., 2 Tab., Washington.
 CHESTER, R., ELDERFIELD, H., GRIFFIN, J.J., JOHNSON, L.R. & PAGDHAM, R.C. (1972): Eolian dust along the eastern margins of the Atlantic Ocean. — *Mar. Geol.*, **13**, 91–105, 2 Abb., 4 Tab., Amsterdam.
 DE ZANCHE, V. & MIETTO, P. (1984): Testimonianze di attivita tettonica Tardotriassica nelle Prealpi Vicentine. — *Riv. Ital. Paleont. Strat.*, **89/3**, 335–342, 5 Abb., Milano.
 DIENER, C. (1885): Ueber den Lias der Rofan-Gruppe. — *Jb. Geol. B.-A.*, 27–36, Wien.
 DOERT, U. (1974): Gebirgsbau der südwestlichen Lechtaler Alpen östlich der Flexenstraße. — *Diss. Univ. Erlangen – Nürnberg*, 270 S., 47 Abb., 7 Taf., Erlangen (Offsetdruckerei Hogl).
 EBERLI, G.P. (1985): Die jurassischen Sedimente in den ostalpinen Decken Graubündens. — *Mitt. Geol. Inst. ETH Zürich*, Nr. 255, 203 S., 44 Abb., Zürich.
 HELMCKE, D. (1975): Die Basis der Kreideschiefer östlich des Flexenpasses. — *N. Jb. Geol. Paläont. Mh.*, **4**, 203–211, 3 Abb., Stuttgart.
 HUCKRIEDE, R. (1959): Trias, Jura und tiefe Kreide bei Kaisers in den Lechtaler Alpen (Tirol). — *Verh. geol. B.-A.*, **1959**, 44–92, 1 Abb., Wien.
 JACOBSHAGEN, V. (1965): Die Allgäu-Schichten (Jura-Fleckenmergel) zwischen Wettersteingebirge und Rhein. — *Jb. Geol. B.-A.*, **108**, 114 S, Wien.
 KINDLE, P.J. (1983): Sedimentation und Tektonik im Flexenpassgebiet – westlicher Abschnitt. — *Diplomarb. Univ. Zürich (unpubl.)*, 97 S, Zürich.
 KOCH, K.E., STENGEL-RUTKOWSKI, W. (1959): Faziesuntersuchungen Jura-U-Kreide Lechtaler Alpen. — *Verh. Geol. B.-A.*, **1959**, 179–201, Wien.
 LANTSCHNER, M. (1994): Stratigraphie, Fazies und Paläogeographie des Jura westlich der Flexenpaßstraße im Grenzbereich Tirol / Vorarlberg. — *Unpubl. Diplomarbeit Univ. Wien*, 122 S., 18 + 57 Abb., 10 Profile, 1 geol. Karte, Wien
 LEMOINE, M. & TRÜMPY, R. (1987): Pre-oceanic rifting in the Alps. — *Tectonophys.*, **133**, 305–320, 10 Abb., Amsterdam.
 SARNTHEIN, M. & DIESTER-HAASS, L. (1977): Eolian sand-turbidites. — *Jour. Sed. Petrol.*, **47/2**, 868–890, 8 Abb., 2 Tab., Tulsa.
 —, M. & WALGER, E. (1974): Der äolische Sandstrom aus der W-Sahara zur Atlantikküste. — *Geol. Rundschau*, **63**, 1065–1087, 9 Abb., 1 Taf., Stuttgart.
 WÄHNER, F. (1903): Das Sonnwendgebirge im Unterinntal, I.Tl. — 356 S., 96 Abb., 19 Taf., Leipzig –Wien (Franz Deutike).

WINDOM, H.L. (1975): Eolian contributions to marine sediments. — *Jour. Sed. Petrol.*, **45/2**, 520–529, 8 Abb., 4 Tab., Tulsa.

— & CHAMBERLAIN, Ch. F. (1978): Dust storm transport to the North Atlantic Ocean. — *Jour. Sed. Petrol.*, **48/2**, 385–388, 2 Abb., 1 Tab., Tulsa.

TAFEL 1 / PLATE 1

Fig. 2

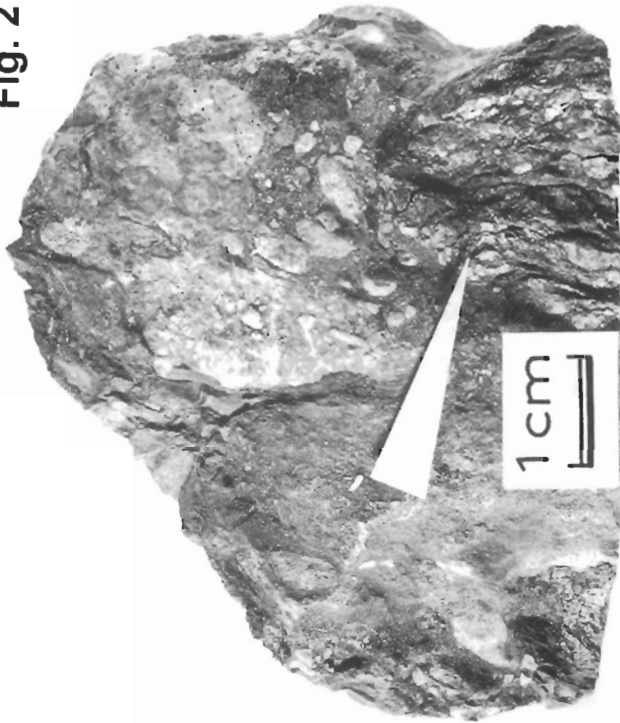


Fig. 4

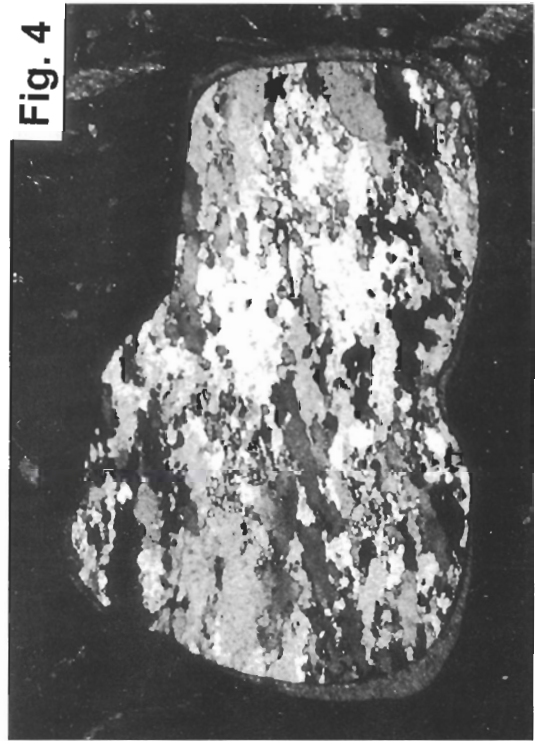


Fig. 1

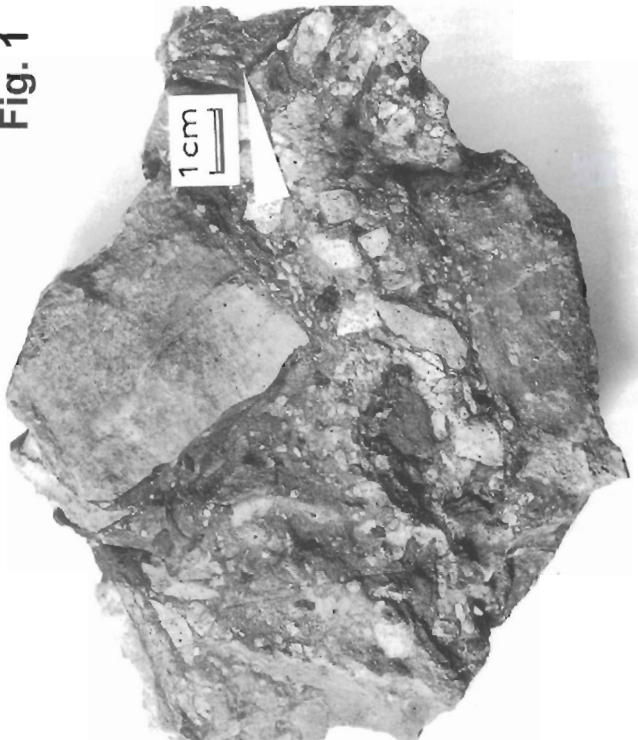


Fig. 3

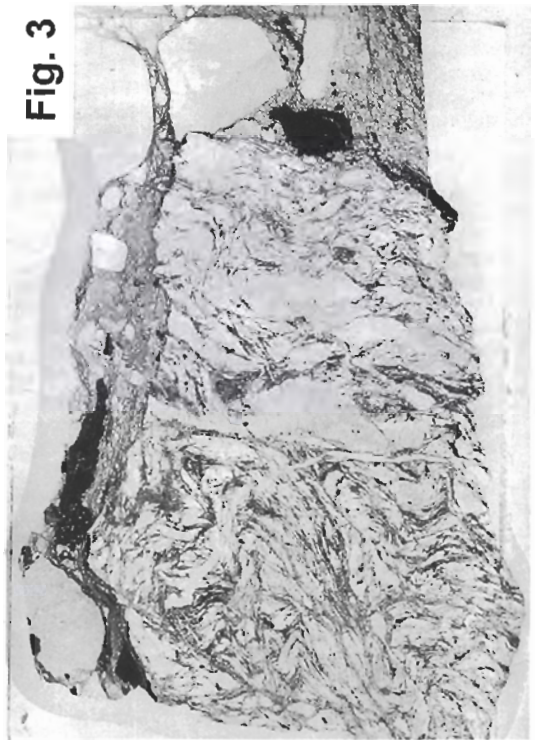


Fig. 1, 2: Zentimetergroße, schlecht gerundete Glimmerschiefer-Komponenten in einer heterogenen, brekziösen Matrix von roten Jurakalken

Fig. 3: Dünnschliffbild einer exotischen Kristallinkomponente: gefältelter, plagioklasführender Glimmerschiefer.

Fig. 4: Dünnschliffbild eines deformierten Quarzits. Undulosität, intensive Kornverzahnung und Rekristallisation kennzeichnen die Struktur.

Fig. 1, 2: Badly-rounded, cm-sized micaschist components within a heterogeneous, brecciated carbonaceous matrix of Red Jurassic Limestone.

Fig. 3: Thin section photomicrograph of an exotic crystalline component, represented by plagioclase-bearing crenulated micaschist.

Fig. 4: Thin section photomicrograph of a strained quartzite component, characterised by strongly undulous grains, serrated grain boundaries and dynamically recrystallized grains.