

ZUR SEDIMENTOLOGIE DES ALPINEN BUNTSANDSTEINS UND DER WERFENER SCHICHTEN (SKYTH) KÄRNTENS

K. Krainer, Innsbruck

INHALT

Zusammenfassung - Summary - Riassunto

1. Einleitung
2. Zu den Begriffen "Alpiner Buntsandstein" und "Werfener Schichten"
3. Untersuchungsmethodik
4. Alpiner Buntsandstein
 - 4.1. Einleitung
 - 4.2. Mineralbestand
 - 4.3. Faziesinterpretation
5. Werfener Schichten
 - 5.1. Einleitung
 - 5.2. Lithofaziestypen
 - 5.3. Fazielle Ausbildung der einzelnen Profile
 - 5.3.1. Riedgraben
 - 5.3.2. Kranzwandgraben
 - 5.3.3. Ulrichsberg
 - 5.3.4. St. Pauler Berge
 - 5.3.5. Karawanken (nordalpine Fazies)
 - 5.4. Faziesinterpretation
 - 5.5. Mikrofossilführung
 - 5.6. Makrofossilführung

Literatur

Legende zu den Beilagen 1-5

Dank

ZUSAMMENFASSUNG

Nordalpine, untertriadische (skythische) Sedimente (Alpiner Buntsandstein und Werfener Schichten) Kärntens, im Bereich zwischen östlichem Drauzug und den St. Pauler Bergen, werden einer sedimentologischen Analyse unterzogen.

Im Untersuchungsbereich konnte der Alpine Buntsandstein von den permischen Klastika ("Grödener Schichten" sensu NIEDERMAYR et al., 1982) lithologisch abgetrennt werden. Das Einsetzen des Alpiner Buntsandsteins ist mit einem deutlichen Sedimentationsumschwung verbunden, was vermutlich mit einer Klimaänderung zu erklären ist.

Insgesamt läßt sich das Skyth aufgrund von Trans- und Regressionsereignissen untergliedern, wobei eine dem südalpinen Skyth (südalpine Werfener Schichten) und dem Skyth der Nördlichen Kalkalpen (Bereich Wörgl-Saalfelden) vergleichbare Transgressions- und Regressionsabfolge zu erkennen ist und sich die einzelnen Ereignisse auch zeitlich einigermaßen korrelieren lassen.

Innerhalb der Gurktaler Decke (Ulrichsberg - St. Pauler Berge) unterscheiden sich die Klastika des Alpiner Buntsandsteins von den permischen Sandsteinen durch ihre hellere Farbe, einen höheren Quarzgehalt, höheren Feldspatgehalt, weniger Gesteinsbruchstücke (v.a. weniger vulkanische Aufarbeitungsprodukte), geringeren Matrixgehalt, das Vorherrschen von Apatit neben Zirkon im Schwermineralspektrum, sowie durch einen besseren Sortierungs- und Rundungsgrad.

Im nördlichen Drauzug (Riedgrabenprofil) läßt sich der Alpine Buntsandstein in einen Unteren Alpiner Buntsandstein mit fluviatilen Bildungen an der Basis und einer marinen Fazies am Top gliedern. Darüber folgt mit einer Regression der Obere Alpine Buntsandstein in Form unreifer fluviatiler Sandsteine.

Diese Regression innerhalb des Alpenen Buntsandsteins, die bis in die Lienzer Dolomiten deutlich erkennbar ist, innerhalb der Gurktaler Decke bisher jedoch nicht nachgewiesen werden konnte, kann im Profil der Simmerlacher Klamm durch Sporen zeitlich eingengt werden und ist mit dem "Campiller Ereignis" der Südalpen vergleichbar.

Innerhalb des Alpenen Buntsandsteins lassen sich generell zwei Faziesbereiche unterscheiden. Die Sedimente des fluviatilen Faziesbereiches sind charakterisiert durch "Fining Upward"-Sequenzen distaler, fein- und grobklastischer verzweigter Flußsysteme.

Die Sedimente des marinen Faziesbereiches (Gezeitenfazies) sind generell besser sortiert und gerundet, die Feldspäte sind frischer und häufig authigen weitergewachsen. Unterstrichen wird der marine Sedimentationscharakter durch typische Sedimentstrukturen sowie durch das Auftreten von Muschelabdrücken, *Diplocraterion* und *Rhizocorallium*.

Erstmals konnten im Alpenen Buntsandstein Hinweise auf äolische Sedimente in Form bimodaler, gut gerundeter, quarzreicher Sandsteine gefunden werden.

Die zeitliche Unter- und Obergrenze des Alpenen Buntsandsteins konnte bisher nicht genau präzisiert werden.

Bemerkenswert ist der Fund von Tetrapodenfährten in roten Tonschiefern des hangenden Alpenen Buntsandsteins im Riedgrabenprofil.

Mit einer scharfen Grenze (plötzliche Transgression) setzen über dem Alpenen Buntsandstein die Werfener Schichten ein, verbunden mit einem plötzlichen Farbumschlag der Sedimente von roten zu grünlich-grauen Farbtönen, einer plötzlichen Korngrößenabnahme und einer starken Zunahme des Feldspatgehaltes, wobei die Feldspäte eine größere Variationsbreite in ihrer chemischen Zusammensetzung zeigen als im fluviatilen Alpenen Buntsandstein.

Allgemein ist die fazielle Ausbildung der untersuchten Werfener Profile abhängig von der paläogeographischen Situation im tieferen Skyth. Während im N und NW des untersuchten Bereiches rein klastische Sedi-

mentation zu beobachten ist, sind im S und SE zunehmend dünne, auch noch leicht klastisch beeinflusste Karbonatbänke in Form von Schillagen, und vor allem Echinodermenschuttlagen (z.T. in Form von Sturmtagen bzw. "Tempestiten"), in die Normalsedimentation (meist siltige Tonschiefer) eingeschaltet.

Bei den Werfener Schichten handelt es sich um Sedimente eines stark klastisch beeinflussten, flachen, epikontinentalen Schelfmeeres mit vereinzelt Anzeichen von Gezeiten.

Neben einigen Makrofossilien konnte in den Werfener Schichten vor allem eine Reihe von Mikrofossilien (Foraminiferen, Spirorben, Echinodermenreste, Conodonten und Fischreste) erstmals nachgewiesen werden.

Aufgrund der Makro- und Mikrofossilvergesellschaftung können die Werfener Schichten des untersuchten Raumes zeitlich mit dem Val-Badia- und Cencenighe-Member (oberstes Skyth) der Südalpen gleichgesetzt werden.

SUMMARY

Lower Triassic (Scythian) sediments (Alpine Buntsandstein and Werfen Beds) of the Northalpine Facies (Eastern Alps) in Carinthia, Austria, are described in detail.

In the investigated area for the first time the Alpine Buntsandstein is lithologically separated from the Permian sediments. The set in of the Alpine Buntsandstein is closely connected with a distinct and sudden change of sedimentation, which can possibly be explained by a climatic change.

Based on transgressional and regressional events a subdivision of the Scythian is possible. The transgressional and regressional sequence is comparable with the Scythian of the Southern Alps (southalpine Werfen Beds) and the Northern Limestone Alps. To some extent a stratigraphic correlation of the events is possible.

Within the Gurktaler Decke (Nappe) (Ulrichsberg - St. Pauler Berge) the clastic sediments of the Alpine

Buntsandstein can be distinguished from the Permian sandstones considering the following criteria: their clearer colour, higher quartz content, high feldspar content, less rock fragments (especially volcanic rock fragments), less matrix content, the dominance of apatite besides zircon in the heavy mineral suite, and a better degree of sorting and rounding.

In the northern Drauzug (Riedgraben section) the Alpine Buntsandstein can be subdivided in a Lower Alpine Buntsandstein with fluvial sediments at the base and a marine environment at the top, overlain by the Upper Alpine Buntsandstein which is built up by immature fluvial sandstones, caused by a regression.

This regression within the Alpine Buntsandstein, distinctly recognizable within the whole Drauzug and the Lienzer Dolomiten, but not within the Gurktaler Decke, can be classified approximately and is comparable with the "Campill Event" of the Southern Alps.

Within the Alpine Buntsandstein two depositional environments can be distinguished. The sediments of the fluvial environment are characterized by fining upward sequences of distally, fine- and coarse-grained braided river systems.

The deposits of the marine environment (tidal facies) show a higher degree of sorting and rounding. The feldspars are fresher and frequently show authigenic overgrowths (pure K-feldspar end-members). The marine facies character is emphasized by shell-imprints, *Diplocraterion*, *Rhizocorallium*, and distinct sedimentary structures.

For the first time indications of eolian sediments in form of bimodal, well rounded, quartz-rich sandstones were found within the Alpine Buntsandstein.

The discovery of some tetrapod footprints within red shales of the uppermost Buntsandstein of the Riedgraben section is remarkable.

Till now the stratigraphic boundaries of the Alpine Buntsandstein could not be defined exactly.

With a sudden transgression the Werfen Beds overlay the Alpine Buntsandstein. The sharp boundary is caused by a sudden decrease in grain size, a change of colour of the sediments from red to greenish-grey, and a considerable increase in the feldspar content, whereby the feldspars show a broader variation of their chemical composition than the feldspars of the fluvial Alpine Buntsandstein.

Generally the evolution of the Werfen Beds in the investigated area is controlled by the paleogeographic situation in the Lower Scythian.

Whereas in the north and northwest of the area only clastic sedimentation took place, in the south and southeast thin carbonate beds with small clastic influence, coquina layers and, most of all, layers of echinoid fragments (storm layers, "tempestites") are increasingly interbedded in the standard sedimentation (mostly silty shales).

The Werfen Beds are deposits of a shallow marine, epicontinental shelf with few indications of tidal influence.

Besides some macrofossils for the first time a lot of microfossils (foraminifers, spirorbs, echinoid fragments, conodonts and fish remainders) could be identified.

Due to the macro- and microfossil assemblages the Werfen Beds of Carinthia are stratigraphically compared with the Val Badia Member and the Cencenighe Member (Upper Scythian) of the Southern Alps.

RIASSUNTO

Un'analisi sedimentologica è stata eseguita per i sedimenti nordalpini (Buntsandstein Alpino e Strati di Werfen) del Trias inferiore (scitico) della Carinzia nella zona compresa fra il versante orientale del Drauzug e St. Pauler Berge (Carinzia Orientale).

Per l'area esaminata è stato possibile separare litologicamente il Buntsandstein Alpino dai sedimenti clastici del Perm ("Grödener Schichten" sensu

NIEDERMAYR et al., 1982). L'inizio del Buntsandstein Alpino è legato ad un intensificarsi della sedimentazione, spiegabile forse con un cambiamento climatico.

Una globale suddivisione dello Scitico è possibile sulla base di eventi trasgressivi e regressivi, la cui sequenza è comparabile a quella dello Scitico delle Alpi Meridionali (Formazione di Werfen) e delle Alpi Calcaree Settentrionali (area compresa tra Wörgl e Saalfelden). I singoli eventi si possono, inoltre, più o meno correlare cronologicamente.

Nell'ambito dei Bacini di Gurktal (Ulrichsberg - St. Pauler Berge) le componenti clastiche del Buntsandstein Alpino si distinguono da quelle dell'Arenaria Permiana per il loro colore più chiaro, un contenuto di quarzo e feldspato più alto, minor numero di frammenti (meno resti vulcanici), una matrice più povera. Inoltre l'apatite accanto al zircone domina il quadro dei minerali pesanti. Infine è stato osservato un grado di arrotondamento più elevato ed un miglior assortimento.

Nella parte nord del Drauzug (Riedgraben) si può distinguere un Buntsandstein Alpino inferiore (con inizio fluviale passante poi a marino) sormontato, con una regressione, da un Buntsandstein superiore (arenarie fluviali poco mature).

La regressione in parole è chiaramente riconoscibile fin nelle Dolomie di Lienz, tuttavia finora non è stata riscontrata nella Coltre di Gurktal. La sezione di Simmerlacher Klamm, invece, con il suo contenuto di Spore, permette inoltre una delimitazione cronologica di questo evento, che è paragonabile a quella di Campill.

Per il Buntsandstein Alpino si distinguono due facies. I sedimenti della facies fluvio-terrestre sono caratterizzati da sequenze "fining upward" di sistemi fluviali ramificati e distali, con elementi clastici fini e grossolani.

I sedimenti della facies marina (facies di marea) mostrano generalmente un miglior grado di assortimento ed arrotondamento.

I feldspati presentano un miglior stato di conservazione e mostrano un ulteriore accrescimento autigeno. Il carattere marino della sedimentazione è sottolineato da strutture sedimentarie caratteristiche e dalla comparsa di impronte di Bivalvi, *Diplocraterion* e *Rhizocorallium*.

Per la prima volta è stato possibile trovar tracce di una sedimentazione eolica sotto forma di arenarie ricche di quarzi bimodali con un buon grado di arrotondamento.

Una datazione al letto ed al tetto del Buntsandstein Alpino, per ora, non si può stabilire con precisione.

Degno di nota è il ritrovamento di impronte di Tetrapodi negli argilloscisti della parte superiore del Buntsandstein Alpino nella sezione Riedgraben.

Una netta delimitazione (trasgressione improvvisa) segna il confine tra il sottostante Buntsandstein Alpino ed i soprastanti Strati di Werfen. Questo limite è legato ad un improvviso cambiamento di colore dei sedimenti da rosso a grigio-verde, una improvvisa diminuzione della grandezza dei granuli ed un consistente aumento del contenuto di feldspato. Quest'ultimo mostra, inoltre, una maggiore variazione nella sua composizione chimica nei confronti del Buntsandstein Alpino di origine fluviale.

In generale, la composizione delle facies dei profili esaminati, dipende dalla situazione paleogeografica dello scitico inferiore. Mentre a N e NW della zona esaminata si osserva esclusivamente una sedimentazione clastica, a S e SE compaiono banchi carbonatici con un lieve apporto clastico, sotto forma di strati a lumachelle e soprattutto apporti di strati ad Echinodermi (sotto forma di stormlayers, "Tempestite") intercalati alla sedimentazione normale (generalmente argilloscisti siltosi).

Gli Strati di Werfen rappresentano sedimenti di un mare epicontinentale poco profondo, con un rilevante apporto clastico e sporadici episodi di marea.

Oltre ad alcuni megafossili, negli Strati di Werfen, si son potuti individuare per la prima volta diversi gruppi di microfossili (Foraminiferi, Spirorbi, resti di Echinodermi, frammenti di Conodonti e resti di Pesci).

Gli Strati di Werfen dell'area esaminata, sulla base delle associazioni di Megafossili e Microfossili, corrisponderebbero, cronologicamente ai Membri di Val Badia e Cencenighe (Scitico superiore) delle Alpi Meridionali.

1. EINLEITUNG

Untertriadische Sedimente, insbesondere die Werfener Schichten und auch der Alpine Buntsandstein, sind im Mittelkärntner Raum und in den östlichen Gailtaler Alpen bisher keiner ausführlichen sedimentologischen Untersuchung unterzogen worden.

Die vorliegenden Untersuchungen sind auf eine detaillierte sedimentologische Bearbeitung und Analyse der Werfener Schichten und des Alpenen Buntsandsteins, der im Hangenden des "Permoskythsandsteins" abgetrennt werden konnte, ausgerichtet, und sollen Grundlagen zur sedimentologischen Charakterisierung und Abgrenzung dieser beiden Schichtglieder sowie zur Erarbeitung eines faziellen und paläogeographischen Modells schaffen.

Zu diesem Zweck wurden in folgenden Gebieten Profile aufgenommen und beprobt:

- in den nordöstlichen Gailtaler Alpen (Riedgraben SW Paternion),
- in den südöstlichen Gailtaler Alpen (Kranzwandgraben, Dobratsch-Südseite),
- am Ulrichsberg (N Klagenfurt),
- in den St. Pauler Bergen zwischen Ruden und der Rabensteiner Greuth (Rottensteiner),
- in der Simmerlacher Klamm (bei Oberdrauburg, dieses Profil ist derzeit in Bearbeitung).

Weiters wurden Untersuchungen an skythischen Sedimenten

- im Bereich des Christophberges (NE Klagenfurt) und
- in den Nordkarawanken durchgeführt, doch sind hier die Aufschlußverhältnisse relativ schlecht und vollständige Profile nicht erhalten.

Eine vereinfachte geologische Übersicht des untersuchten Bereiches mit der Lage der einzelnen Untersuchungspunkte gibt Abb. 1.

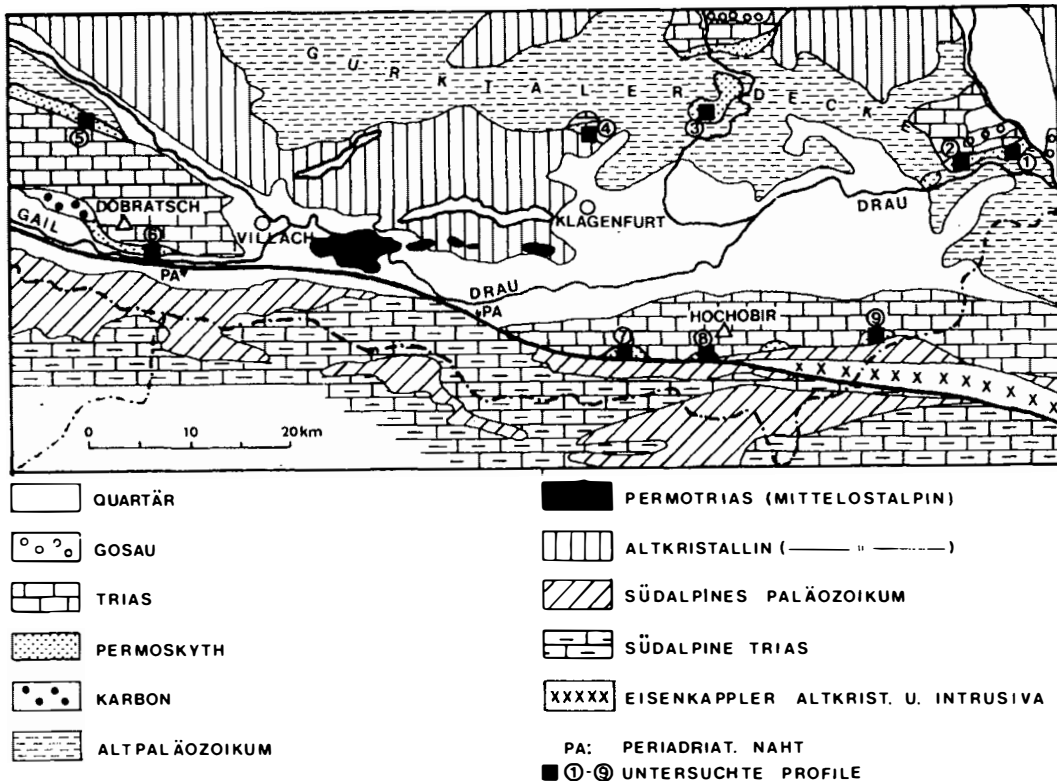


Abb. 1: Geologische Übersichtskarte, nach TOLLMANN (1977), geändert, mit der Lage der untersuchten Profile (1 Rottensteiner, 2 Untermitteldorf, St. Pauler Berge; 3 Christophberg, 4 Ulrichsberg; 5 Riedgraben, 6 Kranzwandgraben, östliche Gailtaler Alpen; 7 S Waidisch, 8 Schaidasattel, 9 Koprein, Karawanken)

2. ZU DEN BEGRIFFEN "ALPNER BUNTSANDSTEIN" UND "WERFENER SCHICHTEN"

Da eine allgemeine Definition der Begriffe "Alpiner Buntsandstein" und "Werfener Schichten" der nord-alpinen Fazies bis heute nicht vorliegt, erscheint es notwendig, die Verwendung dieser beiden Begriffe im Laufe der geologischen Erforschungsgeschichte der Alpen kurz zusammenzufassen.

Schon sehr früh (z.B. GÜMBEL, 1861) hat man, vor allem an der Basis der Nördlichen Kalkalpen, versucht, die permoskythische Transgressionsabfolge zu untergliedern und die einzelnen Schichtglieder zu benennen.

LILL von LILIENBACH (1830) beschrieb diese im Liegenden der "Unteren Gruppe des Alpenkalkes" (= Alp. Muschelkalk) auftretende klastische Abfolge, einschließlich Konglomerate und Sandsteine, als "rothe Schiefer von Werfen".

Von HAUER (1853) und PETERS (1854) trennten die basalen roten Konglomerate und Sandsteine als "Verrucano" von den darüberfolgenden "Schichten von Werfen", "Werfener Schiefen" bzw. dem "bunten Sandstein" ab. Auch PICHLER (1856) beschreibt an der Triasbasis zwischen Innsbruck und dem Pinzgau "bunte Sandsteine", mit der Bemerkung, daß das Liegende nicht aufgeschlossen sei. GÜMBEL (1861) verglich die roten Klastika an der Triasbasis mit dem Germanischen Buntsandstein, stellte eine "Buntsandsteinformation" auf und untergliederte den "Alpenbuntsandstein" bzw. "rothen Sandstein der Alpen" in eine untere Abteilung (Verrucano) mit Konglomeraten, Breccien, roten Sandsteinen und Tonschiefern, in eine mittlere Abteilung (Hauptbuntsandstein) aus "schiefrigen, roten, buntgefleckten und gestreiften Sandsteinen", sowie eine obere Abteilung (Röth) aus roten, graugrünen, gelblichen Tonschiefern bis tonigen Sandsteinen mit Dolomitlagen am Top (entspricht etwa den heutigen Werfener Schichten), auch mit Gips, Anhydrit und Steinsalz (Haselgebirge).

CATHREIN (1886) gliederte diese Abfolge in folgende 4 Einheiten: a) dolomitische Konglomeratbreccie, b) feinschiefrige dunkelrote Sandsteine, c) Quarz-Konglomeratbreccie und d) normale körnige Sandsteine.

Begriffe wie Verrucano, Buntsandstein oder Werfener Schichten werden von CATHREIN nicht erwähnt.

In Westtirol und Vorarlberg gliederten HAMMER (1918, 1920) und AMPFERER (1930, 1932) die postvariszische Transgressionsserie in Verrucano und Buntsandstein, die Werfener Schichten fehlen in diesem Bereich aus faziellen Gründen.

Weiter im Osten (Bereich Kaisergebirge-Salzachtal) bereitete eine Aufgliederung große Schwierigkeiten. BARNICK (1962) trennt den ganzen Permoskythkomplex in eine liegende turmalinarme bis turmalinfreie Breccienserie und eine hangende turmalinreiche Sandsteinserie, überlagert von anisischen Rauhwacken. EISBACHER (1963) faßt den gesamten Komplex als "Alpinen Buntsandstein" zusammen und stellt den schräggeschichteten Sandsteinkomplex als "eigentlichen Buntsandstein" heraus. Auch W. HEISSEL (1972) faßt die gesamte Serie einschließlich der Basalbreccie als Buntsandstein auf.

Im Drauzug (Gailtaler Alpen) und im Mittelkärntner Raum wurde die postvariszische Abfolge als "Grödener Sandstein", überlagert von den "Werfener Schichten", bezeichnet (z.B. GEYER, 1897, 1899, 1901, 1903; HÖFER, 1894; KAHLER & WOLSEGGER, 1934; FRITSCH, 1961; van BEMMELEN, 1957, 1961; SCHLAGER, 1963; SEELMEIER, 1940, 1961). Für die Grödener Schichten im Bereich der St. Pauler und Griffener Berge verwendete BECK-MANNAGETTA (1953, 1955, 1963) die Lokalbezeichnung "Griffener Schichten".

ANGER (1964) untergliederte die postvariszische Transgressionsabfolge der Gailtaler Alpen in oberkarbone bis unterpermische Konglomerate und Sandsteine, permischen Quarzporphyr, permisch-skythische Basisserie und mergelige, geschieferte Sandsteine des Skyth.

MOSTLER (1972 a, 1972 b, 1972 c) konnte trotz des Fehlens genauer sedimentologischer Studien die postvariszische Serie der Gailtaler Alpen und der Nördlichen Kalkalpen (Montafon, Bereich St. Johann - Hochfilzen) erstmals einer brauchbaren lithologischen und zeitlichen Gliederung unterziehen.

Im Mittelkärntner Raum (Christophberg) konnten RIEHL-HERWIRSCH (1965, 1966) und RIEHL-HERWIRSCH & WASCHER (1972) erstmals eine erfolgreiche Gliederung

der postvariszischen Transgressionsserie durchführen (Oberkarbon, Unterrotliegend, Vulkanite der Saalischen Phase, Permoskythsandstein und Werfener Schichten), die auch vom Ulrichsberg durch KAISER (1971), Krappfeld durch WASCHER (1969) und den St. Pauler und Griffener Bergen durch die Hamburger Arbeitsgruppe unter THIEDIG (THIEDIG & CHAIR, 1974; THIEDIG et al., 1975; WOLTER et al., 1982) bestätigt wurde.

In den Nördlichen Kalkalpen befaßt sich seit einigen Jahren die Innsbrucker Arbeitsgruppe unter MOSTLER mit sedimentologischen Studien der postvariszischen Transgressionsserie. Ergebnisse liegen vor: aus dem Montafon (MOSTLER, 1972 c; ANGERER, 1978; LEICHTFRIED, 1978; ANGERER et al., 1976; HADITSCH et al., 1978), aus Westtirol (Stanzertal) (KRAINER, 1981, 1982; STINGL, 1981, 1982; MOSTLER, 1982), Bereich Wörgl-Saalfelden (MOSTLER, 1972 b; STINGL, 1983, 1984; STINGL & POSCHER, in Vorb.; STINGL & RIML, in Vorb.).

Im Drauzug (Gailtaler Alpen) haben sich zuletzt NIEDERMAYR (1975), NIEDERMAYR et al. (1978), eingehend mit der postvariszischen Transgressionsserie befaßt und für den westlichen Drauzug eine Gliederung dieser Serie vorgestellt (NIEDERMAYR et al., 1982), wobei die einzelnen Schichtglieder definiert und beschrieben werden (Laaser Schichten + Vulkanite, Grödener Schichten, Alpiner Buntsandstein, Werfener Schichten).

Diese Gliederung findet sich zwar schon bei TOLLMANN (1977), sowohl für den Drauzug als auch für den Mittelkärntner Raum und die Nordkarawanken, nur sind die einzelnen Schichtglieder (TOLLMANN bezeichnet die Unterrotliegendesedimente als "Werchzirmschichten", diese entsprechen den "Laaser Schichten" von NIEDERMAYR et al., 1982) nicht klar definiert und abgegrenzt.

Im Stratigraphischen Lexikon (KUEHN, 1962) findet man für den Begriff "Alpiner Buntsandstein" folgende, heute völlig unbrauchbare Definition: "Alte Bezeichnung für Werfener Schichten, manchmal mit Einschluß der Grödener Schichten".

Nach TOLLMANN (1972) unterscheidet sich die über dem "Alpinen Verrucano" folgende "aquatische,

wohlgeschichtete Bildung des Buntsandsteins und seiner metamorphen Abkömmlinge klar vom Alpinen Verrucano". Dieser markante Sedimentationsumschwung wird von TOLLMANN (1972) mit der Pfälzischen Phase an der Perm-Trias-Grenze in Verbindung gebracht.

Bei TOLLMANN (1976) findet man für den Alpinen Buntsandstein folgende Definition: "Als Bezeichnung für den im Westteil der Kalkalpen die Werfener Schiefer vertretenden Buntsandstein sollte zur Charakterisierung des lithologisch vom Germanischen Buntsandstein abweichenden Typus der Begriff "Alpiner Buntsandstein" verwendet werden...". Nach TOLLMANN (1976) ist die Untergrenze zum Alpinen Verrucano "meist nicht scharf" ausgeprägt.

Eine allgemein gültige Definition und Abgrenzung der nordalpinen Werfener Schichten gegenüber den liegenden und hangenden Einheiten (Alpiner Buntsandstein, unteranische Serien) fehlt bisher. So werden die Werfener Schichten im Stratigraphischen Lexikon (KUEHN, 1962) folgendermaßen beschrieben: "Die Werfener Schichten beginnen je nach Unterlage mit groben Basalkonglomeraten (oft als Verrucano bezeichnet) von Quarz oder Phylliten, wo sie an Bellerophonkalk anschließen, wie in den Gailtaler Alpen sowie in den Karnischen Alpen und südlichen Karawanken auch kalkig. Glimmerreichtum ist für die meisten Vorkommen bezeichnend".

Nach TOLLMANN (1976) setzen in den Nördlichen Kalkalpen, etwa ab Wörgl Richtung Osten, über dem Alpinen Buntsandstein die Werfener Schichten ein, bestehend aus "Werfener Quarziten" an der Basis, darüber "Werfener Schiefen" und am Top "Werfener Kalken".

Jüngste Untersuchungen von POSCHER, RIML und STINGL in den Nördlichen Kalkalpen (Bereich Wörgl-Saalfelden) sowie eigene Untersuchungen im Kärntner Raum haben gezeigt, daß innerhalb der postvariszischen Transgressionsserien in beiden Bereichen prinzipiell dieselben Serien abgegrenzt werden können, wie NIEDERMAYR et al. (1982) es für den westlichen Drauzug angeben. Eine etwas abweichende Entwicklung zeigt das Permoskyth in den östlichen Nördlichen Kalkalpen (im Oberperm Haselgebirge weitverbreitet) und im Bereich des Präbichl südl. Eisenerz (KRAINER & STINGL, in Vorb.).

Nach den bisher vorliegenden Ergebnissen läßt sich die postvariszische Transgressionsserie sowohl in den westlichen Nördlichen Kalkalpen (Bereich Saalfelden - Wörgl) als auch im Drauzug und im Mittelkärntner Raum aufgrund folgender überregional wirksamer Leitereignisse gliedern:

a) Markante Änderung in der Sedimentation infolge Klimaänderung an der Grenze Oberkarbon-Unterperm. Diese Grenze ist durch Pflanzenfunde auch zeitlich belegt (z.B. van AMEROM et al., 1982).

b) Das nächste Leitereignis bilden die vulkanischen Äußerungen der "Saalischen Phase" an der Grenze Unter- zu Oberrotliegend. Äußerungen dieses Vulkanismus findet man in den gesamten westlichen Nördlichen Kalkalpen, im Drauzug und im Mittelkärntner Raum entweder in Form von anstehenden sauren Vulkaniten (Quarzporphyr, Ignimbrit, meist Tuffe und Tuffite), oder in Form von vulkanischen Aufarbeitungsprodukten (Porphyrquarze, vulk. Chertkomponenten, vulk. Gesteinsbruchstücke) in den Konglomeraten und Sandsteinen der darüberfolgenden Serien.

c) Ein weiteres, ziemlich deutlich ausgebildetes Leitereignis ist das plötzliche Einsetzen des "Alpinen Buntsandsteins" in Form eines plötzlichen Sedimentationsumschwunges. Der Alpine Buntsandstein kann, basierend auf einer Regression, die ungefähr mit dem "Campiller Ereignis" der Südalpen gleichgesetzt werden kann, in einen Unteren und Oberen Alpinen Buntsandstein aufgliedert werden.

Der Alpine Buntsandstein weist mit wenigen Ausnahmen eine deutlich bessere kompositionelle und texturale Reife auf als das darunterliegende Perm.

d) Über dem Alpinen Buntsandstein, der durchwegs in "Rotfazies" ausgebildet ist und teils fluviatiler, teils mariner Entstehung ist, folgen die (nordalpinen) Werfener Schichten, teilweise mit einer scharfen Grenze (Kärntner Raum), teilweise ist diese Grenze etwas schwieriger zu fassen (STINGL, 1984).

In den westlichsten Nördlichen Kalkalpen (Stanzerthal, Montafon) fehlt die Fazies der Werfener Schichten, sie ist dort durch die Fazies des Alpinen Buntsandsteins (Hangendquarzite) vertreten.

Aufgrund dieser Leitereignisse läßt sich die postvariszische Schichtfolge sowohl der westlichen Nördlichen Kalkalpen als auch des Drauzuges und der Gurktaler Decke in folgende Schichtglieder unterteilen:

Oberkarbon, meist geringmächtig und lokal in kleinen Senken (z.B. Gurktaler Decke, Montafon-"Kristbergschichten"), teilweise recht mächtig (z.B. Gainfeldkonglomerat, Stangalmkarbon);

"Unterrotliegend"* (Werchzirmschichten, Christophbergschichten, Freudenbergschichten, Laaser Schichten); Vulkanite der "Saalischen Phase", etwa an der Grenze Unter- zu Oberrotliegend (Drauzug, Gurktaler Decke, Montafon);

"Oberrotliegend-Zechstein"* (Alpiner Verrucano, Grödener Schichten, Griffener Schichten, Prebichlschichten, Hochfilzener Schichten);

tiefere und mittleres Skyth (Unterer und Oberer Alpiner Buntsandstein);

höheres Skyth (nordalpine Werfener Schichten).

In den folgenden Abschnitten soll nun der Versuch unternommen werden, den Alpinen Buntsandstein und die (nordalpinen) Werfener Schichten des Untersuchungsbereiches sedimentologisch zu charakterisieren, beide Schichtglieder gegen das Liegende und Hangende abzugrenzen und mit anderen Vorkommen (Nördliche Kalkalpen) zu vergleichen.

3. UNTERSUCHUNGSMETHODIK

Für eine genaue sedimentologische Untersuchung des Alpinen Buntsandsteins und der Werfener Schichten war es zunächst Voraussetzung, möglichst vollständige und gut aufgeschlossene Profile durch diese beiden Serien zu finden. Dies war bisher aufgrund der teilweise sehr schlechten Aufschlußverhältnisse vor allem bezüglich des Alpinen Buntsandsteins nur bedingt möglich.

Sowohl aus dem Anstehenden als auch in Form von Lesesteinen wurde eine Reihe von Makrofossilien aufgesammelt.

Das Probenmaterial wurde zunächst anhand von über 200 petrographischen Dünnschliffen und ca. 100 Karbonatdünnschliffen unter dem Mikroskop untersucht.

*) Die Begriffe "Unterrotliegend" und "Oberrotliegend-Zechstein" sind nur als vorläufige Arbeitsbegriffe für jeweils charakteristische Sedimentabfolgen zu verstehen.

Von einigen ausgewählten Proben (Ulrichsberg, Kranzwandgraben) wurden 20 Sondenschliffe angefertigt und mit der Mikrosonde Feldspäte, detritische Glimmer sowie Zement- und Matrixtypen studiert.

Die detritischen Komponenten, Zementtypen und die Matrix der Sandsteine wurden im Dünnschliff bestimmt und deren prozentueller Anteil mit einem Zählkular ermittelt. Pro Schliff wurden 1000 Punkte ausgezählt. Die Sandsteine wurden nach dem Klassifikationsschema von DOTT (1964), modifiziert von PETTIJOHN et al. (1972), PETTIJOHN (1975), benannt.

Das Probenmaterial wurde auch hinsichtlich der Schwermineralführung untersucht, wobei die ersten Ergebnisse bereits vorliegen.

Die Proben wurden vorsichtig zerkleinert, anschließend die Kornfraktion 0.063-0.25 mm abgesiebt und vorhandenes Karbonat mit verdünnter Essigsäure entfernt. Als Schwereflüssigkeit wurde Tetrabromethan verwendet, abgetrennt wurde in Scheidetrichtern, die Abtrennzeit betrug bei jeder Probe 24 Stunden. Von der gesamten anfallenden Schwermineralmenge wurden Streupräparate angefertigt und jedes davon ausgezählt, um einen möglichst genauen Überblick über das Schwermineralspektrum zu erhalten. War ein sehr hoher Opakanteil zu verzeichnen, so wurde dieser durch Abtrennen mit dem Magnetscheider bei 0.4 Ampere auf ein erträgliches Maß verringert.

Verdächtige Karbonatproben wurden auf Conodontenführung getestet und zu diesem Zweck mit verdünnter Essigsäure behandelt.

4. ALPNER BUNTSANDSTEIN

4.1. Einleitung

Im Drauzug und im Mittelkärntner Raum wird die zwischen den Vulkaniten der Saalischen Phase im Liegenden und den Werfener Schichten im Hangenden auftretende klastische Sedimentabfolge als "Permoskythsandstein" zusammengefaßt (z.B. RIEHL-HERWIRSCH, 1965, 1966; WASCHER, 1969; KAISER, 1971, RIEHL-HERWIRSCH & WASCHER, 1972; THIEDIG & CHAIR, 1974; THIEDIG et al., 1975; MOSTLER, 1972 a;

WOLTER et al., 1982). NIEDERMAYR (1975) verwendet für diese Abfolge im westlichen Drauzug den Begriff "Hangende Serie".

Im Mittelkärntner Raum gliedert erstmals TOLLMANN (1977) diesen Komplex in Griffener Schichten (Grödener Schichten) und in eine darüberfolgende skythische Serie, die im tieferen Teil durch Buntsandstein repräsentiert wird, überlagert von Werfener Schichten.

Erste Hinweise auf eine tatsächliche Gliederungsmöglichkeit des "Permoskythsandsteines" bzw. der "Hangenden Serie" des Drauzuges gibt NIEDERMAYR (1975), indem er im Hangenden dieser Serie eine charakteristische Abfolge von dünngebankten Sandsteinen beschreibt, die sich von der darunterliegenden Abfolge durch ein anderes Schwermineralspektrum unterscheidet.

In dieser charakteristischen Abfolge im hangenden Permoskythsandstein sieht TOLLMANN (1977, p. 601) den Alpenen Buntsandstein und bringt die von NIEDERMAYR et al. (1978) angenommene schwache Bewegungsphase mit der Pfälzischen Phase an der Wende Perm-Trias in Verbindung.

Durch weitere sedimentologische, vor allem sedimentpetrographische Untersuchungen (Schwerminerale) konnten NIEDERMAYR et al. (1978) die Aufgliederung des Permoskythsandsteins klar herausarbeiten. NIEDERMAYR et al. (1982) haben schließlich die permoskythische Transgressionsserie des westlichen Drauzuges in vier Serien untergliedert und die einzelnen Serien sedimentologisch charakterisiert.

Eigene Untersuchungen haben gezeigt, daß zumindest am Ulrichsberg und im Riedgraben ebenfalls eine klare Aufgliederung des Permoskythsandsteins möglich ist. In den St. Pauler und Griffener Bergen sowie am Christophberg konnte eine solche Aufgliederung ebenfalls sehr wahrscheinlich gemacht, aber aufgrund der gerade in diesen Profilabschnitten schlechten Aufschlußverhältnisse im Gelände noch nicht eindeutig bestätigt werden. Ebenso schwierig ist eine Abtrennung in der nordalpinen Fazies der Karawanken, da hier in unmittelbarer Nähe zur Periadriatischen Naht das Permoskyth tektonisch stark beansprucht, nur in kleineren Schuppen erhalten ist und zusammenhängende Permoskythprofile vollkommen fehlen.

Abschließend soll noch darauf hingewiesen werden, daß der von NIEDERMAYR & SCHERIAU-NIEDERMAYR, 1982, für die zwischen den Vulkaniten der Saalischen Phase und dem Einsetzen des Alpinen Buntsandsteins liegende Serie neu definierte Begriff "Grödener Schichten" nach Meinung des Autors nicht auf die nordalpine Fazies übertragen werden sollte, da zwischen den südalpinen Grödener Schichten und den in der nordalpinen Fazies über den intrapermischen Vulkaniten folgenden Serien doch gewisse fazielle Unterschiede bestehen (siehe z.B. BUGGISCH et al., 1976, BUGGISCH, 1978).

Während die Grödener Schichten der Südalpen, ausgenommen ganz im Westen, von marinem Oberperm (Bellerophon-schichten) überlagert werden, geht in der nordalpinen Fazies die fluviatile Sedimentation ins Oberperm durch, der Sedimentationsumschwung erfolgt erst mit dem Einsetzen des Alpinen Buntsandsteins. Somit ist die Annahme einer Schichtlücke, die den gesamten Zechstein umfassen soll (NIEDERMAYR et al., 1982) nicht notwendig.

Vielmehr sollte ein Begriff gefunden werden, der für alle innerhalb der nordalpinen Fazies ähnlich ausgebildeten permischen Serien (Drauzug, Gurktaler Decke, Nördliche Kalkalpen) anwendbar ist.

Vor einer eingehenden Beschreibung des Alpinen Buntsandsteins soll zunächst anhand des Riedgrabenprofils die fazielle Entwicklung und Gliederung des gesamten Permoskyths kurz dargestellt werden.

Eine ausführliche Beschreibung und Darstellung dieses Profils, vor allem des permischen Anteils, erfolgt in einer gesonderten Arbeit.

Das Perm kann zunächst gegliedert werden in ein Unterrotliegend und in Oberrotliegend + Zechstein (Oberperm).

Das Unterrotliegend ist eine fluviatile Abfolge, an der Basis mit wildbachartigen Konglomeratschüttungen aus Geröllen des unterlagernden Kristallins, nach oben übergehend in fluviatile Sequenzen, bestehend aus im wesentlichen konglomeratischen Rinnenfüllungen, grobkörnigen unreifen, schräggeschichteten Sandsteinen (Taf. 1, Abb. 1) und am Top der Sequenzen roten, teilweise durchwühlten Silten.

Im oberen Teil des Unterrotliegend kommt es noch einmal zu einer geringmächtigen Konglomeratschüttung aus dm-großen Kristallingeröllen, was auf tektonische Äußerungen der "Saalischen Phase" hindeutet. Zu dieser Zeit kommt es im Mittelkärntner Raum (Gurktaler Decke) und im westlichen Drauzug zur Förderung von vulkanischem Material in Form von Quarzporphyren, Ignimbriten, Tuffen und Tuffiten.

Anstehende intrapermische Vulkanite, die allgemein nicht über das Unterrotliegend hinaufreichen, fehlen im Riedgrabenprofil. Hier wird die ungefähre Grenze Unter- zu Oberrotliegend durch das plötzliche und massive Einsetzen von vulkanischen Aufarbeitungsprodukten dieser intrapermischen Vulkanite angezeigt.

Das Oberrotliegend-Oberperm ist im Riedgraben charakterisiert durch eine fluviatile Abfolge. Im basalen Abschnitt sind grobe Schüttungen, fast ausschließlich aus Quarzporphyrgeröllen bis zu 20 cm Durchmesser ("Porphyrkonglomerate"), häufig und deuten auf ein stärkeres Relief hin. Auch die meist grobkörnigen Sandsteine bestehen zum überwiegenden Teil aus vulkanischen Aufarbeitungsprodukten und können durchaus als "vulkanoklastische Sandsteine" bezeichnet werden (Taf. 1, Abb. 3-5).

Über diesen proximalen Grobschüttungen folgen Grobsandsteine-Feinkonglomerate mit locker eingestreuten Kiesgeröllen. Darin eingeschnitten sind häufig kleine, bis zu 30 cm tiefe und lateral rasch auskeilende Rinnen mit Geröllen, die häufig eine Einregelung zeigen und bis zu 10 cm, meist jedoch unter 5 cm Durchmesser aufweisen.

Der Anteil an Quarzporphyrgeröllen ist immer noch sehr hoch, doch treten auch zunehmend Quarzgerölle in Erscheinung. Die Abnahme in der Korngröße zeigt eine zunehmende Einebnung des Reliefs an, die Sedimente können als Ablagerungen arider, alluvialer Schwemmebenen mit einem verzweigten Flußsystem gedeutet werden.

Bei der Gliederung des Skyth wird von der Vorstellung ausgegangen, daß sich Transgressionen und Regressionen, wie sie heute in den südalpinen skythischen Werfener Schichten deutlich ablesbar sind und zusätzlich zur Gliederung in einzelne Members herangezogen werden, auch im nordalpinen Skyth (Alpiner

Buntsandstein und Werfener Schichten) abzeichnen, vor allem dann, wenn man als Ursache Meeresspiegelschwankungen oder Klimaänderungen in Erwägung zieht.

Jüngste Untersuchungen in den Nördlichen Kalkalpen haben gezeigt, daß sich sowohl im Alpinen Buntsandstein (STINGL, 1984) als auch in den Werfener Schichten (BRANDNER et al., 1984) prinzipiell ähnliche Trans- und Regressionsfolgen abzeichnen wie in den Südalpen, und daß sich diese Ereignisse, zumindest innerhalb der Werfener Schichten, auch einigermaßen korrelieren lassen.

Mit dem Einsetzen des Alpinen Buntsandsteins (Skyth) ist generell ein Sedimentationsumschwung verbunden, der vermutlich auf eine leichte Klimaänderung von arid zu mehr semiarid zurückzuführen ist.

Dies äußert sich im Riedgrabenprofil in einer plötzlichen Korngrößenabnahme, einer gleichzeitigen Abnahme an vulkanischen Aufarbeitungsprodukten und Zunahme von Quarz sowie einer Umgestaltung des Ablagerungsmilieus. Die Sedimentation ist gekennzeichnet durch fluviatile Sequenzen, bestehend aus untergeordnet konglomeratischen, meist grobsandigen und trogförmig schräggeschichteten Rinnensedimenten, selten horizontalgeschichteten Sandsteinen und Überflutungssedimenten in Form von roten Silten und Ton-schiefern. Die Sedimentation erfolgte bei einer kontinuierlicheren Wasserführung der Gerinne als im Perm.

Diese fluviatile Fazies geht zum Hangenden hin allmählich in einen marinen Faziesbereich über, was sich durch eine allmähliche Korngrößenabnahme und einen zunehmenden Reifegrad der Sedimente (zunehmend bessere Rundung und Sortierung, starke Abnahme von vulkanischen Aufarbeitungsprodukten) äußert. Diese Entwicklung, der der Charakter einer Transgression zukommt, gipfelt in einer Wattfazies mit *Diplocraterion* und anderen Lebensspuren.

Auf diese Transgression folgt eine plötzliche Regression, über der marinen Wattfazies folgen mit einer scharfen Grenze zunächst fluviatile, feinkonglomeratische Schüttungen, die in eine mächtige Abfolge aus unreifen fluviatilen Sandsteinen mit einem hohen Anteil an vulkanischen Aufarbeitungsprodukten übergehen.

Diese Regression, die genauso auch im Alpinen Buntsandstein der Nördlichen Kalkalpen (Bereich Hochfilzen-Saalfelden) klar zum Ausdruck kommt (STINGL, 1984), stellt ein intraskythisches Ereignis dar und ist vergleichbar mit dem "Campiller Ereignis" der Südalpen. Daß es in der nordalpinen Fazies tatsächlich ein dem "Campiller Ereignis" bzw. der Campiller Regression der Südalpen vergleichbares Ereignis gibt, geht aus dem Buntsandsteinprofil der Simmerlacher Klamm (bei Oberdrauburg) hervor. Von diesem Profil sind im Buntsandstein schon lange zwei Kohleflözchen bekannt (ANGER, 1964) und auch datiert, wobei das tiefere Flöz aufgrund von Sporen "am ehesten Seiser Alter" besitzt, während das ca. 25 m höher liegende Flöz in das Campill eingestuft werden konnte (MOSTLER, 1972 a).

Zwischen diesen beiden Flözen setzt mit einer scharfen Grenze plötzlich eine starke Quarzporphyrgeröllschüttung (Gerölle bis über 10 cm) ein, die erst im Hangenden des zweiten Flözes allmählich nachläßt.

Im Liegenden dieser Grobschüttungen sind Quarzporphyrgerölle äußerst selten, hier finden sich fast ausschließlich Quarzgerölle, die selten größer als 5 cm werden. Die Sandsteine führen jedoch einen sehr hohen Gehalt an vulkanischen Aufarbeitungsprodukten.

Das Einsetzen dieser Quarzporphyrgeröllschüttung ist nun durch die beiden Flöze im Liegenden und im Hangenden zeitlich einigermaßen fixiert, intraskythisches, und zwar tieferes Skyth auf alle Fälle gesichert und ein Vergleich mit dem Campiller Ereignis durchaus zulässig. Das Profil der Simmerlacher Klamm ist zur Zeit in Bearbeitung; dabei soll auch versucht werden, das Alter der beiden Flöze zeitlich noch besser in den Griff zu bekommen.

Dieses Ereignis im Alpinen Buntsandstein der Simmerlacher Klamm läßt sich mit den im Riedgrabenprofil über der Wattfazies einsetzenden Feinkonglomeratschüttungen (Regression) korrelieren (Abb. 2).

Damit läßt sich der Alpine Buntsandstein, genau wie in den Nördlichen Kalkalpen, in einen Unteren und einen Oberen Alpinen Buntsandstein gliedern.

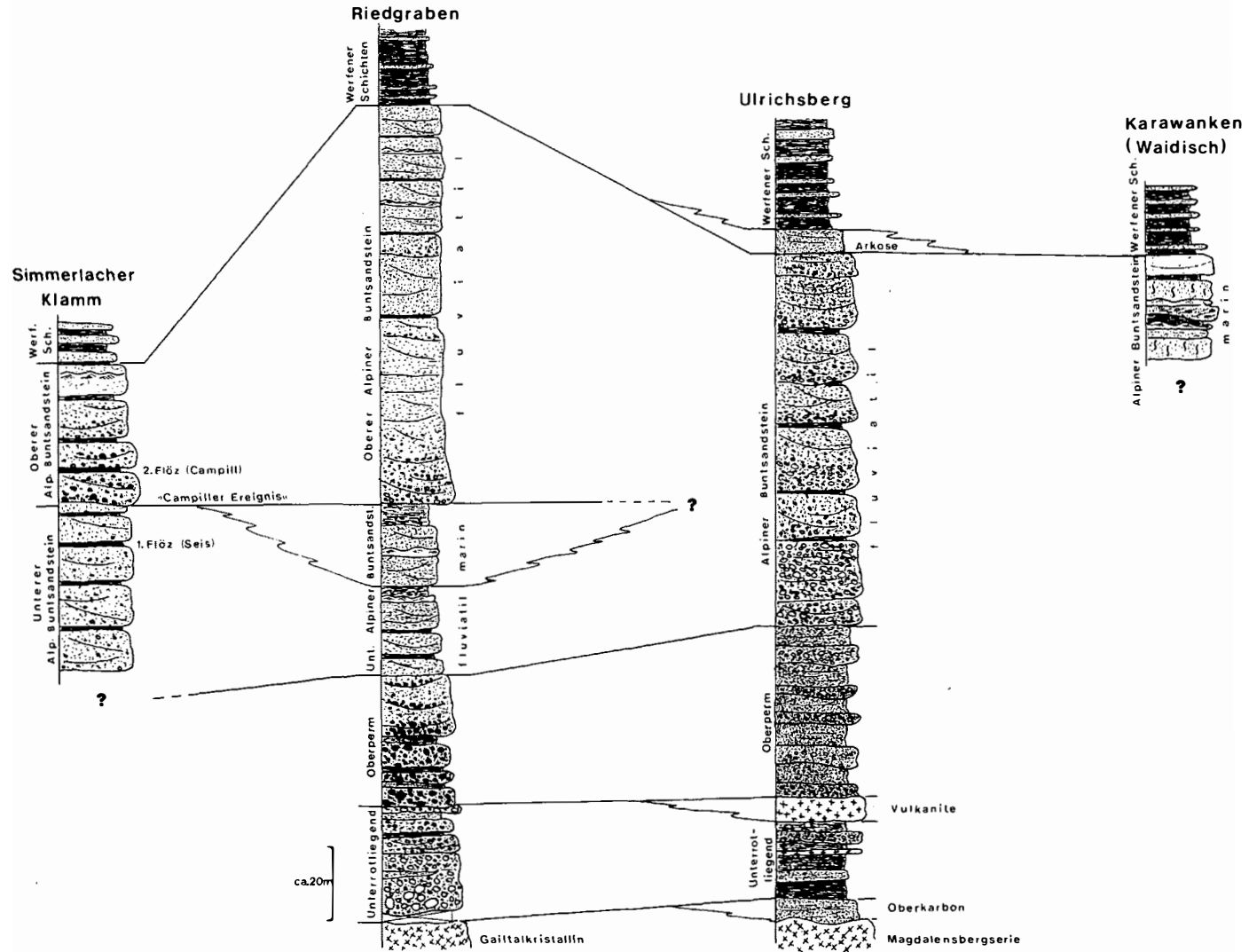


Abb. 2: Gliederung und Korrelation untersuchter Permoskythprofile

Allerdings konnte innerhalb des Alpenen Buntsandsteins der Gurktaler Decke eine Regression bisher nicht nachgewiesen werden. Ebenso scheint hier die marine Ingression, wie sie im Riedgrabenprofil zu beobachten ist, zu fehlen.

Der Grund dafür mag einmal in der gegenüber dem Riedgrabenprofil ursprünglich sicher weiter im N gelegenen Position der Gurktaler Decke liegen, so daß sich hier die marine Ingression nicht auswirkte und der Alpine Buntsandstein durchwegs fluviatil und gröberklastisch ausgebildet ist. Möglicherweise haben auch die schlechten Aufschlußverhältnisse in diesem Raum das Erkennen eines Sedimentationsumschwunges, der sich in einer fluviatilen Abfolge ohnehin nicht deutlich abzeichnen muß, bisher verhindert.

Am Ulrichsberg (N Klagenfurt) setzt der Alpine Buntsandstein mit Konglomeratschüttungen (Komponenten bis über 10 cm) ein, wobei hier Konglomeratlagen bis in den hangendsten Buntsandstein hinaufreichen (Korngröße bis 3 cm).

Auch in den St. Pauler Bergen, zwischen Ruden und der Rabensteiner Greuth, treten etwa im mittleren Abschnitt des "Permoskythsandsteines" vermehrt Konglomeratlagen auf, was bereits von THIEDIG & CHAIR (1974) vermerkt wurde. Das Einsetzen dieser grobklastischen Schüttungen (Komponenten bis max. rund 10 cm) wird hier ebenfalls als Untergrenze des Alpenen Buntsandsteins aufgefaßt. Im hangendsten Buntsandstein treten auch hier noch vereinzelt Konglomeratlagen auf (Komponenten max. 3 cm).

Die Klastika des Alpenen Buntsandsteins der Gurktaler Decke unterscheiden sich in ihrer Zusammensetzung schon makroskopisch recht deutlich von den permischen Abfolgen.

Auffallend ist zunächst die etwas hellere Farbe, hervorgerufen durch den hohen Gehalt an Quarzgeröllen und die sandige, ebenfalls quarzreiche Matrix der Konglomeratlagen. Die permischen Konglomerate sind dagegen intensiv rot gefärbt, was auf den hohen Tongehalt der Matrix und das darin enthaltene Hämatitpigment zurückzuführen ist.

Außerdem führen die Konglomerate der permischen Serien einen beträchtlichen Anteil an Kristallinen und vor allem Vulkanitgeröllen.

In den Konglomeraten des Alpenen Buntsandsteins ist der Gehalt an Vulkanitgeröllen durchwegs geringer, Kristallingerölle fehlen mehr oder minder gänzlich. Auch die Sandsteine sind durch einen geringeren Gehalt an rotfärbender Matrix und Vulkanitkomponenten ausgezeichnet.

Diese Kriterien ermöglichen es meist schon im Gelände, permische Serien und Alpenen Buntsandstein auseinanderzuhalten.

Über dem Alpenen Buntsandstein setzen mit einer scharfen Grenze in Form einer Transgression die Werfener Schichten ein. Wie später noch ausführlich dargestellt wird, läßt sich diese Transgression eventuell mit der "Val Badia"-Transgression der Südalpen vergleichen.

4.2. Mineralbestand (siehe auch Tab. 1)

Untersucht wurden folgende Punkte:

Detritische Komponenten : diese wurden in drei Gruppen gegliedert (Quarz, Feldspat, Gesteinsbruchstücke), innerhalb jeder Gruppe wurden verschiedene Typen unterschieden.

Schwermineralspektrum (durchsichtige Schwerminerale)
Matrix
Diageneseprozesse

Detritische Komponenten

QUARZ

Mit Ausnahme des Alpenen Buntsandsteins im Riedgraben ist Quarz immer die häufigste detritische Komponente. Im Riedgraben überwiegen Gesteinsbruchstücke und Feldspäte, lediglich an der Basis mit den quarzreichen Feinkonglomeraten ist auch in den Sandsteinen Quarz die häufigste Komponente.

Monokristalliner Quarz überwiegt meist gegenüber polykristallinem Quarz, nur im basalen Alpenen Buntsandstein im Riedgraben überwiegt polykristalliner Quarz, ebenso im marinen Buntsandstein von Waidisch.

Typisch bei den monokristallinen Quarzen ist ein stets vorhandener Anteil an Porphy Quarzen in Form meist größerer, einschlußarmer bis einschlußfreier, gleichmäßig auslöschender Körner mit teilweise

typischen Korrosionserscheinungen. Besonders im Riedgraben ist der Anteil an Porphy Quarzen sehr hoch, am geringsten im Buntsandstein von Waidisch.

Polykristalline Quarze zeigen durchwegs Eigenschaften, die nach Untersuchungen von BLATT (1967) für metamorphe Ausgangsgesteine sprechen (z.B. viele "stretched metamorphic quartz grains", FOLK, 1974) und auch eindeutig aus dem kristallinen Untergrund (Gaitalkristallin) zu beziehen sind. Aufgrund der Definition von FÜCHTBAUER & MÜLLER (1977) sowie nach BLATT (1982) werden polykristalline Quarze zu den Gesteinsbruchstücken gerechnet.

GESTEINSBRUCHSTÜCKE

Der Alpine Buntsandstein führt in meist beträchtlicher Menge vulkanische und auch metamorphe Gesteinsbruchstücke, vereinzelt sind auch sedimentäre Gesteinsbruchstücke in Form aufgearbeiteter roter Tonschieferscherben zu beobachten.

An metamorphen Gesteinsbruchstücken finden sich neben den polykristallinen Quarzen leicht bis stark geschieferte Quarz-Feldspat-, Quarz-Feldspat-Glimmer- und Quarz-Glimmer-Aggregate, alle aus dem kristallinen Untergrund (diverse Glimmerschiefer des Gaitalkristallins) stammend.

Im Profil Riedgraben treten vereinzelt auch Gesteinsbruchstücke aus großen Feldspäten und Quarzindividuen auf, die große Ähnlichkeit mit den Augengneisgeröllen aufweisen, die im Unterrotliegend häufig auftreten, und auch aus dem Unterrotliegend von Stockenboi als vergneiste Granitgerölle beschrieben wurden (EXNER, 1974). Diese Augengneisgerölle ähneln sehr den zuletzt von HEINISCH & SCHMIDT (1982) und HEINISCH et al. (1984) beschriebenen Augengneiszügen im Gaitalkristallin und sind wohl auch von diesen zu beziehen.

Typisch für den Alpenen Buntsandstein ist ein stets vorhandener Gehalt an vulkanischen Gesteinsbruchstücken aus dem intrapermischen Vulkanismus in Form der schon erwähnten Porphy Quarze sowie "vulkanischer Chertkomponenten" (= felsitische Quarz-Feldspataggregate aus rekristallisiertem vulkanischen Glas, durch Hämatitpigment rötlichbraun gefärbt, Taf. 1, Abb. 4) und vulkanischer Gesteinsbruchstücke aus felsitischer, rötlich gefärbter vulkanischer Grund-

masse mit Einsprenglingen aus häufig korrodierten Porphy Quarzen, meist schon gänzlich zersetzten und nur selten erhaltenen Feldspäten, entmischten Biotiten und Zirkonen (Taf. 1, Abb. 3, 5). Die vulkanischen Gesteinsbruchstücke und Chertkomponenten zeigen häufig auch typische Strukturen (Pseudofluidal-Glasscherben- und sphärolithische Strukturen), die besonders bei parallelen Nicols sehr schön zu beobachten sind. Aufgearbeitet wurden Quarzporphyre, Ignimbrite (Glasscherbengefüge) sowie Tuffe und Tuffite, allerdings ist bei den meisten vulkanischen Komponenten nicht mehr genau zu entscheiden, von welchem der genannten Vulkanite sie stammen.

FELDSPÄTE

Feldspäte sind im Alpenen Buntsandstein stets vorhanden, z.T. in recht hohen Gehalten (z.B. Riedgraben). Bei den bisher mit der Mikrosonde untersuchten Feldspäten (Ulrichsberg) handelt es sich ausschließlich um Kalifeldspat mit einem sehr hohen Or-Anteil von durchwegs über 90%, einem Ab-Anteil von 4-8% und einem An- und Ce- (Celsian) Anteil von jeweils unter 1% (siehe Tab. 2).

Die Feldspäte sind teilweise schon mehr oder weniger stark zersetzt (kaolinitisiert, vacuolisiert), vereinzelt findet man bereits Kaolinitpseudomorphosen nach Feldspat, vor allem im fluviatilen Faziesbereich. Im marinen Faziesbereich sind die Feldspäte durchwegs besser erhalten.

Über 98% der Feldspäte sind nicht verzwillingt. Dies ist darauf zurückzuführen, daß die Feldspäte nicht nur entlang von Spaltbarkeitsflächen, sondern auch entlang von Zwillingssebenen zerbrechen und auf diese Weise aus ursprünglich verzwillingten Feldspäten durch mechanische Abrasion unverzwillingte Feldspatbruchstücke entstehen können (PITTMAN, 1969).

Die Korngröße der Feldspäte liegt etwas unter jener des Quarz (vgl. Taf. 4, Abb. 2, 3). Authigene Anwachsäume treten vereinzelt (Riedgraben, fluviatile Fazies) bis sehr häufig auf (Riedgraben, marine Fazies, Dobratsch-Südseite, St. Pauler Berge, Waidisch, Taf. 2, Abb. 2, 5; Taf. 4, Abb. 2, 3). Es sind reine Kalifeldspat-Endglieder mit einem Or-Anteil von über 99%.

	Qm	Qp	Chert	vGBR	GBR	F	Gl	ZQz	ZKb	M	V
<u>Werfener Schichten</u>											
Ulrichsberg (12)	27	13	7	1	1	23	3	2	23	1	30
Kranzwandgraben (11)	27	11	2	1	1	20	4	3	30	1	20
Christophberg (3)	23	8	6	1	1	39	10	5	1	6	30
St. Pauler Berge (14)	26	10	7	1	3	22	4	2	21	4	30
Waidisch, feinkörnig (9)	29	20	4	1	8	7	7	5	17	2	20
Waidisch, Grobsandstein (2)	25	27	4	6	6	7	1	-	24	-	20
<u>Alpiner Buntsandstein</u>											
Kranzwandgraben (9)	30	19	3	1	10	23	1	3	9	1	30
Ulrichsberg (19)	33	30	11	4	4	5	1	6	2	4	35
St. Pauler Berge (7)	23	23	9	6	18	15	1	4	-	1	35
Waidisch (14)	31	34	4	1	4	5	3	2	9	7	20
<u>Oberperm</u>											
Ulrichsberg (4)	21	21	27	6	4	2	1	1	2	15	55
Christophberg (6)	20	15	22	15	6	3	2	3	-	14	60
St. Pauler Berge (4)	10	23	21	12	13	4	2	-	6	9	50
<u>Unterrotliegend</u>											
Christophberg (9)	8	20	10*	4	35	6	1	1	-	15	-
Werchzirmalpe (10)	10	12	16*	-	37	2	-	2	13	8	-
Stockenboi (15)	6	27	-	-	42	4	2	-	3	16	-
<u>Riedgrabenprofil</u>											
Werfener Schichten (6)	13	9	17	6	8	32	6	1	2	7	50
Oberer Buntsandstein, hangend (15)	15	9	21	10	10	26	2	2	3	2	60
Oberer Buntsandstein, Basis (4)	18	27	21	7	10	9	1	1	-	6	50
Unterer Buntsandstein, marin (9)	24	33	7	3	9	11	1	4	-	8	25-30
Unterer Buntsandstein, fluviatil (5)	30	31	9	3	6	13	-	6	-	2	30
Oberperm, fluviatil (4)	16	21	24	20	6	4	5	-	5	8	70
Unterrotliegend (6)	6	30	-	-	38	11	2	-	-	13	-

Qm = monokristalliner Quarz
 Qp = polykristalliner Quarz
 Chert = "vulkanischer Chert"
 vGBR = vulkanische Gesteinsbruchstücke
 GBR = metamorphe und sedimentäre Gesteinsbruchstücke
 F = Feldspat
 Gl = detritische Glimmer

ZQz = Quarzzement
 ZKb = Karbonatzement
 M = Matrix
 V = ungefährender Anteil der vulkanischen Komponenten (Porphy Quarze, vulk. GBR, Vulk. Chert und Feldspäte) am Gesamtmineralbestand
 * = sedimentärer Chert (Kieselschiefer, Lydit)

	Or	Ab	An	Ce
Alpiner Buntsandstein (126)	93.64 (88-98.4)	5.74 (1.1-11.6)	0.24 (0-1.4)	0.38 (0-1.5)
Basale Werfener Schichten (126) (Arkosen)	92.12 (77.61-98.1)	7.29 (0.2-20.4)	0.30 (0-1.85)	0.29 (0-1.2)
Werfener Schichten (85)	91.39 (86-96.7)	7.71 (2.8-13.2)	0.28 (0-2.72)	0.62 (0-1.76)
Werfener Schichten Kranz- wandgraben (53)	89.8 (79.2-93.8)	9.2 (6.0-18.8)	0.40 (0-1.10)	0.70 (0-1.80)
wandgraben (5)	1.9 (0.5-5.8)	93.2 (88.6-97.5)	4.90 (1.9-10.4)	bis 0.1
Anwachssäume (authigen) (35)	99.55 (97.92-100)	0.39 (0-2.02)	0.05 (0-0.52)	bis 0.3

Tab. 2:
Durchschnittliche Zusammensetzung detritischer und neugebildeter Feldspäte (Ulrichsberg und Kranzwandgraben)

	Kalifeldspat mit Anwachssaum (Ulrichsberg)		Plagioklas (Kranzwandgraben)
	Kern	Saum	
SiO ₂	64.37	65.53	66.72
TiO ₂	0.0	0.0	0.0
Al ₂ O ₃	19.32	19.75	20.48
FeO	0.24	0.01	0.08
MnO	0.10	0.0	0.0
MgO	0.14	0.02	0.04
CaO	0.09	0.0	0.71
K ₂ O	15.47	14.90	0.11
Na ₂ O	0.42	0.1	11.67
BaO	<u>0.14</u>	<u>0.0</u>	<u>0.07</u>
	100.29	100.22	99.88
Or	95.34	99.9	0.63
Ab	3.93	0.1	95.80
An	0.47	0.0	3.41
Ce	0.27	0.0	0.16

Tab. 3:
Feldspatanalysen aus den Werfener Schichten

An Zwillingen ist Mikroklingitterung am häufigsten vertreten, untergeordnet sind polysynthetische Zwillinge und Karlsbader Zwillinge zu beobachten. Nur im Riedgraben überwiegen polysynthetische Zwillinge, während Mikroklingitterung und Karlsbader Gesetz selten sind. Im Riedgraben sind auch häufig perthitische Feldspäte zu beobachten (Aderperthite, Fleckenperthite, Flammenperthite, Mikroklin-Aderperthite, Schachbrettalbite), sowie schriffgranitische Quarz-Feldspat-Verwachsungen und "gefüllte Feldspäte" (Perthite z.T. aus den Augengneisen stammend). Diese zuletzt genannten Feldspattypen (Perthite usw.) sind in den übrigen untersuchten Profilen selten bis vollkommen fehlend.

Mikrosondenuntersuchungen haben gezeigt, daß die detritischen Feldspäte der Werfener Schichten eine größere Variationsbreite in ihrer chemischen Zusammensetzung aufweisen als jene des Alpenen Buntsandsteins (siehe Tab. 2 und Abb. 3).

Vereinzelt treten in den Werfener Sandsteinen auch Plagioklase (Albite, siehe Tab. 2 und Tab. 3) auf, die in den darunterliegenden Serien, soweit sie untersucht wurden, mehr oder weniger vollkommen fehlen (ausgenommen im Unterrotliegend). Dieser geringe aber doch deutliche Unterschied im Chemismus ist auf unterschiedliche Verwitterungseinflüsse zurückzuführen.

Vorausgeschickt sei noch, daß der Hauptanteil der Feldspäte aus den intrapermischen Vulkaniten zu beziehen ist. Diese, sowohl die Quarzporphyre als auch die Tuffe (Quarz-Feldspat-Kristalltuffe) sind teilweise sehr feldspatreich, wobei Kalifeldspäte überwiegen, aber auch Plagioklase häufig sind. Der Großteil der Feldspäte in den Vulkaniten ist verzwillingt.

Die nachfolgende Aufarbeitung der Vulkanite, verbunden mit einer mechanischen Zerkleinerung (die Korngröße der Feldspäte liegt hauptsächlich im Feinsandbereich), und vor allem eine starke chemische Verwitterung während der Sedimentation der fluviatilen permischen Serien und teilweise auch des Alpenen Buntsandsteins (fluviatile Fazies) führte mehr oder weniger zur vollständigen Zersetzung der Plagioklase, bei den Alkalifeldspäten überlebten nur die stabilsten Körner mit einem hohen Or-Anteil (über 90%).

Aus diesem Grund ist der Feldspatanteil im fluviatilen Perm und teilweise auch im Alpenen Buntsandstein (Ulrichsberg, fluviatile Fazies) sehr gering und besteht ausschließlich aus Kalifeldspat mit einem sehr hohen Or-Anteil.

Der Sedimentationsumschwung mit dem Einsetzen des Alpenen Buntsandsteins, und vor allem die marine Transgression mit dem Einsetzen der Werfener Schichten (teilweise schon im Alpenen Buntsandstein, z.B. Riedgraben, Waidisch), begünstigen wieder die Erhaltung der Feldspäte, was durch den höheren Feldspatgehalt, vor allem aber durch den besseren Erhaltungszustand (frischer), die größere Variationsbreite im Chemismus, einen geringen Anteil an Plagioklas (Albit) und besonders durch das weitverbreitete Auftreten von Anwachssäumen (fehlen im fluviatilen Bereich fast vollkommen) hinreichend belegt ist.

Bei den authigenen Anwachssäumen handelt es sich um sehr reine Kalifeldspatendglieder mit einem durchschnittlichen Or-Anteil von 99.55% (siehe Tab. 3), Ba fehlt meist oder tritt in wesentlich geringeren Gehalten auf als in den detritischen Feldspäten, dasselbe gilt für Fe und Mg, Mn ist in den Anwachssäumen fast nie eingebaut.

STABLEIN & DAPPLES (1977) geben für Kalifeldspatanwachssäume kambrischer Sandsteine (Tunnel City Group, Wisconsin) eine durchschnittliche Zusammensetzung von Or 99.8% und Ab 0.2% an. Nach BASKIN (1965) führen Kalifeldspatanwachssäume max. 2% Albitkomponente.

Nach KASTNER & SIEVER (1979) treten in Sandsteinen mit detritischen Kalifeldspäten (Arkosen) fast ausschließlich Kalifeldspatanwachssäume auf, während in den Grauwacken, die an detritischen Feldspäten hauptsächlich Albit führen, auch hauptsächlich Albitanwachssäume auftreten.

FÜCHTBAUER (1967) machte den Einfluß des Ablagerungsmilieus für die chemische Zusammensetzung der Feldspatanwachssäume verantwortlich: im terrestrisch-fluviatilen Bereich kommt es durch die Verwitterung von K-Feldspäten und Glimmern bevorzugt zur Bildung von Kalifeldspatanwachssäumen, während es im lagunären Bereich durch das Eindampfen zur Anreicherung von Na und damit zur Bildung von Albitanwachssäumen kommt.

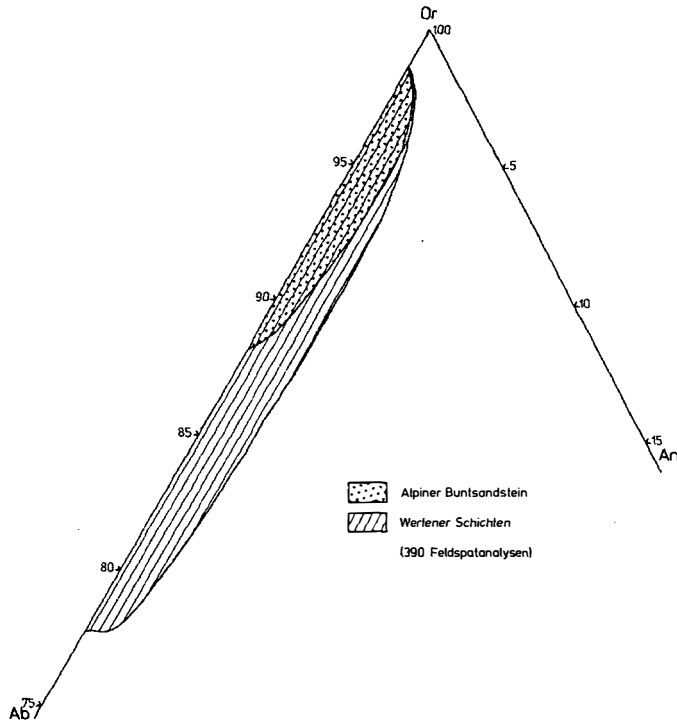


Abb. 3: Darstellung des Feldspatchemismus im Dreiecksdiagramm Or-Ab-An (Ausschnitt): Die Feldspäte des Alpiner Buntsandsteins weisen eine deutlich geringere Variationsbreite im Chemismus auf als jene der Werfener Schichten. Untersucht wurden hauptsächlich Feldspäte aus dem Profil vom Ulrichsberg sowie auch aus dem Profil Kreuzwandgraben, siehe Tab. 2

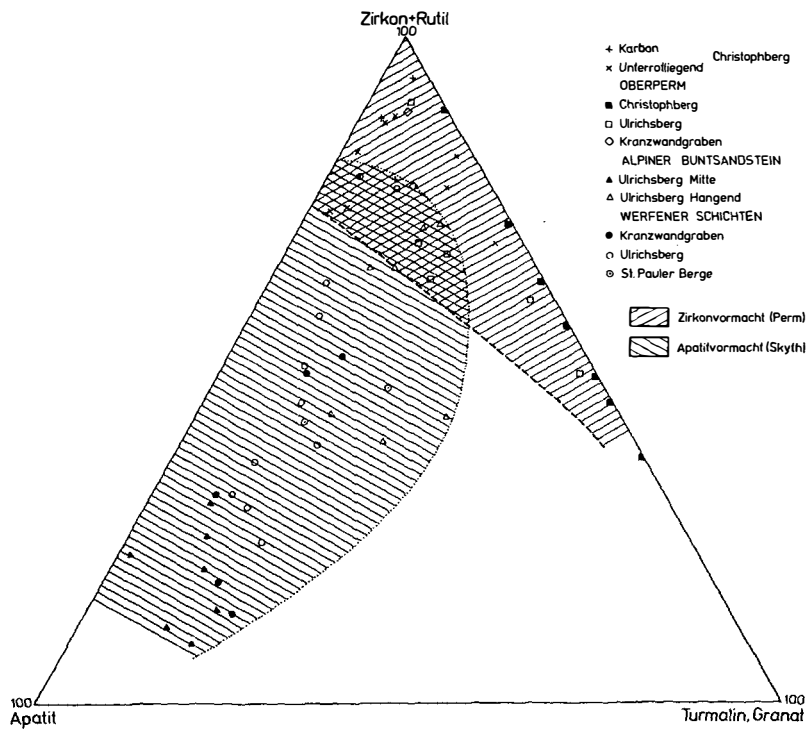


Abb. 4: Das Schwermineralspektrum einiger untersuchter Permoskythvorkommen im Dreiecksdiagramm Zirkon+Rutil - Apatit - Turmalin+Granat (Darstellungsart nach NIEDERMAYR, 1975, Abb. 3). Während das Perm durch eine starke Zirkonvormacht gekennzeichnet ist und Apatit \pm fehlt, tritt in den skythischen Sandsteinen der Apatit stark in den Vordergrund

Allerdings kann nach KASTNER (1971) das K/Na-Verhältnis des Meerwassers sowohl zur Bildung von Kalifeldspat als auch von Albit führen, so daß K-Feldspatanwachssäume nicht als Indiz für nichtmarine Sedimente betrachtet werden können.

Dies beweisen auch die Kalifeldspatanwachssäume in den marinen Werfener Schichten. Die Feldspatanwachssäume in den Werfener Sandsteinen sind immer frisch und klar, zwischen detritischem Kern und Anwachssaum besteht meist eine scharfe Grenze, die durch die unterschiedliche optische Orientierung von Kern und Saum infolge des unterschiedlichen Chemismus klar zum Ausdruck kommt.

Die Feldspäte wachsen häufig zu Körnern mit rhombischem Umriß weiter, wie sie z.B. von VISWANATHIAH & GOVINDA RAO SINDHIA (1968) aus Arkosen beschrieben wurden (Taf. 2, Abb. 2; Taf. 4, Abb. 2, 3, 4; Taf. 5, Abb. 1). Diese rhombischen Umrißformen authigen weitergewachsener Feldspäte sind nach BASKIN (1956) charakteristisch für monokline Adular. Auch STABLEIN & DAPPLES (1977) fanden überwiegend Anwachssäume mit rhombischem Umriß; ihre Untersuchungen ergaben, daß es sich dabei strukturell um Zwischenglieder zwischen Adular und Orthoklas handelt.

Nach STABLEIN & DAPPLES (1977) bildeten sich die authigenen Kalifeldspatanwachssäume in den kambrischen Sandsteinen aus marinen Porenwässern bei rund 25°C und bei einem Überlagerungsdruck von weniger als 100 atm. Eine ausführliche Diskussion über die Bildung authigener Feldspäte geben KASTNER & SIEVER (1979).

DETRITISCHE GLIMMER

Detritische Glimmer sind in unterschiedlichen Prozentsätzen vertreten, fehlen teilweise fast völlig. Meist handelt es sich um Muskovite mit einem Paragonitananteil von 2-24 Mol%. Biotite sind ebenfalls recht häufig (Mg/Fe 0.8-0.83, Fe/Mg 1.2-1.24), teilweise schon entmischt. Vereinzelt findet sich Chlorit. Die detritischen Glimmerscheiter sind meist leicht deformiert (verbogen), selten auch zerbrochen, und durchwegs mehr oder weniger schichtungsparallel eingeregelt.

SCHWERMINERALE

Die bisher durchgeführten Schwermineraluntersuchungen (Ulrichsberg, Dobratsch, Christophberg) zeigen im Buntsandstein eine Zirkon-Apatit-Vormacht, neben etwas Turmalin und Rutil, während in den darunterliegenden permischen Serien Apatit meist vollkommen fehlt, das Spektrum überwiegend durch Zirkon charakterisiert ist und Turmalin und Rutil untergeordnet vorkommen (Abb. 4). Selten sind Hornblende, Anatas und Granat, Baryt ist stellenweise häufig.

Diese Ergebnisse stimmen vollkommen mit den von NIEDERMAYR (1979) und NIEDERMAYR et al. (1978, 1982) gewonnenen Erkenntnissen aus dem westlichen Drauzug überein.

Die absoluten Schwermineralgehalte sind sehr unterschiedlich und stark vom Opakanteil (hauptsächlich Hämatit) und z.T. auch vom Baryt- und Karbonatanteil abhängig (0.05-1.65 Gew%).

Die Zirkone sind gekennzeichnet durch einfache Flächenkombinationen (Pyramidenfläche 101, Prismenfläche 100, 110 sind vorherrschend), häufige Einschlüsse, vereinzelt ältere Kerne und Zonarbau. Vereinzelt sind Malakkons zu beobachten. Es sind dies dieselben Zirkontypen, wie sie auch in den intrapermischen Vulkaniten vorkommen.

Die Zirkone sind idiomorph bis gerundet, vereinzelt ist der Porenraum der Sandsteine vollkommen durch kleine Zirkonkörner ausgefüllt (z.B. Riedgraben, Rottensteiner, S Waidisch).

Apatit liegt meist in gut gerundeten und relativ großen Körnern vor (bis 0.5 mm).

Die Turmaline sind durch grüne Farbvarietäten (grün, blaugrün, bräunlichgrün, olivgrün; Elbait - Schörl) charakterisiert.

Insgesamt lassen sich drei Typen unterscheiden:

- a) Turmaline ohne Einschlüsse, splittrige Körner (Bruchstücke größerer Turmalinkristalle) - magmatische Herkunft?
- b) Turmaline mit z.T. reichlich Kohlenstoffeinschlüssen, häufig Zonarbau (blaugrüner Kern, grüner Saum), meist kleine säulige Kristalle. Dieser Turmalintyp ist charakteristisch für Metamorphite der Grünschieferfazies (KRYNINE, 1946; eigene Beob-

achtungen). Nach Untersuchungen von VOLL (1969) bleibt der klastische Kern der Turmaline innerhalb der Grünschieferfazies erhalten, erst unmittelbar über der Staurolithgrenze, bei ca. 560°, verschwindet der klastische Kern plötzlich und es kommt zur Selbstdiffusion zwischen Kern und Saum. Nach Beobachtungen von HOINKES (mündl. Mitt.) kann es jedoch schon bei geringeren Temperaturen zur Selbstdiffusion zwischen Saum und Kern kommen.

- c) Turmaline mit anderen Einschlüssen (Flüssigkeits-einschlüsse, versch. Mineralphasen), meist kantige Kornform, selten zugerundet.

Rutil ist durchwegs vorhanden, meist in geringen Prozentsätzen (meist unter 10%, selten darüber). Andere durchsichtige Schwerminerale (ausgenommen Glimmer, Baryt, Karbonat) kommen nur in vereinzelt Körnern vor (Granat, Hornblende, Anatas).

MATRIX

Der Matrixgehalt ist unterschiedlich und abhängig vom Reifegrad. Im Durchschnitt ist der Matrixgehalt jedoch deutlich geringer als in den darunterliegenden permischen Sandsteinen ("Grödener Schichten"). Die Matrix besteht aus einem Sericit-(Kaolinit)-Quarz-Kalifeldspat-Gemengsel und ist durch Hämatitpigment häufig rotbraun gefärbt (= rekristallisierte, primäre Matrix, "Orthomatrix" i.S.v. DICKINSON, 1970). Diagenetisch neu gebildete Matrix ("Epimatrix" und "Pseudomatrix" sensu DICKINSON, 1970), vor allem durch die Auflösung von Feldspäten (teilweise schon Kaolinitpseudomorphosen nach Feldspat!) und zum Teil von Glimmern entstanden, ist häufig und meist durch fehlendes Hämatitpigment charakterisiert.

Die diagenetische Matrixbildung (Phyllosilikate), deren Bedeutung CUMMINS (1960) herausgestrichen hat, ist vor allem in unreiferen, feldspatreicheren Sandsteinen weitverbreitet ist (z.B. BRENCHLEY, 1969; WHETTEN & HAWKINS, 1970; WILSON & PITTMAN, 1977).

Will man nun den Matrixgehalt zur Interpretation von Sandsteinen mit heranziehen, so ist die diagenetische Matrixbildung unbedingt zu berücksichtigen. POTTER (1978) hat jüngst gezeigt, daß weitaus die meisten rezenten fluviatilen Sande relativ matrixarm

sind (Durchschnitt: 5.5%), ebenso Schelf- und Tiefseesedimente (Turbidite).

DIAGENESE

Im Alpinen Buntsandstein sind folgende Diageneseprozesse zu beobachten:

- Bildung von Quarzzement in Form von syntaxialen Anwachssäumen um monokristalline, selten auch um polykristalline detritische Quarzkörner (Taf. 2, Abb. 2, 3).
- Bildung von Feldspatanwachssäumen (reine Kalifeldspat-Endglieder) um detritische Feldspäte im marinen Faziesbereich. Kern und Anwachssaum sind durchwegs optisch verschieden orientiert (Unterschiede im Chemismus), die Säume sind immer frisch und rein, nicht verzwillingt, während die Kerne häufig schon leichte Zersetzungserscheinungen aufweisen (getrübt). Die Feldspäte wachsen häufig idiomorph in Form von Rhomboedern (Adular) weiter und verdrängen dabei oft den Quarz bzw. Quarzanwachssäume, d.h. die authigene Feldspatneubildung erfolgte nach der Quarzneubildung (Taf. 2, Abb. 2; Taf. 4, Abb. 4; Taf. 5, Abb. 1).
- Diagenetisch gebildeter Karbonatzement (Calcit, Dolomit, z.T. Fe-reich, z.T. Mn-reich) ist in einigen Schichten häufig. Karbonatzement tritt meist fleckweise auf und ist recht grobkristallin (spätdiagenetisch). Quarz und Feldspat werden häufig vom Karbonat verdrängt, dadurch entsteht mitunter ein "poikilitisches" Gefüge: Reste von Quarz und Feldspat "schwimmen" im neugebildeten Karbonatzement. Vereinzelt findet man Verdrängungspseudomorphosen von Karbonat nach Quarz oder Feldspat. Die Karbonatneubildung erfolgte spätdiagenetisch, nach der Quarz- und Feldspatneubildung.
- Vereinzelt ist auch diagenetische Barytneubildung zu beobachten.
- Weitverbreitet ist die Bildung von Hämatit. Die Hämatitstehung ist überwiegend Diageneseprozessen zuzuschreiben und geht auf die in-situ-Umwandlung bzw. Zersetzung von Fe-haltigen Silikaten zurück (WALKER, 1967, 1974, 1976; van HOUTEN, 1968, TURNER, 1974).

Vor allem Biotit lieferte im Alpinen Buntsandstein das Fe. Biotite zeigen häufig Entmischungerscheinungen, das freigewordene Fe kristallisiert häufig entlang den Spaltbarkeitsrissen, innerhalb der einzelnen Biotit-scheiter oder randlich in Form von Hämatit aus.

Ebenso kristallisiert das aus den Biotiten frei gewordene Ti in Form von TiO_2 aus (mit der Mikrosonde nachgewiesen).

- Weitere Diageneseprozesse sind die bereits erwähnte Feldspatzersetzung (Verwitterung-Frühdiagenese) und leichte Drucklösung bei Quarz, selten auch bei Feldspäten.

- Diageneseprozesse sind vermutlich auch in den vulkanischen Chertkomponenten und vulkanischen Gesteinsbruchstücken abgelaufen, doch läßt sich im Schliff nicht abschätzen, welche Prozesse vor und welche nach der Sedimentation erfolgten. Da vulkanische Gläser metastabil sind, kommt es sofort nach der Abkühlung zu Entglasungsprozessen und es entsteht ein mikro-kryptokristallines Aggregat mit einer felsitischen bis mikrofelsitischen Textur aus Feldspat und Cristobalit oder Tridymit (TURNER & GILBERT, 1982). Diese felsitischen vulkanischen Komponenten werden aufgrund des ähnlichen Aussehens mit Chert als "vulkanische Chertkomponenten" bezeichnet und zu den Gesteinsbruchstücken gerechnet.

Magnesit, in den westlichen Gailtaler Alpen sowohl im Perm als auch im Skyth nachgewiesen (NIEDERMAYR et al., 1979, 1980, 1981), konnte in den untersuchten Vorkommen nur im marinen Buntsandstein S' Waidisch beobachtet werden.

Aufgrund von Untersuchungen von SCHRAMM et al. (1982) und NIEDERMAYR et al. (1984) zeigen die postvariszischen Sedimente sowohl der Gurktaler Decke (Mittelkärntner Raum) als auch der Gailtaler Alpen eine anchimetamorphe Überprägung (u.a. metamorphe Neubildungen von Pyrophyllit, Paragonit und mixed-layer Paragonit-Muskovit).

Zusammenfassend weisen je nach dem Ablagerungsmilieu bzw. der paläogeographischen Situation die Sandsteine des Alpenen Buntsandsteins einen unterschiedlichen Reifegrad auf (siehe Tab. 4, Abb. 5-9).

Im Riedgraben besteht der Untere Alpine Buntsandstein aus einer fluviatilen Abfolge, die im Hangenden in eine marine Fazies (Wattfazies) übergeht. Darüber folgt der Obere Alpine Buntsandstein in Form fluviatiler, unreifer Sandsteine, die gegenüber dem marinen Unteren Alpenen Buntsandstein einen deutlich geringeren Quarzgehalt, höheren Gehalt an Gesteinsbruchstücken (besonders vulkanischen Gesteinsbruch-

stücken) sowie schlechten Sortierungs- und Rundungsgrad aufweisen (Taf. 2, Abb. 1; Beilage 1; sowie Abb. 5, 6).

Innerhalb der Gurktaler Decke (Ulrichsberg, Christophberg, St. Pauler Berge) folgt über fluviatilen Perm fluviatiler Buntsandstein, der jedoch einen besseren Reifegrad (höherer Quarz- und Feldspatgehalt, geringerer Gehalt an Gesteinsbruchstücken und Matrix, Apatitreichtum im Schwermineralspektrum und besserer Sortierungs- und Rundungsgrad) aufweist als die permischen Sandsteine (Taf. 2, Abb. 5). Innerhalb der Gurktaler Decke ist eine Gliederung in Unteren und Oberen Alpenen Buntsandstein bisher nicht möglich.

In den Karawanken zeigt der Alpine Buntsandstein marinen Faziescharakter (Gezeitenfazies), verbunden mit einem hohen Reifegrad der Sandsteine (Taf. 4, Abb. 1; Abb. 7, 8).

Innerhalb des Oberen Alpenen Buntsandsteins ist ein zunehmender Reifegrad von NW (Riedgraben) mit fluviatiler Fazies nach SE und S (Karawanken) mit mariner Fazies zu beobachten (Abb. 7, 8). Dies ist auf die fortschreitende Transgression des Tethysmeeres aus SE nach W und NW zurückzuführen und äußert sich in einem zunehmenden Rundungs- und Sortierungsgrad, in einer starken Abnahme an vulkanischen und auch metamorphen Gesteinsbruchstücken und einer starken Zunahme des Quarzgehaltes von NW nach SE und S. Während im fluviatilen Bereich die Feldspäte meist starke Zersetzungserscheinungen aufweisen, sind sie im marinen Bereich frischer und zeigen verbreitet Anwachssäume. Das verstärkte Auftreten von Quarzzement neben Karbonatzement ist ebenfalls charakteristisch für den marinen Bereich (vgl. Taf. 2, Abb. 1, mit Taf. 4, Abb. 1).

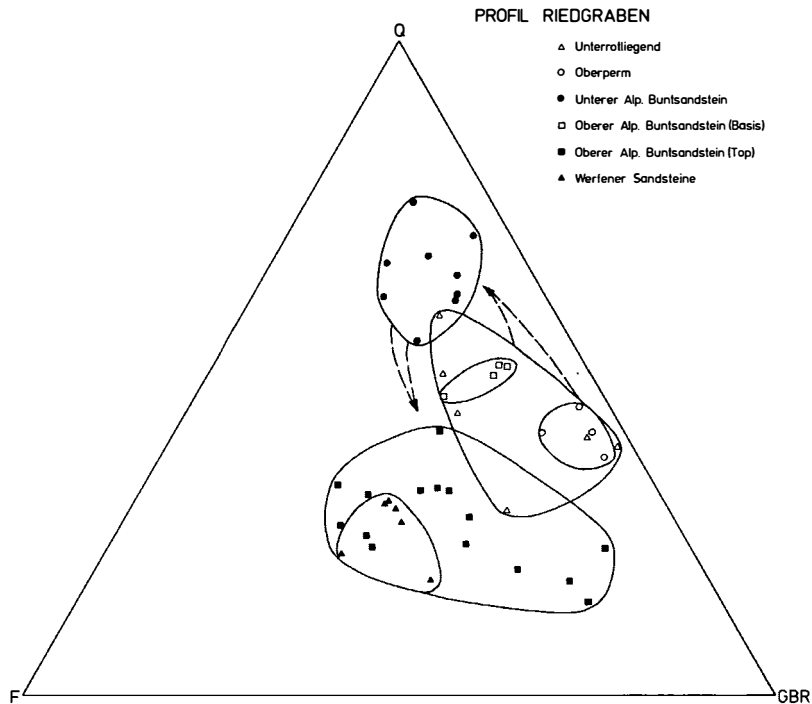


Abb. 5: Permoskythsandsteine (Riedgrabenprofil) in Dreiecksdiagramm Q (mono- und polykristalliner Quarz) - F (Feldspat) - GBR (Gesteinsbruchstücke). Deutlich bemerkbar macht sich der Sprung im Reifegrad von den permischen Sandsteinen zum marinen Sandstein des Unteren Alpinen Buntsandsteins, sowie die Regression am Top des marinen Unteren Alpinen Buntsandsteins (Einsetzen des Oberen Alpinen Buntsandsteins mit unreifen Sandsteinen)

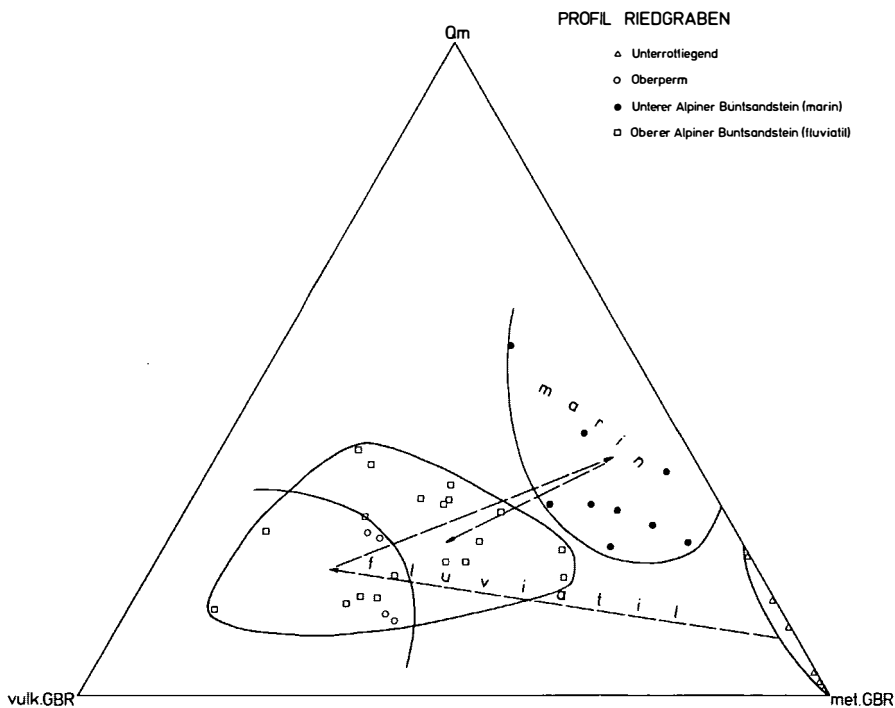


Abb. 6: Permoskythsandsteine (Riedgrabenprofil) im Dreiecksdiagramm Qm (monokristalliner Quarz) - vulkanische Gesteinsbruchstücke, metamorphe Gesteinsbruchstücke - das den Einfluß des Liefergesteins verdeutlicht: Das Unterrotliegend besteht ausschließlich aus den Aufarbeitungsprodukten des unterlagernden Kristallins, mit dem Oberrotliegend setzt eine starke Schüttung von Aufarbeitungsprodukten des intrapermischen Vulkanismus ein, die am Top des Unteren Alpinen Buntsandsteins (marine Fazies) stark nachläßt. Mit der Regression bzw. dem Einsetzen des Oberen Alpinen Buntsandsteins setzt wieder eine starke Schüttung von vulkanischen Gesteinsbruchstücken ein

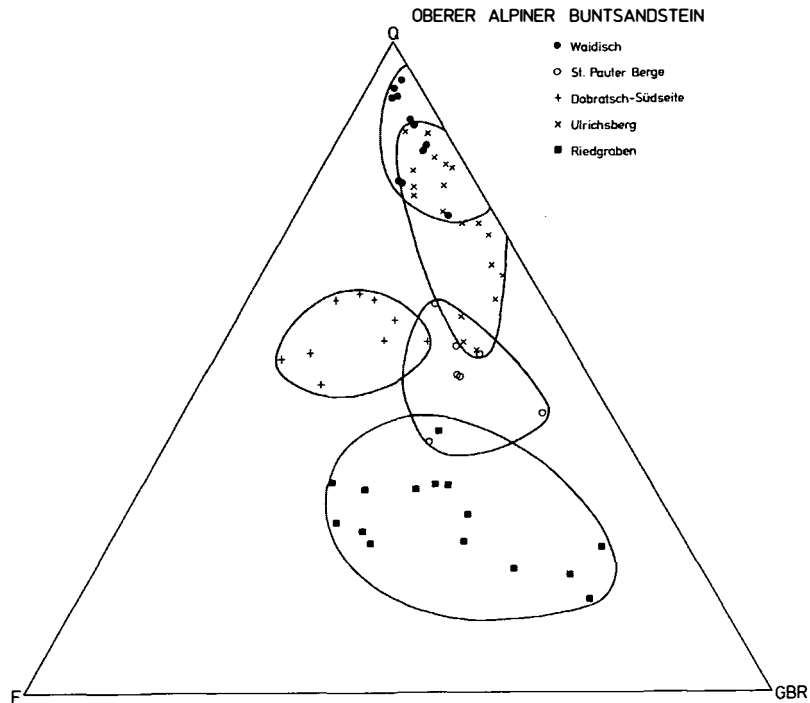


Abb. 7:
 Sandsteine des Oberen Alpiner Buntsandsteins im Dreiecksdiagramm Q (mono- und polykristalliner Quarz) - F (Feldspat) - GBR (Gesteinsbruchstücke). Klar zum Ausdruck kommt die Zunahme des Reifegrades von NW (Riedgraben) nach S und SE (Ulrichsberg, St. Pauler Berge, Dobratsch), am reifsten sind die Sandsteine der Gezeitenfazies südlich Waidisch.

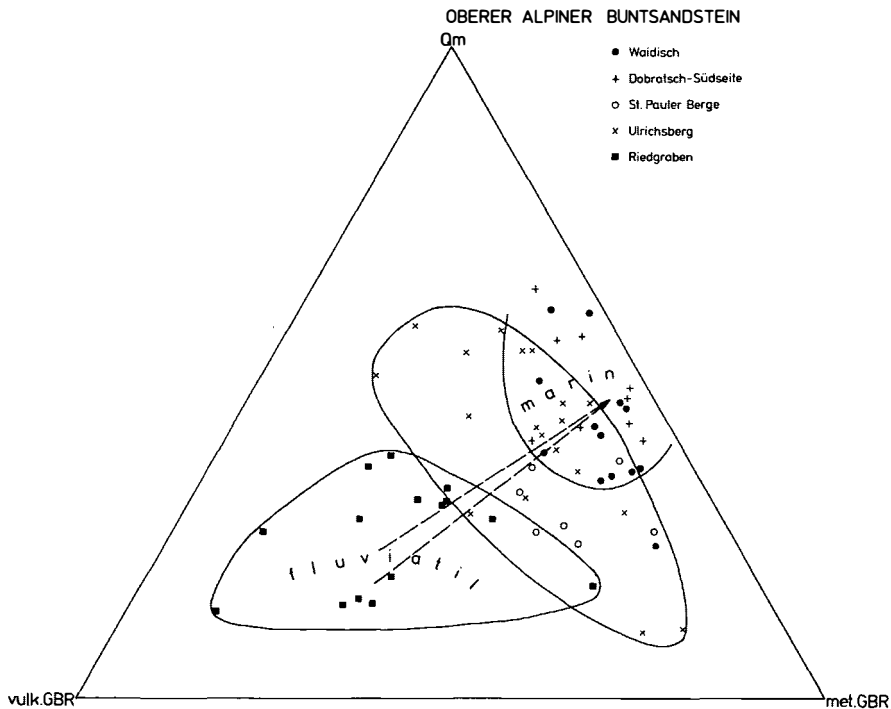


Abb. 8:
 Sandsteine des Oberen Alpiner Buntsandsteins im Dreiecksdiagramm Qm (monokristalliner Quarz) - vulkanische Gesteinsbruchstücke, metamorphe Gesteinsbruchstücke. Deutlich erkennbar ist der Trend vom fluviatilen Faziesbereich mit einem hohen Anteil an vulkanischen Aufarbeitungsprodukten im NW (Riedgraben) zum marinen Faziesbereich mit einem geringen Anteil an vulkanischen Gesteinsbruchstücken und einem hohen Anteil an Qm (monokristalliner Quarz) und metamorphen Gesteinsbruchstücken in Form polykristalliner Quarze im S und SE (Karawanken)

	Bezeichnung ¹	Sortierung ²	Rundung ³
<u>Alpiner Buntsandstein</u>			
Riedgraben (Oberer Alp. B.)	lithische Arenite-ark. Arenite (Taf. 2, Abb. 1)	mäßig	subangular-subrounded
Ulrichsberg	lithische Arenite-Sublitharenite	mäßig	subrounded
St. Pauler Berge	lithische Arenite (Taf. 2, Abb. 5)	mäßig-gut	subrounded-rounded
Dobratsch	Arkosen-Subarkosen (Taf. 4, Abb. 2, 3)	mäßig-gut	subrounded-rounded
Riedgraben, fluviatil	lithische Arenite-Sublitharenite	mäßig-gut	subrounded-rounded
Riedgraben, marin	Sublitharenite (Taf. 1, Abb. 2)	gut-sehr gut	rounded, z.T. well rounded
Karawanken (Waidisch)	Sublitharenite (Taf. 4, Abb. 1)	gut-sehr gut	rounded, z.T. well rounded
<u>Perm</u>			
Gurktaler Decke	lithische Arenite	mäßig-schlecht	angular-subangular
Riedgraben, Oberperm	lithische Arenite (Taf. 1, Abb. 5)	mäßig-schlecht	subangular
Riedgraben, Unterrotliegend	lithische Arenite (Taf. 1, Abb. 1)	schlecht-sehr schlecht	angular

¹ Bezeichnung nach dem Klassifikationsschema von PETTIJOHN et al. (1972), PETTIJOHN (1975), modifiziert nach DOTT (1964), wobei Q-Pol = mono- und polykristalliner Quarz, F-Pol = Feldspat, und GBR-Pol = diverse Gesteinsbruchstücke + vulkanischer Chert

² Sortierung nach COMPTON (1962)

³ Rundung nach POWERS (1953)

Sublitharenite, Arkosen und Subarkosen sind im wesentlichen mariner, lithische Arenite und arkosische Arenite fluviatiler Entstehung

Tab. 4
Bezeichnung, Sortierungs- und Rundungsgrad untersuchter permischer und skythischer Sandsteine

4.3. Faziesinterpretation

Mit dem Einsetzen des Alpenen Buntsandsteins ist generell eine Änderung des Sedimentationscharakters verbunden, worauf schon kurz hingewiesen wurde.

Während im Bereich der Gurktaler Decke die permischen Serien mit ihrem hohen Feinanteil und z.T. fanglomeratartigen Schüttungen im wesentlichen auf "ephemeral streams" in einem wüstenartigen Klimabereich zurückzuführen sind, sind die Klastika des Alpenen Buntsandsteins mit ihrem besseren Reifegrad durch stärkere Umlagerung (weniger Feinanteil) und typisch fluviatile Sequenzen, sowie im S und SE durch randmarine Sedimente gekennzeichnet.

Im Riedgrabenprofil ist bereits im Unteren Alpenen Buntsandstein über einer zunächst fluviatilen Abfolge eine marine Ingression zu beobachten. Darüber folgt mit einer Regression der Obere Alpine Buntsandstein in fluviatiler Fazies.

Die Sedimentation im fluviatilen Bereich des Alpenen Buntsandsteins erfolgte bei einer stärkeren bzw. kontinuierlicheren Wasserführung der Gerinne, was vermutlich auf eine leichte Klimaänderung zurückzuführen ist. Diese Vermutung wird auch durch das vermehrte Auftreten von Pflanzenresten und sogar kleinen Kohleflözchen (Simmerlacher Klamm) innerhalb des Alpenen Buntsandsteins erhärtet.

Zu Recht bezeichnen NIEDERMAYR et al. (1982) diesen Sedimentationsumschwung als "Faziesdiskordanz".

Mit dem Einsetzen des Alpenen Buntsandsteins ändert sich jedoch entgegen den Angaben von NIEDERMAYR et al. (1978, 1982) das Liefergebiet nicht, wie aus dem vorherigen Abschnitt klar ersichtlich ist.

Allerdings führte die Klimaänderung zu einer Belebung des kristallinen Hinterlandes, was eine verstärkte Quarzschüttung und auch Feldspatanlieferung zur Folge hatte. Weiterhin wurden auch intrapermische Vulkanite und stellenweise in geringem Umfang vermutlich auch oberpermische Klastika aufgearbeitet.

Der Anteil an vulkanischen Aufarbeitungsprodukten des intrapermischen Vulkanismus ist auch noch im Alpenen Buntsandstein generell hoch, am höchsten im Riedgrabenprofil (über 50%) und am geringsten in den Karawanken (unter 20%, siehe Tab. 1).

Der höhere Feldspatgehalt im Alpenen Buntsandstein wird teilweise auf die geänderten Sedimentations-

verhältnisse zurückgeführt. Im Riedgraben ist der hohe Feldspatgehalt im wesentlichen auf die starke Anlieferung und Aufarbeitung feldspatreicher intrapermischer Vulkanite zurückzuführen.

In den anderen Bereichen begünstigen raschere Umlagerung, erhöhte Sedimentationsrate, höherer Grundwasserspiegel und teilweise schon marines Ablagerungsmilieu (hohes Angebot an K, Na) die Erhaltung der Feldspäte; sie sind nicht so stark der Verwitterung ausgesetzt wie in den permischen Serien. Dasselbe wird auch für den plötzlich auftretenden Apatitgehalt im Alpenen Buntsandstein vermutet.

Die zeitliche Einstufung in das tiefere Skyth ist für den Alpenen Buntsandstein des Drauzuges durch Pflanzenfunde (AMEROM et al., 1976 a, b) und im Profil der Simmerlacher Klamm durch Sporen (ANGER, 1964; MOSTLER, 1972 a) belegt. Die Untergrenze des Alpenen Buntsandsteins ist jedoch zeitlich nicht belegt, wird aber vielfach mit der Perm-Trias-Grenze (Pfälzische Phase) in Verbindung gebracht (TOLLMANN, 1977; NIEDERMAYR et al., 1982). An der Grenze Oberperm ("Grödener Schichten")-Alpiner Buntsandstein wird von NIEDERMAYR et al. (1978, 1982) eine größere Schichtlücke (Zechstein) angenommen, wofür es jedoch keine Hinweise gibt.

Die unterschiedliche Ausbildung und Zusammensetzung der einzelnen untersuchten Buntsandsteinvorkommen ist unter anderem auf folgende Parameter zurückzuführen:

- verschieden starke Beteiligung einzelner Liefergesteine (v.a. Vulkanite)
- Reliefunterschiede
- Transportmechanismen
- verschiedene Ablagerungsbereiche
- unterschiedliche Klima- und Verwitterungseinflüsse (je nach Ablagerungsmilieu)

Allgemein lassen sich innerhalb der untersuchten Buntsandsteinvorkommen zwei Faziesbereiche herausarbeiten:

- a) Ein fluviatiler Faziesbereich (Riedgraben, Ulrichsberg, Christophberg).
- b) Ein mariner Faziesbereich (Karawanken). Ebenfalls marine Beeinflussung zeigt auch der oberste Alpine Buntsandstein im Kranzwandgraben und in den St. Pauler Bergen. Im Riedgrabenprofil ist auch im Unteren Alpenen Buntsandstein eine marine Ingression zu beobachten.

Riedgraben

Im Riedgrabenprofil setzt der Untere Alpine Buntsandstein in Form eines deutlichen Sedimentationsumschwunges über grobklastischem Perm ein (Abb. 9, Beilage 1). Der Sedimentationsumschwung äußert sich durch

- eine plötzliche Korngrößenabnahme (im Perm hauptsächlich Konglomerate, im Unteren Alpinen Buntsandstein überwiegend Sandsteine),
- das Fehlen von Quarzporphyrgeröllen und das Vorherrschen von Quarzgeröllen in den gröberen Bänken (im Perm häufig "Porphyrkonglomerate"),
- den geänderten Sedimentationscharakter.

Überwiegend treten trogförmig schräggeschichtete, lateral rasch auskeilende Sandsteine in Erscheinung (entspricht Lithofazies "St" in Tab. 5). Gradierete feinkonglomeratische Bänke mit Quarzgeröllen von max. 4 cm Durchmesser (Rinnensedimente), teilweise leicht schräggeschichtet, sind selten (Lithofazies "Gt", Tab. 5). Ebenso selten sind dünne rote Siltlagen - Tonschieferlagen mit reichlich Glimmer, vereinzelt mit Trockenrissen (Überflutungssedimente, Lithofazies "Fm", "FI" in Tab. 5) und Sandsteine mit planarer Schrägschichtung, grobkörnig, vereinzelt mit Geröllen bis zu 2 cm Durchmesser (Lithofazies "Sp" in Tab. 5). An weiteren Sedimentstrukturen konnten in einer feinkörnigen Bank an der Schichtunterseite Belastungsmarken beobachtet werden.

Insgesamt ist diese Abfolge schlecht aufgeschlossen, hin und wieder sind "Finning Upward"-Sequenzen zu erkennen. Innerhalb der Abfolge ist eine deutliche Korngrößenabnahme zum Hangenden hin feststellbar. Die Lithofaziesvergesellschaftung ergibt das Bild eines sandigen, verzweigten Flußsystems, in etwa vergleichbar mit dem "South Saskatchewan Type" (Tab. 6) nach MIALL, 1978, 1981.

Über diesem Komplex folgt eine zwar lückenlos, aber relativ schlecht aufgeschlossene Serie (die Sedimentstrukturen sind schlecht erkennbar), die bereits marine Beeinflussung aufweist. Es überwiegen dünn gebankte (max. wenige dm), trogförmig schräggeschichtete Sandsteine mit selten dünnen siltigen Zwischenlagen, die entweder fluviatiler oder teilweise vielleicht auch schon mariner Entstehung sind.

Vereinzelt finden sich eben geschichtete Sandsteine. In die Sandsteinbänke eingeschaltet sind kleine, meist nur wenige cm dicke und lateral rasch auskeilende Rinnen aus Grobsandstein bis Feinkonglomerat (Korngröße max. 1 cm), häufig schräggeschichtet und mit einem hohen Reifegrad (gut gerundet, gut sortiert, teilweise bimodal, gut ausgewaschen). In einzelnen Lagen sind kleine rote Tonschieferscherben aufgearbeitet. Der hohe Reifegrad sowie die frischen Feldspäte mit den häufigen authigenen Anwachssäumen sprechen für eine marine Entstehung dieser kleinen Rinnen (Gezeitenrinnen). Auch die meist mit diesen Rinnensedimenten zusammen vorkommenden asymmetrischen Kleinrippeln (Strömungsrippeln, L = 3-11 cm, H = 0.3-1 cm, RI = 7-11, RSI = 1.5-2) mit tonigen Belägen auf den Rippeloberflächen können ebenfalls einem flachmarinen Environment zugeschrieben werden. Hinweise darauf geben die konstanten Richtungen der Rippelkämme, wobei zwei Richtungen vorherrschen, nämlich 155-165° mit einer Strömungsrichtung ungefähr aus SW (245-255°) und 25-70° mit einer Strömungsrichtung aus etwa SE (115-160°). Diese beiden Richtungen wechseln, soweit erkennbar, miteinander ab, was auf sich ständig ändernde Strömungsverhältnisse hindeutet, wie sie im Gezeitenbereich typisch sind. Die Kleinrippeln werden nicht selten von dünnen siltigen Bänken überlagert, die vereinzelt Trockenrisse zeigen. Vereinzelt konnten auch Megarippeln beobachtet werden.

Die obersten 5-6 m des Unteren Alpinen Buntsandsteins im Riedgraben sind in einer "Wattfazies" (Gezeitenfazies) ausgebildet.

Es sind dünngebankte (bis 10 cm), häufig durch wühlte Silte bis Feinsandsteine (*Diplocraterion* und andere Lebensspuren), Kleinrippeln, ebenfalls mit Lebensspuren (u.a. *Diplocraterion*), sowie dazwischen eingeschalteten kleinen Rinnen, wie sie schon oben beschrieben wurden, mit gut gerundeten und gut sortierten Grobsandsteinen, z.T. mit aufgearbeiteten Tonschieferscherben (kleine Gezeitenrinnen). Vereinzelt sind Trockenrisse zu beobachten.

Oberer Alpiner Buntsandstein: Über der Wattfazies des Unteren Alpinen Buntsandsteins folgt mit einer Regression ("Campiller Ereignis") der Obere Alpine Buntsandstein, zunächst mit einer ca. 25 m mächtigen Abfolge an der Basis mit geringmächtigen

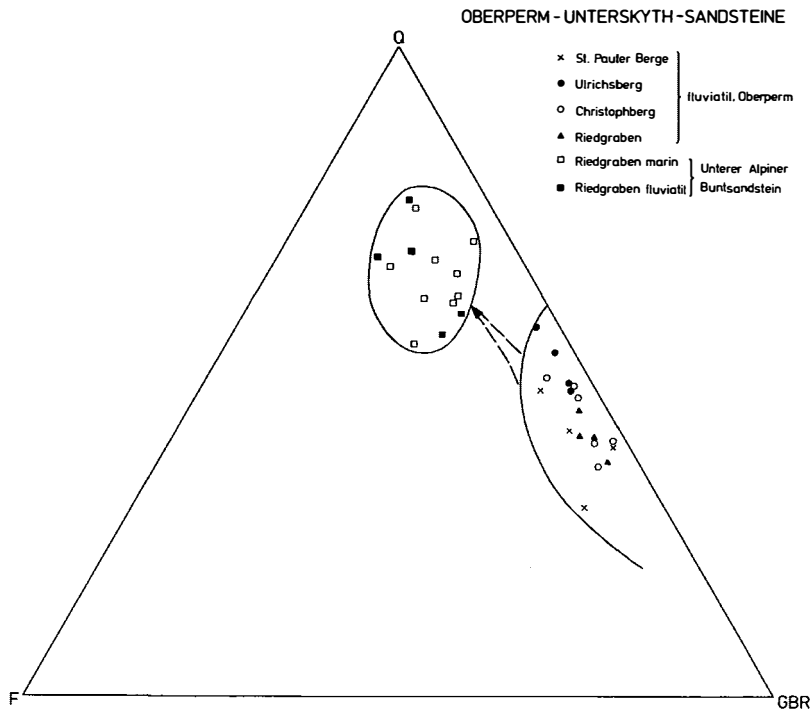


Abb. 9: Oberpermische und unterskythische Sandsteine im Dreiecksdiagramm Q (mono- und polykristalliner Quarz) - F (Feldspat) - GBR (Gesteinsbruchstücke). Deutlich ist der Sprung im Reifegrad von den oberpermischen zu den unterskythischen Sandsteinen, hervorgerufen durch den plötzlichen Sedimentationsumschwung (siehe auch Tab. 4).

Quarzkonglomeraten (Korngröße bis 5 cm, Lithofazies "Gt", "Gm" in Tab. 5), und darüber trogförmig schräggeschichteten grobkörnigen Quarzsandsteinen bis Feinkonglomeraten mit bis zu wenigen cm großen Quarzgeröllen eingestreut (Lithofazies "St", Tab. 5). Geröllfreie Sandsteine und Siltlagen sind selten. Die Quarzgerölle sind öfters eckig und es hat den Anschein, als ob es sich um zerbrochene, wiederaufgearbeitete Quarzgerölle älterer Klastika handelt. Die Sandsteine sind unreif, relativ quarzreich, aber auch mit einem hohen Anteil an vulkanischen Aufarbeitungsprodukten (siehe Tab. 1).

Es handelt sich um Ablagerungen kiesig beeinflusster verzweigter Flußsysteme.

Die darüberfolgende mächtige Serie des Oberen Alpinen Buntsandsteins ist vorwiegend sandig entwickelt. Siltig-tonige und besonders feinkonglomeratische Lagen treten nur untergeordnet auf. Im oberen Profilabschnitt sind häufig "Finning Upward"-Sequenzen (Abb. 10) entwickelt, die sich aus Lithofaziestypen aufbauen, die gut mit jenen von MIALL (1977, 1978, 1981) und RUST (1978) aufgestellten Lithofaziestypen

reuzenter und fossiler verzweigter Flußsysteme vergleichbar sind (vgl. Tab. 5).

Im oberen Profilabschnitt des Alpinen Buntsandsteins im Riedgraben ist eine Idealsequenz aus folgenden Lithofaziestypen aufgebaut:

- A: Grobkörnige (feinkonglomeratische) Lagen mit leichter Erosionsbasis und schwach ausgebildeter, flacher Schrägschichtung, teilweise mit aufgearbeiteten Tonschieferflatschen. Dieser Typus ist selten ausgebildet (entspricht Lithofazies "Se" und "Ss" in Tab. 5, bzw. "SS" nach CANT & WALKER, 1976). Sedimente dieser Art werden als kleindimensionale Rinnenfüllungen gedeutet ("scour fill").
- B: Grobkörniger Sandstein mit eingestreuten Kiesgeröllen (bis 3 cm) und trogförmiger Schrägschichtung, bis über 1 m mächtig (entspricht "St" in Tab. 5, bzw. Faziestyp "A" nach CANT & WALKER, 1976). Dieser Typus ist ebenfalls selten ausgebildet und wird als "Düne" interpretiert, die in Rinnen im unteren Fließregime in Fließrichtung wandert (siehe CANT & WALKER, 1976; CANT, 1978).

FACIES CODE	LITHOFACIES	SEDIMENTARY STRUCTURES	INTERPRETATION
Gms	massive, matrix supported gravel	none	debris flow deposits
Gm	massive or crudely bedded gravel	horizontal bedding, imbrication	longitudinal bars, lag deposits, sieve deposits
Gt	gravel, stratified	trough crossbeds	minor channel fills
Gp	gravel, stratified	planar crossbeds	linguoid bars or deltaic growths from older bar remnants
St	sand, medium to v. coarse, may be pebbly	solitary (theta) or grouped (pi) trough crossbeds	dunes (lower flow regime)
Sp	sand, medium to v. coarse, may be pebbly	solitary (alpha) or grouped (omikron) planar crossbeds	linguoid, transverse bars, sand waves (lower flow regime)
Sr	sand, very fine to coarse	ripple marks of all types	ripples (lower flow regime)
Sh	sand, very fine to very coarse, may be pebbly	horizontal lamination, parting or streaming lineation	planar bed flow (l. and u. flow regime)
Sl	sand, fine	low angle (< 10°) crossbeds	scour fills, crevasse splays, antidunes
Se	erosional scours with intraclasts	crude crossbedding	scour fills
Ss	sand, fine to coarse, may be pebbly	broad, shallow scours including eta cross-stratification	scour fills
Sse, She, Spe	sand	analogous to Ss, Sh, Sp	eolian deposits
Fl	sand, silt, mud	fine lamination, very small ripples	overbank or waning flood deposits
Fsc	silt, mud	laminated to massive	backswamp deposits
Fcf	mud	massive, with freshwater molluscs	backswamp pond deposits
Fm	mud silt,	massive, desiccation cracks	overbank or drape deposits
Fr	silt, mud	rootlets	seatearth
C	coal, carbonaceous mud	plants, mud films	swamp deposits
P	carbonate	pedogenic features	soil

Tab. 5: Lithofazies und Sedimentstrukturen rezenter und fossiler verzweigter Flußsysteme, nach MIALI (1977, 1978), aus MIALI (1978, p. 598).

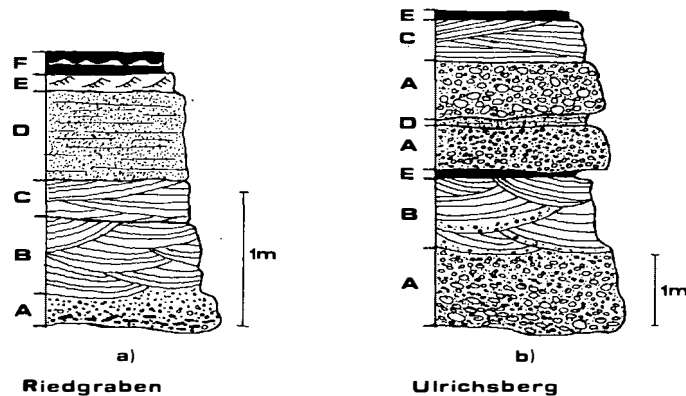


Abb. 10: Fluviale Sequenzen aus dem Alpenen Buntsandstein:
a) Idealisierte Sequenz aus dem Oberen Alpenen Buntsandstein im Profil Riedgraben
b) Sequenzen aus dem Alpenen Buntsandstein vom Ulrichsberg

- C: Sandsteine, teilweise grobkörnig, mit sehr flachen Schrägschichtungskörpern (entspricht "SI" in Tab. 5, bzw. Lithofazies "G" nach CANT & WALKER, 1976). Dieser Lithofaziestyp ist ebenfalls nur selten ausgebildet und entstand in breiten und sehr flachen Rinnen im oberen Fließregime (CANT & WALKER, 1976; RUST, 1978).
- D: Horizontalgeschichtete Sandsteine (entspricht Lithofazies "Sh" in Tab. 5), vermutlich im oberen Fließregime durch "planar bed flow" entstanden. Dieser Typus ist häufig.
- E: Überwiegend feinkörnige Sandsteine mit kleinen, selten auch größeren Rippeln (Strömungsrippeln) des unteren Fließregimes, entspricht Faziestyp "Sr" in Tab. 5, bzw. "F" nach CANT & WALKER, 1976. Dieser Typus ist ebenfalls recht häufig.
- E: Sehr feinkörnige, laminierte Sandsteine, meist laminierte Siltsteine bis Tonschiefer, häufig mit Kleinrippeln, entspricht dem Faziestyp "FI" in Tab. 5.
Bei diesem Faziestyp handelt es sich um Überflutungssedimente (overbank, waning flood deposits). In einer dieser Tonschieferlagen konnten im obersten Alpenen Buntsandstein einige Tetrapodenfährten gefunden werden.

Die einzelnen Lithofaziestypen sind zu "Fining Upward"-Sequenzen kombiniert, wobei vollständige Sequenzen nur sehr selten ausgebildet sind (siehe Profil, Beil. 2).

Im Oberen Alpenen Buntsandstein im Riedgraben ist der Lithofaziestyp D vorherrschend, die Typen E und F sind häufig, A, B und C sind selten. Die einzelnen Faziestypen sind wenige dm bis maximal etwas über 1 m mächtig, Faziestyp F meist nur wenige cm. Einzelne Sequenzen erreichen maximale Mächtigkeiten von 2-3 m.

Diese Lithofaziesvergesellschaftung, vor allem das häufige Auftreten von horizontalgeschichteten Sandsteinen des flachen oberen Fließregimes (Lithofazies D) und geringmächtige "Fining Upward"-Sequenzen, wird als charakteristisch für verzweigte Flußsysteme auf nur ganz flach geneigten Alluvialebenen betrachtet (MIALL, 1977, 1979; RUST, 1978; TUNBRIDGE, 1981) und ist mit dem "Bijou-Creek-Typus" (McKEE et al., 1967; MIALL, 1977, 1978, 1981) bzw. der "Bijou-Creek-Malbaie-Fazies" (RUST, 1978) vergleichbar (siehe Tab. 6).

NAME	ENVIRONMENTAL SETTING	MAIN FACIES	MINOR FACIES
Trollheim type (G _I)	proximal rivers (predominantly alluvial fans) subject to debris flows	Gms, Gm	St, Sp, FI, Fm
Scott type (G _{II})	proximal rivers (including alluvial fans) with stream flows	Gm	Gp, Gt, Sp, St, Sr, FI, Fm
Donjek type (G _{III})	distal gravelly rivers (cyclic deposits)	Gm, Gt, St	Gp, Sh, Sr, Sp, FI, Fm
South Saskatchewan type (S _{II})	sandy braided rivers (cyclic deposits)	St	Sp, Se, Sr, Sh, Ss, SI, Gm, FI, Fm
Platte type (S _{II})	sandy braided rivers (virtually non cyclic)	St, Sp	Sh, Sr, Ss, Gm, FI, Fm
Bijou Creek type (S _I)	Ephemeral or perennial rivers subject to flash floods	Sh, SI	Sp, Sr

Tab. 6: Die sechs grundlegenden Faziesvergesellschaftungen in Kies- und Sand-dominierten verzweigten Flußsystemen nach MIALL (1977, 1978) und RUST (1978), aus MIALL (1978, p. 599).

Ulrichsberg

Im Bereich des Ulrichsberges zeigt der Alpine Buntsandstein eine stark grobklastische Beeinflussung bis in die hangendsten Anteile.

Auch hier sind häufig "Finig Upward"-Sequenzen entwickelt und aus folgenden Lithofaziestypen zusammengesetzt (siehe Abb. 10):

- A: Bis über 1 m mächtige, meist undeutlich geschichtete Konglomeratlagen (tieferer Teil des Alpenen Buntsandsteins Gerölle bis über 10 cm; zum Hangenden nimmt die Korngröße innerhalb der Konglomerate auf 2-3 cm ab), teilweise gradiert und mit schwach ausgebildeter, trogförmiger Schrägschichtung. Längliche bzw. flache Gerölle sind stets schichtungsparallel eingeregelt, selten ist Imbrikation zu beobachten. Die Packung ist meist mäßig dicht, die Gerölle meist gut gerundet, die Matrix ist sandig. Es handelt sich bei diesem Faziestyp einerseits um Rinnensedimente (lag deposits) und andererseits um vermutlich longitudinale Uferbänke (Lithofazies "Gm" und "Gt" in Tab. 5).
- B: Meist grobkörnige Sandsteine mit häufig eingestreuten Kiesgeröllen und trogförmiger Schrägschichtung, meist einige dm mächtig (Rinnensedimente, Fazies "St" in Tab. 5).
- C: Sandsteine mit sehr flachen Schrägschichtungskörpern (sehr flache Rinnen, Fazies "SI" in Tab. 5).
- D: Horizontalgeschichtete Sandsteine des vermutlich oberen Fließregimes (planar bed flow), Faziestyp "Sh" in Tab. 5.
- E: Feingeschichtete rote Tonschiefer, wenige cm mächtig, Überflutungssedimente (Faziestyp "Fl" in Tab. 5).

Diese Lithofaziesvergesellschaftung, nämlich das Vorherrschen der Konglomeratlagen (Fazies A) und grobkörnigen Sandsteine (Fazies B) und der seltener entwickelten Faziestypen C, D und E in Form von "Finig Upward"-Sequenzen, wird als charakteristisch für distale, grobklastische verzweigte Flußsysteme mit gut entwickelten Rinnen und Geschiebefracht in Form von Grobsand und Geröllen betrachtet und ist mit dem "Donjek-Typ" (WILLIAMS & RUST, 1969; MIALI, 1977, 1978, 1981) bzw. Fazies G_{III} nach RUST (1978) vergleichbar (siehe Tab. 6).

Karawanken

Der Alpine Buntsandstein der Karawanken, am besten aufgeschlossen entlang der Waidischer Landesstraße zwischen dem Stauwehr und der Klamm (südlich Waidisch) ist sandig entwickelt. Untergeordnet treten Silte und siltige Tonschiefer auf, Geröllagen sind selten. Die Sedimente sind teils rötlich, teils hellgrau bis grünlich gefärbt.

Südlich Waidisch zeigt der Alpine Buntsandstein bereits marinen Faziescharakter, der durch das Auftreten von z.T. recht häufigen, schlecht erhaltenen und nicht mehr bestimmbar Muschelabdrücken sowie *Diplocraterion*, *Rhizocorallium* und Schnecken Spuren eindeutig belegt ist.

Die fazielle Ausbildung (Abb. 11) weist typische Merkmale eines Gezeitenbereiches auf. Charakteristisch sind besonders die bioturbaten Sandsteinbänke mit senkrechten, bis zu einige dm tiefen, nach unten leicht ausdünnenden Grabgängen (*Diplocraterion*, Taf. 3, Abb. 1, 2). Die Grabgänge sind meist grünlich, das umgebende Sediment rötlich oder hell gefärbt. Durch die meist zahlreich auftretenden Grabgänge ist die Schichtung meist vollständig zerstört, nur in seltenen Fällen ist sie teilweise noch erhalten (zwischen den Grabgängen). Untergeordnet treten auch mehr unregelmäßig durchwühlte Sandsteinbänke auf (Taf. 3, Abb. 6).

Die bioturbaten Sandsteine sind charakterisiert durch einen hohen Matrixanteil (über 10%) und durch eine schlechtere Sortierung, bereichsweise ist eine bimodale Korngrößenverteilung zu beobachten, wobei die grobe Fraktion gut und die feine Fraktion schlecht gerundet ist.

In den durchwühlten Bereichen sind mitunter kleine, rundliche Magnesitkomponenten mit einer dünnen, hellen Karbonatrinde angereichert (ursprünglich Kotpillen?). Während die bioturbaten Bereiche durch eine starke Matrixführung ausgezeichnet sind, dominiert in den weniger durchwühlten Bereichen Karbonatzement.

Gezeitenrinnen werden durch trogförmig schrägschichtete, lateral rasch auskeilende Rinnensedimente mit cm-großen eingeregeltetraklasten (rote Tonschiefer und gelblichbraune Mergel) dokumentiert.

Es sind gut ausgewaschene, gut sortierte und gut bis sehr gut gerundete Sandsteine mit Karbonatzement, teilweise tritt auch Gips als Zement auf.

Am Top der Rinnen sind asymmetrisch gebaute Megarippeln (Strömungsrippeln) mit leicht gebogenem Kammverlauf ausgebildet. Auf der Rippeloberfläche sind Muschelabdrücke häufig, vereinzelt tritt auch *Diplocraterion* auf.

Weiters finden sich schräggeschichtete, gut gerundete und gut sortierte Sandsteinbänke mit Megarippeln sowie Sandsteinbänke mit bimodaler Schrägschichtung (Herringbone-Schrägschichtung), deren Entstehung auf entgegengesetzte Strömungen (Flut-Ebbe) zurückzuführen ist und im Gezeitenbereich häufig auftritt.

Auf den Megarippeln sind oft Kleinrippeln ausgebildet, wobei die Rippelkämme der Mega- und Kleinrippeln unterschiedlich orientiert sind. Bezüglich der Orientierung der Rippelkämme sind bestimmte Richtungen, nämlich 30°, 70° und 90° vorherrschend.

Die Megarippeln sind asymmetrisch gebaut (L = 45-50 cm, H = 4-5 cm, RI = 10-11.2, RSI = 2.1) und zeigen einen leicht gebogenen Kammverlauf.

Kleinrippeln (Taf. 3, Abb. 4) haben dagegen einen häufig stark gebogenen Kammverlauf und sind mehr symmetrisch ausgebildet (L = 3.6-10 cm, H = 0.4-1.5 cm, RI = 5.3-11, RSI = 1-1.25, 11 Messungen).

In schräggeschichteten Sandsteinbänken sind selten "Reaktivierungsflächen" zu beobachten, die nach KLEIN (1970) auf die bimodalen Strömungsverhältnisse zurückzuführen sind.

Horizontalgeschichtete Sandsteinbänke sind selten. Zwischen den Sandsteinbänken treten immer wieder sandige Tonschiefer und Silte, häufig mit *Rhizocorallium* (Taf. 3, Abb. 3), *Diplocraterion* und Muschelabdrücken auf. Darin eingeschaltet sind dünne feinsandige Lagen mit Kleinrippeln und ebenfalls Muschelabdrücken auf den Schichtflächen.

Im tieferen Teil des Alpinen Buntsandsteins südlich Waidisch treten zusätzlich vereinzelt Trockenrisse sowie eine rinnen- bzw.-linsenförmige Einschäl-

ung eines gut gerundeten Quarzkonglomerats mit leicht bimodaler Korngrößenverteilung und Korngrößen bis zu 3 cm auf.

Für die gesamte Abfolge typisch ist das häufige Auftreten von *Diplocraterion* (Taf. 3, Abb. 1, 2, 5).

Bimodale Schrägschichtung (Herringbone-Schrägschichtung), unterschiedlich orientierte Mega- und Kleinrippeln, Rinnensedimente, Reaktivierungsflächen, starke Bioturbation (v.a. *Diplocraterion*) und Muschelabdrücke, z.T. in Form von Muschelpflastern, sind Hinweise auf marine Ablagerungsbedingungen mit stark wechselnden Strömungsverhältnissen und nach KLEIN (1970, 1975, 1977), BARNES & KLEIN (1975), REINECK (1972), REINECK & SINGH (1980) u.a. typische Merkmale für Gezeitenbereiche, wobei der hohe Sandanteil auf Subtidal bis tieferes Intertidal hindeutet.

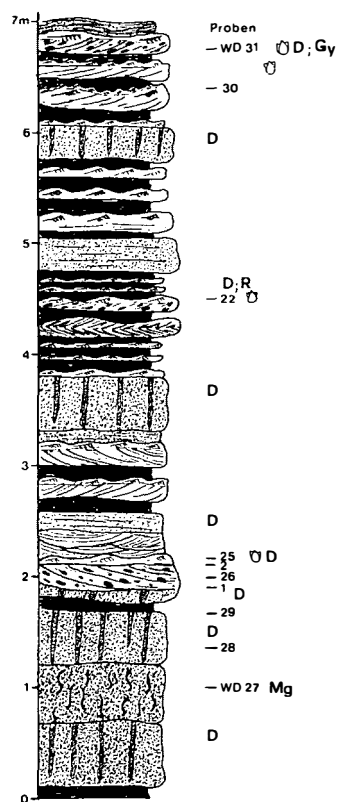


Abb. 11: Profilausschnitt aus der Gezeitenfazies des Alpinen Buntsandsteins südlich Waidisch (Karawanken). D = *Diplocraterion*, R = *Rhizocorallium*, Gy = Gips, Mg = Magnesit

Dobratsch-Südseite, St. Pauler Berge

Der Faziescharakter des hangendsten Alpinen Buntsandsteins an der Dobratsch-Südseite und den St. Pauler Bergen (Rottensteiner) ist nicht eindeutig geklärt. Im Gelände konnten bisher keine eindeutigen Fazieskriterien beobachtet werden, was teilweise auch auf die schlechten Aufschlußverhältnisse zurückzuführen ist.

Bezüglich der textuellen Eigenschaften sind die Sandsteine charakterisiert durch einen sehr geringen bis fehlenden Matrixgehalt, Sortierung und Rundung sind deutlich besser als im fluviatilen Bereich (Riedgraben, Ulrichsberg), ähnlich wie im marinen Buntsandstein der Karawanken südlich Waidisch. Auffallend ist auch der relativ gute Erhaltungszustand der Feldspäte sowie das häufige Auftreten von Feldspatanwachssäumen um detritische Feldspatkörner.

Die Summenkurven (aufgetragen auf doppelt logarithmischem "Wahrscheinlichkeitspapier") sind teilweise mit den von VISHNER (1969) für marine Strandsande dargestellten Kurven recht gut vergleichbar. Typisch fluviatile Kurven mit dem "feinen Schwanz" (siehe VISHNER, 1969) fehlen.

Eine Probe vom hangendsten Alpinen Buntsandstein der Dobratsch-Südseite zeigte eine ausgeprägte bimodale Korngrößenverteilung aus gut gerundeten Quarzkörnern. Der Mean der feineren Fraktion liegt bei 0.15-0.20 mm, jener der groben Fraktion bei 1 mm, was ein Verhältnis der beiden Fraktionen von 5:1 bis 6:1 ergibt (Taf. 2, Abb. 3, 4).

Solche gut gerundeten, bimodalen Sandsteine sind nach FOLK (1968, 1971) und eigenen Beobachtungen an äolischen Sedimenten (Nubischer Sandstein) des Sinai typische Beispiele für äolische Prozesse (siehe auch BLATT, 1982; FRIEDMAN & SANDERS, 1978). Die bimodale Korngrößenverteilung wird als Ergebnis der Deflation (Auswehung) des Feinsandanteiles interpretiert, da gerade der Feinsand am leichtesten äolisch transportierbar ist. Die sehr feine Sand- und Siltfraction bildet eine kohärente, weiche, leicht bindige Oberfläche, die äolisch nur sehr schwer auszuwehen ist. Auch gröbere Körner können nur mehr rollend bewegt werden bzw. bleiben überhaupt an Ort und Stelle liegen. Es entsteht eine "Deflationsfläche mit einem sog. "reg-sediment" (FOLK, 1968).

Dieses bimodale "reg-sediment" als Ergebnis äolischer Deflationsprozesse, auch im Alpinen Buntsandstein der Nördlichen Kalkalpen bei Hochfilzen nicht selten (POSCHER, frdl. mündl. Mitt.) kann auch noch fluviatil oder marin umgelagert werden, ohne daß dabei die bimodale Korngrößenverteilung zerstört werden muß (FOLK, 1968).

WARREN (1972) erklärt die Entstehung bimodaler äolischer Sedimente dagegen anders. Der feine Anteil der Saltationsfracht hat im Porenraum der Kriechfracht Platz und ist dort vor der weiteren Auswehung geschützt, während größere Körner der Saltationsfracht im Porenraum der Kriechfracht nicht mehr Platz finden und daher ausgeweht werden ("Protectionist Theory").

Außerdem können bimodale Sandsteine auch in anderen Ablagerungsbereichen (v.a. marin) entstehen, allerdings mit einem meist anderen Verhältnis von Grobfraktion und Feinfraktion.

Interessanterweise sind diese bimodalen Sedimente der bisher überhaupt einzige Hinweis auf äolische Prozesse im Alpinen Buntsandstein, ja im gesamten Permoskyth der Ostalpen. Das Fehlen von äolischen Sedimenten (Dünen usw.), trotz der dazu recht günstigen Umweltbedingungen im Perm und Skyth, ist eventuell auf eine damalige paläogeographische Lage in einer sehr windarmen Zone zurückzuführen.

5. WERFENER SCHICHTEN

5.1. Einleitung

Die nordalpinen Werfener Schichten im Kärntner Raum wurden bisher noch keiner eingehenderen sedimentologischen bzw. faziellen Untersuchung unterzogen. Relativ gut bekannt ist dagegen die Makrofossilführung, vor allem aufgrund der Arbeit von ZAPFE (1958).

Neben z.T. relativ seltenen, erstmals nachgewiesenen Mikrofossilien (Echinodermenreste, Foraminiferen, Conodonten, Fischreste) sind Makrofossilien stellenweise recht häufig und auch schon lange bekannt. So beschrieb schon HÖFER (1894) *Myophoria ovata*, *Avicula venetiana* und *Myophoria* aff. *elongata*.

Diese Fossilfunde ermöglichten es den Bearbeitern dieses Gebietes (HÖFER, 1894; BECK-MANNAGETTA, 1953, 1955, 1963; SEELMEIER, 1961) schon sehr früh, die Werfener Schichten von den darunterliegenden Serien, die generell als Grödener Schichten bzw. Griffener Schichten ausgeschieden wurden, abzutrennen.

Eine etwas genauere Bearbeitung des Permoskyths in den St. Pauler Bergen und Griffener Bergen erfolgte zuletzt durch die Hamburger Forschungsgruppe unter THIEDIG. Im Raum Magdalensberg-Christophberg sind vor allem die Arbeiten von RIEHL-HERWIRSCH zu nennen. Eine erste Notiz über das Permoskyth vom Ulrichsberg findet sich bei KAHLER & WOLSEGGGER (1934), eine kurze sedimentologische Bearbeitung dieses Vorkommens erfolgte auch durch KAISER (1971).

Die Werfener Schichten der nordalpinen Fazies der Karawanken werden nur kurz erwähnt (z.B. BAUER, 1970) und sind bisher nicht näher untersucht.

Im Zuge der eigenen Untersuchungen gelang es nun, einige Profile durch die Werfener Schichten aufzunehmen (Riedgraben, Kranzwandgraben, Ulrichsberg, St. Pauler Berge) Weiters wurden Vorkommen am Christophberg und in den Nordkarawanken untersucht.

Die Untersuchungen haben gezeigt, daß die Ausbildung der nordalpinen Werfener Schichten in den einzelnen Profilen variiert und von der paläogeographischen Situation im tieferen Skyth (Buntsandstein) kontrolliert wird.

So sind in den nördlichen Gailtaler Alpen, wo die postvariszische Sedimentation stellenweise vermutlich erst unmittelbar nach der Saalischen Phase einsetzt (über phyllitischem Kristallin wenige dm Basalbreccie aus Phyllitbruchstücken, darüber bereits vulkanitgeröllführende Konglomerate, FRITSCH, 1961) und der Alpine Buntsandstein am unreifsten ausgebildet ist (z.B. im Riedgraben), auch die Werfener Schichten geringmächtig, am stärksten terrigen-klastisch beeinflusst und führen keinerlei Fossilien oder Karbonatlagen.

Im Kranzwandgraben (Dobratsch-Südseite) sind die Werfener Schichten dagegen wesentlich mächtiger und führen häufig Karbonatlagen, die teilweise auch reich an Mikrofossilien sind.

Im Mittelkärntner Raum (Ulrichsberg, Christophberg, St. Pauler Berge) und in den Nordkarawanken sind die Werfener Schichten etwas einheitlicher ausgebildet, aber auch hier ist im N (Ulrichsberg, Christophberg) eine stärkere terrigen-klastische Beeinflussung bemerkbar als im S und SE, wo vereinzelt auch Karbonatlagen auftreten.

Anhand der einzelnen Profile sollen nun die Unterschiede innerhalb der untersuchten Vorkommen herausgearbeitet werden.

5.2. Mikrofaziestypen

MF I)

Häufigster Mikrofaziestyp sind grünlichgraue bis graue, bräunliche und vereinzelt auch rötliche, meist leicht sandige Tonschiefer mit allen Übergängen zu Siltsteinen (Normal- bzw. "Backgroundsedimentation"). Ein geringer Karbonatgehalt ist meist vorhanden, Karbonat ist z.T. sammelkristallisiert und findet sich in kleinen hypidiomorphen bis idiomorphen Rhomboedern (z.B. Ulrichsberg). An detritischen Komponenten sind Quarz, Feldspat (z.T. neu gebildet) und vor allem detritische Glimmer zu nennen. Bisweilen ist Bioturbation in Form von Spreitenbauten (*Rhizocorallium*) und anderen Lebensspuren zu beobachten.

In diese auf ruhige Ablagerungsbedingungen ("Schönwetterperioden") zurückzuführenden Sedimente sind cm- bis dm-mächtige Bänke aus größerem Material eingeschaltet, deren Entstehung einerseits auf "Schlechtwetterperioden" (Sturmlagen, "Tempestite"), oder andererseits auch auf Gezeitenströmungen und grobe Sedimentzufuhr zurückzuführen sind. Diese größeren Einschaltungen werden im folgenden beschrieben.

MF II)

Arkosen (Ulrichsberg, Basis der Werfener Schichten, Taf. 4, Abb. 4; Taf. 5, Abb. 1): Diese feldspatreichen Sandsteine zeigen denselben Mineralbestand wie der darunterliegende Alpine Buntsandstein, sie

unterscheiden sich lediglich im prozentuellen Anteil an den einzelnen Komponenten (Tab. 1). Generell führen die Sandsteine der Werfener Schichten, besonders die Arkosen, mehr Feldspat und Glimmer und deutlich weniger Gesteinsbruchstücke und vulkanische Chertkomponenten. Mikrosondenanalysen ergaben bei den detritischen Feldspäten durchwegs Kalifeldspäte mit einem hohen Or-Anteil und Anwachsäumen aus fast reinem Kalifeldspat (Tab. 2, 3). Die Feldspäte sind durchwegs unverzwillingt, bis auf einzelne Körner mit Mikroklitterung und Karlsbader Zwillinge.

Matrix ist durch Limonit meist bräunlich gefärbt. Außer der Karbonatneubildung (in den Arkosen kein Karbonatzement) sind dieselben Diageneseprozesse abgelaufen wie in allen untersuchten Werfener Sandsteinen (vor allem Feldspatneubildung, auch Quarzneubildung).

In den höheren Werfener Schichten vom Ulrichsberg treten noch einmal Arkosen auf (meist karbonatfrei), die sich von den basalen Arkosen nur durch den höheren Gehalt an Quarz und wesentlich geringeren Gehalt an vulkanischen Chertkomponenten unterscheiden.

MF III)

Vereinzelt treten in den basalen Werfener Schichten der Karawanken geringmächtige, grobsandige bis feinkonglomeratische Lagen auf (Gezeitenbeeinflussung). Es handelt sich dabei um kleine Rinnen mit aufgearbeiteten, cm-großen Intraklasten und Sandsteinbänke mit Herringbone-Schrägschichtung und Strömungsrippeln. Diese Lagen sind durchwegs gut gerundet und sortiert (Taf. 4, Abb. 5), können recht feldspatreich sein, wobei die Feldspäte oft authigen weitergewachsen sind. Die detritischen Komponenten sind durch Karbonatzement verkittet, der Karbonatgehalt ist relativ hoch.

MF IV)

Feinkörnige, stark karbonatführende Sandsteine (meist Arkosen bzw. "stark karbonatischer Sandstein" nach FÜCHTBAUER & MÜLLER, 1977, Abb. 2-1).

Die meist nur wenige cm dicken Sandsteinbänke sind häufig laminiert, vereinzelt ist Flaserschichtung zu beobachten. In einzelnen Bänken kann die Schichtung durch Bioturbation zerstört sein. Gradierung ist häufig.

Verbreitet sind leicht asymmetrische bis symmetrische, intern schräggeschichtete Kleinrippeln (Kranzwandgraben: Rippellänge 48-71 mm, Rippelhöhe 3-6 mm, Rippelindex 8.3-17, Rippelsymmetrieindex 1-1.5, Neigung Luvhang $10 \pm 2^\circ$, Taf. 5, Abb. 6). Diese niedrigen Rippelsymmetrieindexwerte sind charakteristisch für Wellenrippeln (REINECK & SINGH, 1980).

Selten ist Herringbone-Schrägschichtung zu beobachten. Einzelne glimmerreiche Lagen zeigen teilweise Wickelschichtung ("Convolute Bedding", z.B. Kranzwandgraben, Taf. 5, Abb. 5) und "Ball and Pillow"-Strukturen (z.B. Ulrichsberg, Waidisch).

Auf den Schichtflächen sind immer wieder unbestimmbare Marken und verschiedene Spuren, z.B. *Rhizocorallium*, *Diplocraterion* (St. Pauler Berge) und andere Lebensspuren zu beobachten.

Die Sandsteinlagen (Taf. 5, Abb. 2) sind meist fein-, selten mittelkörnig (Komponenten meist 0.5 mm, maximal bis 1 mm), mäßig bis gut sortiert, und zeigen ein offenes Gefüge ("poikilitisch", d.h. die Komponenten "schwimmen" im diagenetisch, vielfach durch Verdrängung von Quarz und Feldspat entstandenen Karbonatzement), seltener auch geschlossenen Gefüge mit Kornstützung (haupts. Punktkontakte).

Schichtung äußert sich im Schliff durch lagenweise Korngrößen- oder Materialänderungen (gröber-feiner, glimmerreich-glimmerarm).

Detritische Komponenten sind undulöse und nicht undulöse monokristalline Quarze, teilweise mit Anwachsäumen, sowie relativ wenig polykristalline Quarze.

Vulkanische Chertkomponenten sind ebenfalls selten. Vulkanische Gesteinsbruchstücke finden sich nur vereinzelt, metamorphe oder sedimentäre Gesteinsbruchstücke fehlen weitgehend.

Der Feldspatgehalt ist allgemein hoch, nur in den Karawanken ist eine geringere Feldspatführung festzustellen. Es handelt sich überwiegend bis ausschließlich um Kalifeldspäte (Orthoklas), nur im Kranzwandgraben ist ein Plagioklasanteil von rund 8% zu beobachten (siehe Tab. 2, 3). Die Feldspäte sind frisch bis leicht zersetzt, selten zeigen sie auch stärkere Zerfallerscheinungen. Der Großteil der Feldspäte

ist unverzwillingt. Allerdings treten in den Werfener Schichten deutlich mehr verzwilligte Feldspäte auf als in den durchwegs grobkörnigeren Sandsteinen des Alpenen Buntsandsteins.

Im Kranzwandgraben beispielsweise sind polysynthetische Zwillinge (Albitgesetz - geringe Plagioklasführung!) am häufigsten, weniger häufig sind Feldspäte mit Mikroklingitterung. Karlsbader Zwillinge treten nur sehr vereinzelt auf. Perthitische Feldspäte sind nicht selten, hier sind jedoch von Profil zu Profil Unterschiede festzustellen.

Anwachssäume (reines Kalifeldspat-Endglied, siehe Analyse Tab. 3), optisch meist anders orientiert als der detritische Kern, sind häufig. Die Feldspäte (Anwachssäume) verdrängen einerseits Quarz, werden andererseits in einer weiteren Phase randlich von Karbonat verdrängt.

Der Gehalt an detritischen Glimmern ist beträchtlich und übersteigt nicht selten 10% (z.B. Kranzwandgraben bis 12%). Hellglimmer, meist Müskowit, auch gebleichter Biotit, überwiegen. Daneben finden sich grüne und braune Biotite und selten Chlorite. Die Glimmerscheiter können bis zu rund 0.5 mm lang werden, sind meist schichtungsparallel eingeregelt und infolge mechanischer Diagenese (Kompaktion) häufig deformiert. Die detritischen Glimmer sind häufig in Lagen angereichert.

Das Schwermineralspektrum der untersuchten Proben ist durch eine Apatit-Zirkon-Vormacht gekennzeichnet, untergeordnet treten Turmalin (bräunlichgrüne bis grüne, selten blaugrüne Farbvarietäten) und Rutil in Erscheinung (Abb. 4). Andere durchsichtige Schwerminerale sind nur sehr vereinzelt zu beobachten.

Der Matrixgehalt ist relativ gering und besteht aus einem Hellglimmer-Quarz-Feldspat-Gemengsel.

An Diageneseprozessen sind zu nennen: verbreitet Karbonatneubildung und Sammelkristallisation, etwas Quarzzementbildung (Anwachssäume), häufig Feldspatanwachssäume, Verdrängung von Quarz durch Feldspat und Karbonat, Verdrängung von Feldspat durch Karbonat, vereinzelt auch Glaukonitneubildung (Ulrichsberg, Koprein).

Feinkörnige Sandsteine mit einem besonders hohen Karbonatgehalt und dem daraus resultierenden typischen Gefüge (die detritischen Komponenten, Quarz und Feldspat sind zum Großteil vom Karbonat verdrängt und nur mehr in Form von Skeletten vorhanden, die im Karbonatzement schwimmen) führen nicht selten verschiedene Fossilien, vor allem Crinoidenreste und Foraminiferen (Taf. 4, Abb. 6), sowie Schalenreste (Muscheln), Ophiurenreste, Ostracoden und auch inkohlte Pflanzenreste (aufgezählt in der Reihenfolge ihrer Häufigkeit). Im hangendsten Abschnitt der Werfener Schichten in den St. Pauler Bergen treten in diesen Sandsteinen bereits vereinzelt Ooide auf.

MF V

Terrigen-klastisch beeinflusster Karbonatsiltit (Taf. 5, Abb. 4), bestehend aus leicht sammelkristallisierter karbonatischer Grundmasse (und darin locker eingestreut bis 2 mm große Crinoidenreste) und dunkelgrauen mikritischen, aufgearbeiteten, teilweise glaukonitisierten (dann grünlich gefärbt) Intraklasten. Die Schichtung ist meist flaserig, die einzelnen Flaser sind oft durch dunkel gefärbte Mikrotylolithen nachgeprägt. Die Crinoidenreste sind lagig, teilweise auch linsig eingestreut, können aber vereinzelt auch gänzlich fehlen. Die resedimentierten Intraklaste zeigen mitunter Dachziegellagerung.

Terrigenes Material, vor allem Quarz und Glimmer, kann lagenweise stark angereichert sein und zeigt dann Feinschichtung (Horizontal-, selten Schrägschichtung). Vereinzelt treten kleine (mm bis wenige cm) Linsen aus größerem Material, hauptsächlich detritischem Quarz, auf. Bioturbation ist selten.

Stellenweise sind gut gerundete (umgelagerte), bis 0.8 mm große Glaukonitkörner zu finden. Daneben tritt Glaukonit in Form unregelmäßiger Flecken in der Grundmasse und in den mikritischen Intraklasten auf (in situ entstanden).

Neben den Echinodermenresten (Crinoiden) sind Foraminiferen z.T. recht häufig, selten sind Spirorben, Schalenreste (Muscheln) und Biogenreste aus Apatit (Fischreste). Dieser Mikrofaziestyp ist nur auf das Kranzwandgrabenprofil beschränkt.

MF VI

Echinodermenschuttlagen (Echinodermentempestite), meist nur wenige cm dick, aus massenhaft Echinodermeresten (Crinoiden) in einer siltigen Grundmasse aus sammelkristallisiertem Karbonat und relativ viel terrigenem Material (eckiger bis kantengerundeter, bis 0.2 cm großer Quarz, sowie Glimmerscheiter und Feldspäte), aufgearbeitete Intraklaste und teilweise reichlich Glaukonit (Taf. 6, Abb. 3).

Vor allem die länglichen, aufgearbeiteten, mikritischen Intraklaste (bis über 1 cm lang) sind meist stark glaukonitisiert, vereinzelt findet man auch glaukonitisierte Crinoidenreste, wodurch deren Struktur, besonders der Zentralkanal, schön abgebildet wird. In einzelnen Lagen sind unregelmäßig geformte und runde (transportierte) Glaukonitkörner häufig.

Die Crinoidenschuttlagen sind durchwegs geschichtet und gradiert, teilweise flaserig geschichtet und bräunlich bis grau gefärbt. Die Crinoidenreste sind bis zu 2 mm groß und zeigen vereinzelt syntaxiale Anwachssäume. Terrigenes Material (Quarz und Glimmer) kann lagenweise stärker angereichert sein.

Neben den Crinoiden finden sich weiters Foraminiferen und selten Bivalvenreste.

Im Kranzwandgraben bestehen die basalsten aufgeschlossenen Werfener Schichten aus einer rund 14 m mächtigen Abfolge aus roten, teilweise leicht sandigen Tonschiefern, in die bis zu 10 cm dicke, braun anwitternde Karbonatbänke (meist Tempestite) eingeschaltet sind.

Die liegendste beprobte Karbonatbank besteht aus einer siltigen, leicht terrigen beeinflussten, ungeschichteten, bräunlichen Grundmasse, darin schwimmen Biogenreste: Ophiurenreste, größere und kleinere, umkristallisierte Schalenreste (Muscheln), Foraminiferen (*Meandrospira pusilla* (HO)), Fischreste (v.a. Zahnbruchstücke) und Kleingastropoden (aufgelistet in der Reihenfolge ihrer Häufigkeit).

Bei den darüberfolgenden Karbonatbänken handelt es sich untergeordnet um bräunlich gefärbte, schräggeschichtete, stärker klastisch beeinflusste Silt-Sandsteine mit massenhaft Echinodermeresten (Crinoiden), sowie Foraminiferen, Schalenresten, Conodonten und Fischresten.

MF VII

Meist handelt es sich bei den eingeschalteten Karbonatbänken der basalen Werfener Schichten im Kranzwandgraben um Lumachellen mit leicht mikritischer oder sparitischer Grundmasse, bräunlich gefärbt. Außerdem finden sich noch Crinoidenreste, Foraminiferen, Fischreste, Conodonten und *Spirorbis* (Taf. 6, Abb. 2, 5).

MF VIII

Ungefähr 10 m über dem Alpinen Buntsandstein konnte in den St. Pauler Bergen bei Rottensteiner eine ca. 10 cm dicke Karbonatbank eines stark terrigen beeinflussten Biomikrits (Packstone) gefunden werden. Dieser führt an Biogenresten Foraminiferen, Crinoidenreste, Schalenbruchstücke und an Lithoklasten Peloiden in Form rundlicher, dunkler Mikritkomponenten, teilweise mit einer dünnen mikritischen Rinde (Rindenkörner), sowie eckigen Quarz, Feldspat und Glimmer. Die Grundmasse ist mikritisch, das Gestein ist ungeschichtet und bioturbat. In den durchwühlten Bereichen sind Biogenreste und Karbonatschlamm angereichert (Taf. 7, Abb. 1).

MF IX

Südlich Waidisch (Karawanken) konnte die erste Karbonatbank innerhalb der Werfener Schichten ca. 30 m über dem Alpinen Buntsandstein gefunden werden. Es handelt sich dabei um eine 5 cm dicke Bank eines biogenführenden Mikrits. Terrigen-klastischer Detritus (v.a. Quarz in Feinsandkorngröße) und Biogenreste (Crinoiden- und vereinzelt Schalenreste) sind unregelmäßig eingestreut (Taf. 6, Abb. 4).

An der Basis und am Top dieser Karbonatbank macht sich ein starker terrigen-klastischer Einfluß in Form dünner, teilweise schräggeschichteter Feinsand-Siltlagen mit teilweise massenhaft Foraminiferen (*Meandrospira pusilla* HO) bemerkbar. Vereinzelt tritt auch etwas Glaukonit auf (Taf. 7, Abb. 4).

MF X

In den hangenden Werfener Schichten in Kopenin (Karawanken) treten dolomitische, fein- bis grobkristalline, flaserig geschichtete, biogenführende Karbonatbänke (ursprgl. biogenführende Sparite) mit häufig Mikrostylolithen parallel zur Schichtung (Flaserung) auf. Detritische Komponenten (Quarz in Feinsandkorngröße) sind locker eingestreut. Vereinzelt sind mm-dicke Siltlinsen eingeschaltet. Crinoidenreste sind teilweise sehr häufig, seltener sind vollständig umkristallisierte Schalenreste, sehr selten unbestimmbare Foraminiferen.

5.3. Fazielle Ausbildung der einzelnen Profile

5.3.1. Riedgraben

Im Riedgrabenprofil (SW Paternion im Drautal, entlang der Straße zwischen Aichach und Ried; Beil. 2) sind die Werfener Schichten rund 40 m mächtig, teilweise schlecht aufgeschlossen und setzen sich aus grünen, grauen und braunen, selten auch roten, glimmerreichen, sandigen Tonschiefern und Siltsteinen zusammen (siehe Profil, Beil. 2). In diese eingeschaltet sind bis über 10 cm dicke, laminierte, z.T. schräggeschichtete, helle bis braun anwitternde Sandsteinlagen.

Kleinrippeln sind häufig, vereinzelt auch größere Rippen. Die Grenze zum unterlagernden Alpenen Buntsandstein ist wie in allen untersuchten Profilen (soweit aufgeschlossen) ziemlich scharf und äußert sich in einem plötzlichen Farbumschlag von überwiegend rot zu grünlichgrau und braun und in einer generellen Korngrößenabnahme.

Die Sandsteinlagen innerhalb der Werfener Schichten unterscheiden sich texturell und kompositionell nicht im geringsten vom unterlagernden Alpenen Buntsandstein (Taf. 5, Abb. 3). Es sind lithische Arenite (max. 8.3% Matrix) mit einem relativ geringen Anteil an monokristallinen und polykristallinen Quarzen und einem hohen Anteil an vulkanischen Aufarbeitungsprodukten von durchwegs über 50% (vulk. Chert, vulk. GBR, Porphy Quarze, Feldspäte). Der höhere Feldspatgehalt im Vergleich zum Alpenen Buntsandstein ist ein Korngrößeneffekt und geht auf die stärkere mechanische Instabilität der Feldspäte infolge ihrer guten Spaltbarkeit und Zwillingsbildungen zurück, wodurch die Feldspäte in der groben Silt- und Feinfraktion im Vergleich zu Quarz relativ angereichert werden (vgl. HEIM, 1976; ODOM, 1975; ODOM et al., 1976). Zusätzlich begünstigt das marine Milieu die Erhaltung der Feldspäte.

Auffallend ist das meist vollkommene Fehlen von Karbonatzement in den Sandsteinlagen. Der Glimmergehalt ist hoch (bis 10%). In einem Fall handelt es sich um eine lithische Wacke (20% Matrix).

Die Sandsteinlagen (Fein-Mittelsand) sind mäßig bis schlecht sortiert, die Komponenten zeigen einen schlechten Rundungsgrad (subangular bis subrounded).

Fossilien wurden in den Werfener Schichten hier nicht gefunden.

Im Hangenden, im lithofaziellen Übergangsbereich zum "Alpenen Muschelkalk", treten unvermittelt die ersten Karbonatbänke auf, zunächst noch in Wechselagerung mit grauen Tonschiefern und Siltsteinen.

Die stark terrigen (hpts. Quarz) beeinflussten Karbonatbänke bestehen aus einem Wechsel von cm-dicken feingeschichteten Lagen (Algenmatten?) und cm-dicken Lagen aus aufgearbeiteten Lithoklasten (Intraklaste, "Chips").

Weiters finden sich im Übergangsbereich terrigen beeinflusste (viel Glimmerscheiter, Quarz und Feldspat), geschichtete, z.T. schräggeschichtete, feinarenitische, gut ausgewaschene und gut sortierte Biopelsparite, reich an Foraminiferen (Probe Al 23: ?*Amodiscus*, *Glomospirella* cf. *vulgaris* HO, uniseriale Lageniden), seltener sind Schälchen von Ostracoden, vereinzelt auch größere Schalenreste (Muscheln) sowie dunkle, rundliche Mikritkomponenten (Peloide) in einer spärlichen bis mikroparischen Grundmasse.

Außerdem findet man schwach terrigen beeinflusste, kaum geschichtete Biopelmikrite, ebenfalls reich an Foraminiferen (Probe Al 24 und 26: *Amodiscus parapriscus* HO, ? Trochamminidae, *Earlandia tintinniformis* (MISIK), uniseriale Lageniden mit cf. *Nodosaria* sp. und *Dentalina* sp.; Probe Al 27 mit *Meandrospira deformata* SALAJ), Ostracodenschälchen und Peloiden in einer mikritischen Grundmasse. Die mikritischen Bänke sind mitunter bioturbat (Taf. 6, Abb.6).

Von den Foraminiferen sprechen die Sandschaler und auch *Meandrospira deformata* für ein bereits anisches Alter dieses Profilabschnittes, wobei höheres Anis noch kaum in Frage kommt. Ob die Obergrenze der Werfener Schichten mit der Grenze Skyth/Anis zusammenfällt, kann mangels entsprechender Fossilien aus der unterlagernden Abfolge der Werfener Schichten nicht bewiesen werden.

Die Werfener Schichten des Riedgrabens weisen die geringste Mächtigkeit aller untersuchten Profile auf. Dies ist auch schon GEYER aufgefallen, wobei nach GEYER (1899, 1903) die Werfener Schichten nach W hin (Lienzer Dolomiten) noch geringmächtiger, maximal einige Meter, werden.

5.3.2. Kranzwandgraben (Dobratsch-Südseite)

Eine völlig andere Ausbildung zeigen die Werfener Schichten im Kranzwandgraben. Im Vergleich zum Riedgraben sind die Werfener Schichten

- 1) mächtiger,
- 2) stärker marin (Karbonatbänke häufig),
- 3) reich an Fossilien, vor allem Mikrofossilien.

Der Übergang Alpiner Buntsandstein-Werfener Schichten ist im "Tumphi-Wald", ca. 3 km westlich des Kranzwandgrabens, aufgeschlossen und wiederum durch einen raschen Sedimentationswechsel von roten Sandsteinen zu grünlichen Siltsteinen, sandigen grünlichen Mergeln und feinkörnigen Sandsteinen mit Pflanzenresten, Bioturbation und vereinzelt unbestimmbaren Muschelabdrücken charakterisiert (insgesamt ca. 8 m aufgeschlossen).

Der Großteil der Werfener Schichten ist mit einzelnen Aufschlußlücken im Kranzwandgraben (NW Oberschütt) aufgeschlossen, das Liegende ist dort allerdings verdeckt.

Insgesamt lassen sich die Werfener Schichten an der Dobratsch-Südseite in fünf Faziesseinheiten untergliedern (siehe Profil, Beil. 3):

- A: An der Basis eine Abfolge aus grünlichen Mergeln, Silt- und Sandsteinen mit unbestimmbaren Muschel- und Pflanzenabdrücken, ohne Mikrofossilien.
- B: Eine Abfolge aus roten Tonschiefern mit eingeschalteten cm-dicken Karbonatbänken (Lumachelen, "Tempestite"; MF VII), an der Basis mit Ophiurenresten. Die darüberfolgenden Bänke führen häufig Crinoidenreste, Conodonten, Fischreste und *Meandrospira pusilla* (HO), die im Kranzwandgraben nur auf diese Abfolge beschränkt ist.
- C: Eine Abfolge aus grünlichgrauen Tonschiefern bis Siltsteinen mit eingeschalteten härteren Bänken in Form von Crinoidenschuttlagen (MF VI) und feinkörnigen, stark karbonatführenden Sandsteinlagen (MF IV), die relativ reich an Foraminiferen und Glaukonit sind, sowie klastisch beeinflusste Karbonatsiltitlagen (MF V). In dieser Folge treten auch häufig Makrofossilien auf (*Costatoria* cf. *costata* und andere Muscheln).
- D: Eine Abfolge aus grünlichgrauen Tonschiefern und Siltsteinen mit eingelagerten härteren Bänken, jedoch keine Crinoidenschuttlagen mehr. Crinoiden sind häufig nur in Probe KW 30, sonst aber nur

vereinzelt eingestreut (in stark karbonatführenden Sandsteinlagen mit Biogenen). Glaukonit ist selten, ebenso Foraminiferen und andere Mikrofossilien. Makrofossilien fehlen. Der Gehalt an terrigenem Material nimmt zu (MF IV, V).

- E: Eine Abfolge aus grünlichgrauen Tonschiefern mit zwischengeschalteten feinkörnigen, stark karbonatführenden Sandsteinlagen (MF IV) und selten Karbonatbänken (MF V). Glaukonit fehlt. Crinoidenreste und Foraminiferen sind sehr selten, dafür ist eine stärkere Zunahme an terrigenem Material (Sandsteine) zu verzeichnen.

Ähnliche Mikrofaziestypen, wie sie in den Werfener Schichten an der Dobratsch-Südseite auftreten, haben MOSTLER & ROSSNER (1977, 1984) aus den Werfener Schichten der Nördlichen Kalkalpen beschrieben.

Über einer Aufschlußlücke von rund 25 m folgt über den Werfener Schichten das Anis, bestehend aus einer Wechsellagerung (dm- bis m-Bereich) von meist grauen, z.T. sandigen Tonschiefern und grauen, dünn gebankten, bioturbaten Dolomiten und Kälken (Mikrite, Intraklastmikrite, Pelmikrite, Pelsparite, Oosparite) mit vereinzelter Mikrofossilführung (Ostracoden, Echinodermenreste, Gastropoden, röhrenförmige Mikroproblematika und schlecht erhaltene Vertreter folgender Foraminiferengattungen, bestimmt von Doz. Resch: *Ammodiscus*, cf. *Glomospira*, *Glomospirella*, cf. *Rheophax*). In dieser unteranisischen Abfolge treten auch drei bis über 20 m mächtige Gipshorizonte auf, die jüngst von STREHL et al. (1980) kurz beschrieben wurden.

5.3.3. Ulrichsberg

Am Ulrichsberg konnte in einem von Wainz zum Ulrichsberg hinaufführenden Hohlweg ein zwar schlecht, aber bis auf den hangendsten Anteil (Übergang in das Anis) ziemlich lückenloses Profil vom obersten Alpiner Buntsandstein weg aufgenommen werden (Beil. 4). Von dieser Lokalität stammen auch die von ZAPFE (1958) beschriebenen Makrofossilien, deren ungefähre Einordnung in das aufgenommene Profil auch möglich war.

Über dem hier recht grobklastisch ausgebildeten Alpenen Buntsandstein (am Top noch cm-große Quarzgerölle) setzen die Werfener Schichten mit einer ca. 9 m mächtigen Abfolge aus hellen, teilweise bräunlich verwitternden, pflanzenführenden Arkosen ein (MF II).

Darüber folgt eine Serie aus grau-grün und bräunlich gefärbten, sandigen Tonschiefern, Siltsteinen, feinkörnigen karbonatführenden Sandsteinen (MF IV) und z.T. karbonatfreien Arkosen (MF II).

Makrofossilien sind recht häufig (Pflanzenreste, Gastropoden, Muscheln, Ammoniten). Erstmals konnten auch Mikrofossilien (Echinodermenreste und Foraminiferen) nachgewiesen werden (in MF IV).

An Foraminiferen konnte spezifisch nur *Meandrospira pusilla* (HO), teilweise sehr häufig vorkommend, bestimmt werden. Demnach gehören die tiefsten stärker karbonatischen Bänke dieses Profils bereits mindestens ins höhere Skyth (Val-Badia-Member oder jünger).

Die Makrofossilien treten bevorzugt in grünlich-grauen bis bräunlichen glimmerreichen Siltsteinen im tieferen Abschnitt des Profils auf (siehe Beil. 4). Bei den aufgesammelten Makrofossilien handelt es sich zum Großteil um Lesesteinstücke, direkt aus dem Anstehenden konnten leider nur wenige Makrofossilien gewonnen werden.

Die lithologische Ausbildung der Werfener Schichten im Bereich des Christophberges ist ähnlich jener des Ulrichsberges.

5.3.4. St. Pauler Berge

Einer genaueren sedimentologischen Untersuchung wurden die Werfener Schichten der St. Pauler Berge zwischen Ruden und der Rabensteiner Greuth (Rottensteiner) unterzogen.

Es konnte aus diesem Bereich auch ein Idealprofil durch die Werfener Schichten erarbeitet werden (Beil. 5). Der Übergang Alpenen Buntsandstein-Werfener Schichten sowie die basalen 30 m der Werfener Schichten sind bei der Lokalität "Rottensteiner"

(E Kasparstein) einigermaßen gut aufgeschlossen. Der hangende Anteil mit dem basalen Anis wurde entlang einem Forstweg, der von Untermittlerdorf Richtung NE zum Langenberg führt, ungefähr N vom Bahnhof Eis/Ruden (über dem Eisenbahntunnel) aufgenommen.

Die Werfener Schichten bestehen wieder aus einer Abfolge von meist grünlich-grauen bis bräunlichen, seltener rötlichen Siltsteinen und sandigen Tonschiefern (MF I), in die dünne, max. wenige dm mächtige härtere Bänke (Sandsteine, MF IV, vereinzelt Karbonatlagen, MF VI, VIII) eingeschaltet sind. Die Grenze zum Alpenen Buntsandstein ist scharf und äußert sich in einer plötzlichen Änderung der lithologischen Ausbildung der Gesteine (Farbumschlag, Korngrößenabnahme, Zunahme des Feldspat- und Glimmergehaltes, Auftreten von Karbonatzement usw.).

Charakteristisch für die Werfener Schichten der St. Pauler Berge ist wieder der stark klastische Einfluß (Regression) am Top mit teilweise rot gefärbten, fein- bis mittelkörnigen Sandsteinen.

Die ersten Foraminiferen dieses Profils treten in Probe Rot 9 auf, mit sehr häufig *Glomospirella triphoenensis* BAUD, ZANINETTI & BRÖNNIMANN. Die Häufigkeit und auffallende Großwüchsigkeit mancher Exemplare spricht für ein Alter der Probe nicht älter als oberstes Skyth, ziemlich sicher für jünger als tiefere Teile des Val-Badia-Members der Südtiroler Dolomiten.

Auch das basalste Anis ist ganz ähnlich wie im Kranzwandgraben entwickelt. Es besteht aus einer Wechsellagerung von bis zu mehrere Meter mächtigen, z.T. sandigen, dunkelgrauen, grünlich-grauen und bräunlichen Tonschiefern und wenige dm mächtigen, braun anwitternden, grauen Kalken. Die Kalke sind meist geschichtet und dünn gebankt, z.T. auch brecciös mit rechteckigen Hohlräumen (herausgelöstes Steinsalz?), teilweise schon zu Rauhacken umgewandelt. Im höheren Abschnitt sind neben den Kalken auch dm- bis m-mächtige, dünn (cm) gebankte, geschichtete, graue Dolomikrite eingeschaltet (Pelsparite, Pelmikrite, feingeschichtet, infolge Diagenese Prozessen dichtgepackt mit gelängten Peloiden, biogenfrei, teilweise mit etwas terrigenen Material, Qz, Fsp, Gl, z.T. richtige Sandsteinlagen mit mikritischer Grundmasse, einigen Peloiden und Rindenkörnern).

In diese unteranisische Schichtfolge dürften auch die von SEELMEIER (1961) beschriebenen gipsführenden Tonschiefer, die beim seinerzeitigen Bau des Langenberg-Tunnels aufgeföhren wurden, zu stellen sein.

5.3.5. Karawanken (Nordalpine Fazies)

Das nordalpine Permoskyth der Karawanken ist nur mehr in einzelnen kleineren tektonischen Schuppen entlang der Periadriatischen Naht (südlich Waidisch) bzw. an der Grenze zum Eisenkappler Paläozoikum (vom Schaidasattel nach E bis Koprein - Luscha Alpe) erhalten, wobei die einzelnen Schuppen in sich häufig tektonisch stärker gestört sind. Vollständige Profile durch das Permoskyth bzw. die Werfener Schichten sind nicht erhalten.

Aufschlüsse in den basalen Werfener Schichten gibt es südlich von Waidisch, im Graben, der von der Ostflanke des Ferlacher Horns herabzieht, unmittelbar nördlich "Motschnik", ferner am Schaidasattel und in Koprein-Petzen (südlich vom Wirtshaus "Riepl").

Höhere Werfener Schichten sind an einem Forstweg am Südwestabfall der "Goretza" (1.356 m) (Koprein-Sonnseite), ca. 400 m E "Rastotschnik" einigermaßen gut aufgeschlossen. Insgesamt sind die Aufschlußverhältnisse als schlecht zu bezeichnen.

Die basalen Werfener Schichten sind, ähnlich wie am Ulrichsberg oder in den St. Pauler Bergen, stark sandig entwickelt (Abb. 12). Es sind graugrüne, häufig bräunlich anwitternde, karbonatische, glimmerreiche, feinkörnige Sandsteine bis Siltsteine (MF IV), untergeordnet treten Tonschiefer (MF I) auf, die teilweise rötlich gefärbt sind (z.B. am Schaidasattel).

In den basalen Werfener Schichten sind Pflanzenreste häufig, vereinzelt finden sich auch schlecht erhaltene Muschelabdrücke.

In den basalen Werfener Schichten südlich Waidisch finden sich Anzeichen von Gezeitensedimentation in Form von gut gerundeten und gut bis sehr gut sortierten Sandsteinen mit Herringbone-Schrägschichtung, schrägschichteten Sandsteinbänken mit Megarippeln; auf den Megarippeln sind teilweise noch

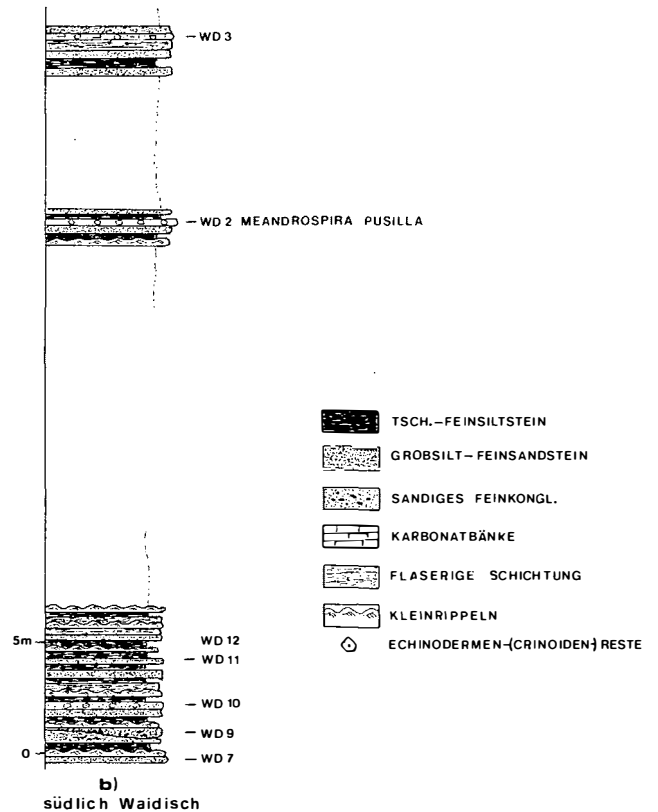
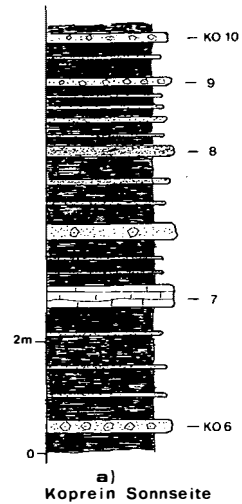


Abb. 12:
 Profilausschnitte aus den nordalpinen Werfener Schichten der Karawanken
 a) Obere Werfener Schichten, Koprein
 b) Untere Werfener Schichten südl. Waidisch

Kleinrippeln entwickelt, sowie Tonschiefer bis Silte mit eingeschalteten cm-dicken feinkörnigen Sandsteinbänken und Kleinrippeln (MF III).

Die Rippeln zeigen eine ähnliche Orientierung wie im darunterliegenden marinen Buntsandstein (20° und 65-70°). Grobsandige bis feinkonglomeratische Schüttungen treten in den basalen Werfener Schichten der Karawanken immer wieder auf.

Südlich Waidisch, beim Zusammenfluß der Ribniza mit dem Waidischbach, führen die basalen Werfener Schichten bis 10 cm große, längliche, rosarot gefärbte, diagenetisch entstandene Gipskonkretionen und Pflanzenreste. Gips tritt dort vereinzelt auch als Zement in den Sandsteinen auf. Es ist dies der einzige Gipsfund aller in dieser Arbeit untersuchten Werfener Schichten.

Hier tritt die erste Karbonatbank (MF IX, in einem Schliff mit *Glomospirella shengi* HO, 1 Exemplar, und sehr reichlich *Meandrospira pusilla*(HO)) innerhalb der Werfener Schichten ca. 30 m über dem Alpenen Buntsandstein auf.

Die hangenden Werfener Schichten (Koprein-Sonnseite; Abb. 12) setzen sich überwiegend aus grünlichgrauen, selten rötlichen Tonschiefern zusammen, in die härtere und gröbere, meist 5-10, selten bis 40 cm dicke Bänke (MF IV mit Übergängen zu MF VI, X) eingeschaltet sind.

Die artlich bestimmbaren oben erwähnten Foraminiferen sind sowohl aus dem Skyth wie auch Anis bekannt. Im Vergleich mit anderen Profilen des dieser Arbeit zugrundeliegenden Untersuchungsgebietes sowie den Verhältnissen in den Südtiroler Dolomiten, spricht die Foraminiferenfauna für höheres, aber noch nicht alleroberstes Skyth.

Den Übergang in das Anis (Muschelkalk), abgeschlossen im Waidischbach knapp unterhalb der Mündung des Wabutschnik-Grabens, bildet eine Abfolge aus bunten Tonschiefern (grau, rot, grünlich, schwarz), in die cm- bis dm-dicke, graue, bräunlich anwitternde Karbonatlagen, häufig in Form von Rauhwacken, vereinzelt mit Gips, eingeschaltet sind. Über dieser ca. 15 m mächtigen Abfolge setzen dünngebankte dunkelgraue Dolomite des Anis ein, in die noch vereinzelt dünne Rauhwacken eingeschaltet sind.

5.4. Faziesinterpretation

Entgegen der Darstellung bei WARCH (1973, 1979) weisen die Werfener Schichten der einzelnen Vorkommen deutliche Unterschiede in ihrer fazialen Entwicklung auf und vermitteln uns somit ein recht deutliches Bild von den paläogeographischen Verhältnissen zur Zeit ihrer Ablagerung.

Innerhalb der untersuchten Werfener Schichten ist deutlich eine fortschreitende Transgression von SE und S nach N und NW zu beobachten. Der klastische Einfluß ist im N, vor allem im NW (Riedgraben) am stärksten, dort treten z.T. auch sehr häufig eingeschwemmte Pflanzenreste auf (Ulrichsberg), was auf eine relative Landnähe hinweist. Die nordöstlichsten Vorkommen sind auch am geringmächtigsten, nach S und SE werden die Werfener Schichten mächtiger und der marine Charakter immer deutlicher (vereinzelt Karbonatlagen, häufig eingeschwemmte Biogenreste usw.). Auch der Reifegrad bzw. die Zusammensetzung der Werfener Sandsteine ändern sich von NW nach S und SE (siehe Abb. 13).

Insgesamt handelt es sich bei den Sedimenten der Werfener Schichten um Bildungen eines sehr flachen, mehr oder weniger stabilen, epikontinentalen Schelfmeeres, vereinzelt mit Anzeichen von Gezeiten, wie Herringbone-Schrägschichtung, kleinen Rinnen, Rippeln mit zwei verschiedenen Kammrichtungen.

Die Normalsedimentation erfolgte durchwegs in Form von siltigen Tonschiefern und feinkörnigen Sandsteinen (Weichböden), je nach der Intensität der klastischen Zufuhr. Karbonatsedimentation (Karbonatschlamm, z.B. Biomikrit) ist nur sehr vereinzelt zu beobachten (z.B. Karawanken, St. Pauler Berge). Solche Lagen wurden durch nachfolgende stärkere Wasserbewegung (Stürme oder Gezeitenströmungen) häufig wieder aufgearbeitet, in Form von mikritischen Intraklasten (Karawanken, Kranzwandgraben, St. Pauler Berge). Das häufige Auftreten von Kleinrippeln (Wellenrippeln) deutet auch auf eine stärkere Sedimentumlagerung durch die Wellenbewegung hin.

In diese Normalsedimentation eingeschaltet sind dünne gröbere Bänke aus entweder nur terrigen-klastischem Material (Sandsteine) oder aus Biogenresten (Crinoidenreste, Schalenreste).

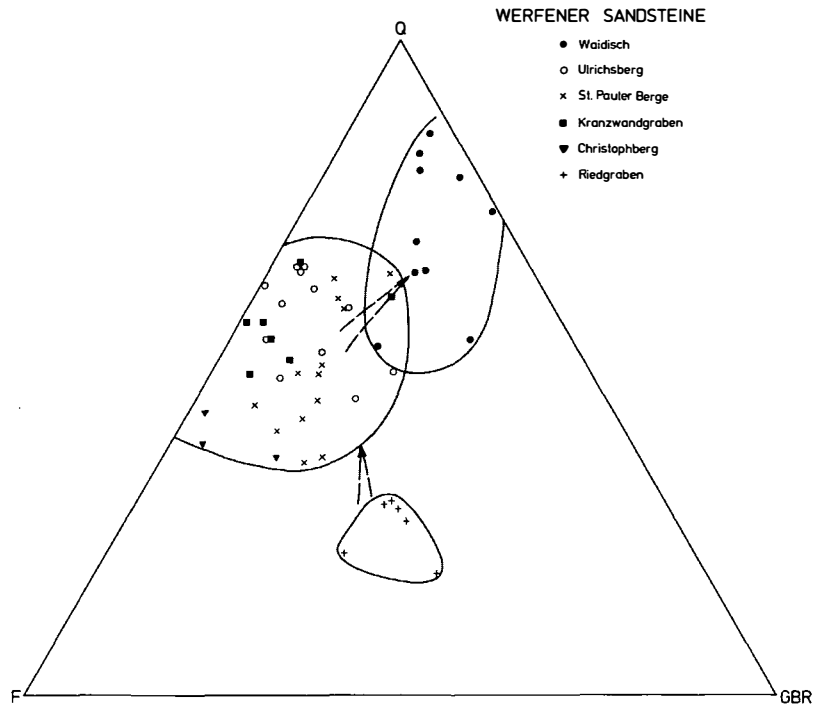


Abb. 13:

Werfener Sandsteine im Dreiecksdiagramm Q (mono- und polykristalliner Quarz) - F (Feldspat) - GBR (Gesteinsbruchstücke). Am unreifsten sind wiederum die Sandsteine des Riedgrabenprofils, im S und SE schließen sehr feldspatreiche, etwas reifere Sandsteine (Arkosen) an, die reifsten Werfener Sandsteine sind, genauso wie im Alpinen Buntsandstein, südlich Waidisch (Karawanken) anzutreffen

Diese groben, häufig gradierten Lagen (vor allem die Lumachellen und Crinoidenschuttlagen, teilweise auch die größeren, biogenarmen bis biogenfreien Sandsteine können als "Tempestite" aufgefaßt werden), entstanden während "kurzfristiger, turbulenter Energieereignisse" (Stürme, Schlechtwetterperioden) mit starker Wasserbewegung (AIGNER, 1979).

Die Biogenreste wurden vermutlich von ihrem weit draußen im offenen Schelf gelegenen Lebensraum während Schlechtwetterperioden eingeschwemmt, worauf die häufig zugerundeten Echinodermenreste, zerbrochenen Schalenreste sowie Conodonten und Fischreste (die beiden letzteren treten nur in den Schilltempestiten auf) und häufige Gradierung dieser Sturmlagen hinweist.

Schill- und Echinodermentempestite sind vor allem für die Werfener Schichten im Kranzwandgraben charakteristisch, fehlen im Riedgraben vollkommen, sind am

Ulrichsberg sehr selten und in den St. Pauler Bergen und in den Karawanken vereinzelt anzutreffen.

Die Fauna der untersuchten Werfener Schichten ist auffallend artenarm aber individuenreich, und vermutlich auf die starke klastische Beeinflussung zurückzuführen, was für die meisten Organismen sicher mit Anpassungsschwierigkeiten verbunden war (siehe auch MOSTLER & ROSSNER, 1984).

Die Fauna, vor allem die Foraminiferen, auch Echinodermenreste und Conodontenbruchstücke, weist auf normale Salinitätsverhältnisse hin, was auch MOSTLER & ROSSNER (1984) aus den Werfener Schichten der Nördlichen Kalkalpen bestätigen.

Die artenarme und meist sehr individuenreiche Foraminiferenvergesellschaftung stimmt recht gut mit jener aus den Werfener Schichten der Nördlichen Kalkalpen und auch der Südalpen überein (z.B.

MOSTLER & ROSSNER, 1984; RESCH, 1979). Charakteristisch ist das fast immer sehr reichliche Auftreten von *Meandrospira pusilla*(HO), auch in sehr stark klastisch beeinflussten Sedimenten (z.B. in stark karbonatischen, feinkörnigen Sandsteinen vom Ulrichsberg). Allgemein soll *Meandrospira pusilla*(HO) eine stärkere tonige Verunreinigung des Substrats nicht vertragen (siehe RESCH, 1979), doch tritt *Meandrospira pusilla*(HO) vereinzelt auch in etwas stärker tonigen Sedimenten auf (z.B. Karawanken südlich Waidisch).

Die zeitliche Grenze zwischen Alpinem Buntsandstein und Werfener Schichten kann im untersuchten Bereich nicht genau gezogen werden, da gerade im Grenzbereich aussagekräftige Fossilien fehlen.

In den südalpinen Werfener Schichten sind Crinoiden, vor allem Crinoidentempestite, auf das "Cencenighe-Member", das heißt auf das oberste Skyth beschränkt.

Ähnliches gilt auch für die nordalpinen Werfener Schichten der Lammerschlucht (Salzburg) und der Ramsau bei Berchtesgaden (BRANDNER et al., 1984).

In den St. Pauler Bergen treten die ersten Crinoiden rund 16 m über dem hangendsten Buntsandstein auf, am Ulrichsberg rund 11 m; auch im Kranzwandgraben treten die ersten Crinoiden schon sehr früh auf.

Meandrospira pusilla (HO) scheint in den südalpinen Werfener Schichten erst ab dem Val-Badia-Member aufzutreten (BROGLIO LORIGA et al., 1983; GHETTI & NERI, 1983).

Auch die in den nordalpinen Werfener Schichten Kärntens bekannte Makrofossilvergesellschaftung ist in den südalpinen Werfener Schichten charakteristisch für das Val-Badia- und Cencenighe-Member. *Dinarites dalmatinus* tritt in den Südalpen erst im tieferen Cencenighe-Member auf (C. NERI, Vortrag 5. Juni 1984, Innsbruck).

Demnach wäre der Großteil der einzelnen untersuchten Profile, d.h. der jeweils gesamte crinoidenführende Profilabschnitt, zeitlich in etwa mit dem "Cencenighe-Member" der Südalpen gleichzusetzen, also auf das oberste Skyth beschränkt.

Die basalen, crinoidenfreien Werfener Schichten (geringmächtiger Anteil) würden dann zeitlich dem "Val-Badia-Member" der südalpinen Werfener Schichten entsprechen.

Ob nun in den untersuchten Profilen die Transgression der Werfener Schichten über dem Alpinen Buntsandstein mit der "Val-Badia-Transgression" der südalpinen Werfener Schichten korrelierbar ist, kann derzeit nicht nachgewiesen werden.

Die südalpinen Werfener Schichten wurden ursprünglich aufgrund der lithologischen Ausbildung und des Fossilinhaltes, neuerdings auch basierend auf Transgressions- und Regressionsabfolgen ("Eventstratigraphie") in Members untergliedert (z.B. ASSERETO et al., 1973; BROGLIO LORIGA et al., 1983). Erste Untersuchungen der Werfener Schichten der Nördlichen Kalkalpen (Lammertal, Ramsau bei Berchtesgaden) ergaben Hinweise, daß sich die Transgressionen und Regressionen, die in den südalpinen Werfener Schichten festgestellt wurden, auch in den Werfener Schichten der Nördlichen Kalkalpen auswirkten und sich aufgrund von Conodonten auch zeitlich einigermaßen korrelieren lassen (BRANDNER et al., 1984, MOSTLER & ROSSNER, 1984).

In den im Rahmen der vorliegenden Arbeit untersuchten Profilen zeichnen sich im Skyth im wesentlichen folgende Ereignisse klar ab, die sich jedoch derzeit mit einzelnen Transgressions- oder Regressionsereignissen der südalpinen Werfener Schichten noch nicht klar korrelieren lassen:

- a) Das Einsetzen des Alpinen Buntsandsteins, zeitlich nicht faßbar.
- b) Innerhalb des Alpinen Buntsandsteins zeichnet sich im untersuchten Bereich (Riedgraben, Simmerlacher Klamm) ein weiteres Ereignis ab ("Campiller Ereignis").
- c) Das Einsetzen der Werfener Schichten in Form einer plötzlichen Transgression, zeitlich ebenfalls nicht genau belegt. Sicher ist oberstes Skyth, dieses Ereignis ist eventuell mit der Val-Badia-Transgression der Südalpen vergleichbar.
- d) Das letzte Ereignis, das sich klar abbildet, ist eine Regression am Top der Werfener Schichten im Übergangsbereich Skyth-Anis (Kranzwandgraben, St. Pauler Berge, Karawanken), die sich durch eine verstärkte klastische Zufuhr (z.T. rot gefärbte

Sandsteine) und im tiefsten Anis durch Rauhwak-
ken- und Gipsbildung deutlich bemerkbar macht.

In der Literatur wird des öfteren auf die enge
Verwandtschaft der Faunen der Werfener Schichten
im Mittelkärntner Raum (Ulrichsberg, St. Pauler
Berge) zu jenen der Südalpen hingewiesen (z.B.
ZAPFE, 1958), aber es muß auch deutlich betont wer-
den, daß bezüglich ihrer faziellen Ausbildung die
Werfener Schichten in manchen Bereichen der Nördli-
chen Kalkalpen (besonders die höheren Anteile)
den südalpinen Werfener Schichten wesentlich ähnli-
cher sind als jene des Kärntner Raumes (vgl. BARTH,
1968; MOSTLER & ROSSNER, 1977, 1984).

5.5. Mikrofossilführung der Werfener Schichten

Mikrofossilien aus den nordalpinen Werfener Schichten
Kärntens waren bisher nicht bekannt. Die im folgen-
den aufgelisteten Mikrofossilien konnten erstmals aus
den untersuchten Profilen nachgewiesen werden.

Foraminiferen und Spirorben hat freundlicher-
weise Herr Univ.-Doz. Dr. W. RESCH, Conodonten
und Fischreste Herr Univ.-Prof. Dr. H. MOSTLER
bestimmt.

Kranzwandgraben

Aus den Werfener Schichten im Kranzwandgraben
konnten folgende Mikrofossilien bestimmt werden:

Foraminiferen:

- Ammodiscus* sp.
- Arenoturrspirillina* sp.
- Glomospira* sp.
- Glomospirella* sp.
- Cornuspira* aff. *mahajeri* (BRÖNNIMANN, ZANI-
NETTI & BOZORGNIA)
- Cornuspira* sp.
- Meandrospira pusilla* (HO)

Spirorben:

- Spirorbis* cf. *phlyctaene* (BRÖNNIMANN & ZANI-
NETTI)

Conodonten:

- Hadrodontina anceps*
- Ellisonia* sp.

Fischreste:

- Saurichtys acuminatus*
- Saurichtys apicalis* (vorherrschend)
- Saurichtys* n.sp. (DONOFRIO & MOSTLER, in
Bearbeitung)
- Knochenbruchstücke

Ulrichsberg

Foraminiferen:

- Meandrospira pusilla* (HO)

Echinodermenreste (Crinoiden)

St. Pauler Berge

Foraminiferen:

- ? *Ammodiscus*
- Glomospira* sp.
- Glomospirella triphonensis* BAUD, ZANINETTI &
BRÖNNIMANN

Ostracoden

Echinodermenreste (Crinoiden-, Ophiurenreste)

Karawanken

Foraminiferen (Waidisch):

- Glomospirella shengi* HO
- Meandrospira pusilla* (HO)

Echinodermenreste (Crinoiden)

5.6. Makrofossilführung der nordalpinen Werfener Schichten Kärntens

1) Gailtaler Alpen

Erste Makrofossilfunde gehen auf GEYER (1897, 1901,
1902) zurück, der Fund von *Myacites fassaensis*
WISSMANN oberhalb von Laas bei Kötschach war aus-
schlaggebend für die richtige Einstufung dieser Serie.
SCHLAGER (1963) fand neben *Anodontophora fassaen-*
sis WISSMANN noch *Myophoria costata* ZENKER.
COLINS & NACHTMANN (1974) beschreiben aus den
Werfener Schichten der Dobratsch-Südseite das Auf-
treten von Myophorien- und *Myacites*-Arten, jedoch
ohne nähere Angaben.

Im Zuge der eigenen Untersuchungen konnte im Kranzwandgraben eine Reihe von Muscheln (u.a. *Costatoria costata* (ZENKER)) gefunden werden.

2) Ulrichsberg

Aus den Werfener Schichten Kärntens liegt von hier die bisher reichhaltigste Makrofossilfauna und Flora vor, die bereits von ZAPFE (1958) ausführlich beschrieben wurde. Auch im Zuge der eigenen Untersuchungen konnte ein recht reichhaltiges Fossilmaterial aufgesammelt werden, woraus Herr Univ.-Doz.

Dr. W. RESCH folgende Exemplare bestimmen konnte:

Natiria costata (MÜNSTER)

**Modiolus* sp. (mehrere Ex.)

cf. *Hoernesia* (mehrere Ex.)

*? *Cassianella*

Eumorphotis ? *inaequicostata* BENECKE

Eumorphotis venetiana (HAUER)

Eumorphotis sp. (1 x juvenil, 2 x radial berippt, insg. mehrere Ex.)

? *Unionites fassaensis* (WISSMANN)

**Costatoria costata* (ZENKER) (3 Ex.)

**Neoschizodus* cf. *laevigatus* (GOLDFUSS) (2 Ex.)

Myophoriidae indet. (mit wenig Rippen)

(* bisher nicht bekannt)

Weiters wurden gefunden: (? längs) berippte Gastropoden, Gastropoden-Querschnitt, verschiedene weitere Muschelabdrücke, u.a. fein berippt, *Dinarites* sp., häufig Grabgänge, viele inkohlte Pflanzenreste, v.a. Blätter (mit Mittelnerv?), auch Stammreste (Steinkerne) mit spiralen Blattnarben wurden gefunden.

Der Vollständigkeit halber seien auch die von ZAPFE (1958) bestimmten Makrofossilien aufgelistet:

Bivalvia:

Gervilleia meneghinii TOMMASI

Gervilleia cf. *polyodonta* STROMB.

Gervilleia sp. indet.

Anodontophora sp. indet.

Anodontophora fassaensis WISSM.

Pseudomonotis (Eumorphotis) venetiana (HAUER)

Pseudomonotis (Eumorphotis) cf. venetiana

(HAUER)

Pseudomonotis (Eumorphotis) cf. inaequicostata

BEN.

Pseudomonotis sp. indet.

Pseudomonotis (Eumorphotis) telleri BITTN.

Pseudomonotis (Eumorphotis) cf. telleri BITTN.

Pseudomonotis sp. indet.

Gastropoda:

Naticella costata MÜNSTER

Naticella cf. *subtilistriata* FRECH

Turbo rectecostatus HAUER

Coelostylina werfensis WITTENB.

Cephalopoda:

Dinarites mucianus (HAUER)

Dinarites laevis TOMMASI

Dinarites cf. *dalmatinus* (HAUER)

Dinarites ex aff. *tirolitoidis* KITTL

Dinarites sp.

cf. *Tirolites (Hololobus) monoptychus*? KITTL

Plantae:

Stammstücke von Lycopodiaceen (cf. *Knorria* sp. oder *Pleuromeia* sp.)

Voltzia sp. indet.

Pflanzenreste indet.

3) Aus dem Raum Christophberg (Steinbruchkogel) konnte RIEHL-HERWIRSCH (1965) *Pseudomonotis (Eumorphotis) venetiana* (HAUER) und *Gervilleia* sp. nachweisen.

4) Aus den St. Pauler und Griffener Bergen sind Makrofossilien seit den Untersuchungen von HÖFER (1894) bekannt, er konnte *Myophoria ovata* GOLDFUSS (bei Sternitz), *Avicula venetiana* HAUER (oberhalb Eis) nachweisen, was ihn dazu veranlaßte, den dazugehörigen Schichtkomplex als Campiller Schichten einzustufen.

BECK-MANNAGETTA (1955) beschreibt aus den Werfener Schichten bei Rottensteiner (E Kasparstein) *Myophoria costata* ZENKER, *Pseudomonotis (Eumorphotis) venetiana* (HAUER), *Pseudomonotis (Eumorphotis) inaequicostata* BENECKE und *Gervilleia* sp. sowie Pflanzenreste von ?? *Equisetites* (nördlich Stuber).

SEELMEIER (1961) erwähnt ohne Fundangabe aus grauen Werfener Sandsteinen *Pseudomonotis (Eumorphotis) cf. telleri* BITTNER, *Myophoria*, *Naticella costata* MÜNSTER (nicht WISSMANN!).

CHAIR & THIEDIG (1973) und THIEDIG et al. (1974) konnten unmittelbar westlich von Rottensteiner in einem Hohlweg eine interessante Ammonitenfauna mit *Dinarites laevis* TOMMASI, *Dinarites muchianus* (HAUER), *Dinarites dalmatinus* (HAUER) und *Tirolites* sp., sowie *Natiria costata* (MÜNSTER), *Pseudomonotis* (*Eumorphotis*) sp., *Gervilleia* sp. und Pflanzenreste von *Calamites* und *Pleuromeia* (?) beschrieben.

Aus demselben Bereich (Rottensteiner) konnten im Zuge der eigenen Aufnahmen ebenfalls einige Fossilien aufgesammelt und daraus folgende Arten bestimmt werden (det. W. RESCH):

- ? *Natiria costata* (MÜNSTER)
- **Modiolus* (oder *Hoernesia*)
Eumorphotis sp.
- *? *Unionites fassaensis* (WISSMANN)
Costatoria costata (ZENKER) (sehr häufig)
Neoschizodus laevigatus (GOLDFUSS)
- ? *Hoernesia*
(* bisher nicht bekannt)

Ferner wurden glatte, längliche Muscheln und andere Bivalven, spätige Crinoidenreste, Fischschuppen, Grabgänge und andere Lebensspuren gefunden.

5) Aus den nordalpinen Werfener Schichten der Karawanken hat bereits TELLER (1898) folgende Arten bekanntgemacht:

- Pseudomonotis clarai* (EMMRICH)
- Naticella costata* MÜNSTER
- Avicula venetiana* HAUER
- Myophoria costata* ZENKER

Pseudomonotis clarai (EMMRICH), heute *Claraia clarai*, reicht im südalpiner Skyth nicht über das Seis-Member hinaus (BROGLIO-LORIGA et al., 1983, vgl. auch GHETTI & NERI, 1983). Bei der von TELLER (1898) angegebenen *Pseudomonotis clarai* handelt es sich vermutlich um eine Fehlbestimmung (evtl. *Eumorphotis*), oder dieser Fund stammt nicht aus den Werfener Schichten heutiger Auffassung, die erst mit dem Val-Badia-Member einsetzen, sondern aus dem marinen Alpenen Buntsandstein, aus dem Muschelabdrücke ebenfalls bekannt sind.

Aus Koprein-Petzen, östlich von Eisenkappel (südl. Wirtshaus "Riepl") konnten in den Werfener Schichten mehrere Exemplare von ?*Unionites fassaensis* (WISSMANN) und ?*Neoschizodus laevigatus* (GOLDFUSS) gefunden werden.

Dank




















Folgenden Personen danke ich sehr herzlich für zahlreiche Diskussionsbeiträge und Hinweise: Univ.-Prof. Dr. H. Mostler, Univ.-Doz. Dr. W. Resch, Univ.-Doz. Dr. R. Brandner, Dr. D.A. Donofrio, Dr. V. Stingl, G. Poscher und M. Riml, alle vom Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Innsbruck.

Herrn Univ.-Prof. Dr. H. Mostler und besonders Herrn Univ.-Doz. Dr. W. Resch danke ich außerdem für die Bestimmung des Fossilmaterials.

Herrn Dr. R. Tessadri gebührt ein herzliches Dankeschön für die Durchführung der Mikrosondenanalysen.

Die Arbeit wurde finanziert durch den Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung in Österreich, Projekt Nr. 4453.

Legende zu den Beilagen 1-5

-  Kalk
-  Dolomit
-  sandiger Kalk
-  Rauhwanke
-  Lumachelle (MF VIII)
-  Crinoidenschuttlagen (MF VI)
-  Tonschiefer-Siltsteine (MF I)
-  Sandst. (i.d. Werfener Sch. MF II, IV, V)
-  schräggeschichtete Sandsteine, vereinzelt Kiesgerölle
-  aufgearbeitete Tonschieferflatschen (in Rinnen)
-  Konglomerate
-  Rippeln
-  Trockenrisse
-  Makrofossilien (meist Muscheln)
-  Crinoidenreste
-  Foraminiferen
-  *Diplocraterion*
-  *Rhizocorallium*
-  Pflanzenreste

LITERATUR

- AIGNER, T. (1979): Schill-Tempestite im Oberen Muschelkalk (Trias, SW-Deutschland). - N. Jb. Geol. Paläont. Abh. 157, 326-343, Stuttgart.
- AMEROM, H.W.J. van, BOERSMA, M. & NIEDERMAYR, G. (1976 a): Notes on the sedimentology and paleobotany of the Werfener Schichten in the western Gailtaler Alps near Kötschach (Carinthia, Austria). - Geol. en Mijnbouw 55, 218-226, Amsterdam.
- AMEROM, H.W.J. van, BOERSMA, M. & NIEDERMAYR, G. (1976 b): Bericht über erste Pflanzenfunde aus der Trias-Basis der westlichen Gailtaler Alpen bei Kötschach (Kärnten, Österreich). - Carinthia II, 166/86, 103-112, Klagenfurt.
- AMEROM, H.W.J. van, ANGERER, H. & MOSTLER, H. (1982): Über eine Autuno-Stephanische Flora aus den Kristbergschichten im Montafon, Vorarlberg (Österreich). - Jb. Geol. B.-A. 124/2, 283-323, Wien.
- AMPFERER, O. (1930): Über den Südrand der Lechtaler Alpen zwischen Arlberg und Ötztal. - Jb. Geol. B.-A. 80/3-4, 407-451, Wien.
- AMPFERER, O. (1932): Erläuterungen zu den geologischen Karten der Lechtaler Alpen. - Geol. B.-A., 125 S., Wien.
- ANGER, H. (1964): Geologie der Gailtaler Alpen zwischen Gailbergsattel und Jauken. - Unveröff. Diss. Univ. Innsbruck, 97 S.
- ANGERER, H. (1978): Postvariszische Sedimente im Montafon (Vorarlberg). - Unveröff. Diss. Univ. Innsbruck, 152 S.
- ANGERER, H., HADITSCH, J.G., LEICHTFRIED, W. & MOSTLER, H. (1976): Disseminierte Kupfererze im Perm des Montafon (Vorarlberg). - Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck, 6, 7/8, 1-57, Innsbruck.
- ASSERETO, R., BOSELLINI, A., FANTINI-SESTINI, N. & SWEET, W.C. (1973): The Permian-Triassic boundary in the Southern Alps (Italy). - Memoir Canad. Soc. Petroleum Geol. 2, 176-199, Calgary/Alberta.
- BARNES, J.J. & KLEIN G. de V. (1975): Tidal deposits in the Zabriskie Quartzite (Cambrian), eastern California and western Nevada. - In: GINSBURG, R.N. (ed.): Tidal deposits. - Springer, New York, 163-169.
- BARNICK, H. (1962): Tektonite aus dem Verband der permotriadischen Basisschichten der mesozoischen Auflagerung auf der Nördlichen Grauwackenzone. - Verh. Geol. B.A. 1962/2, 295-316, Wien.
- BARTH, W. (1968): Die Geologie der Hochkalter-Gruppe in den Berchtesgadener Alpen (Nördliche Kalkalpen). - N. Jb. Geol. Paläont. Abh. 131/2, 119-177, Stuttgart.
- BASKIN, Y. (1956): A study of authigenic feldspars. - Journ. Geol. 64, 132-155, Chicago.
- BAUER, F.K. (1970): Zur Fazies und Tektonik des Nordstammes der Ostkarawanken von der Petzen bis zum Obir. - Jb. Geol. B.-A. 113, 189-246, Wien.
- BECK-MANNAGETTA, P. (1953), mit Beiträgen von ZAPFE, H.: Zur Kenntnis der Trias der Griffener Berge. - In: KÜPPER, H. (Hrsg.): Skizzen zum Antlitz der Erde. Geologische Arbeiten, herausgegeben aus Anlaß des 70. Geburtstages von Prof. Dr. L. KOBER, Universität Wien (Kober-Festschrift), 131-147, Hollinek, Wien.
- BECK-MANNAGETTA, P. (1955): Der Bau der östlichen St. Pauler Berge. - Jb. Geol. B.-A. 98, 67-92, Wien.
- BECK-MANNAGETTA, P. (1963): Die geologischen Verhältnisse des Salzburger Waldes SW St. Andrä i.L. (Kärnten). - Verh. Geol. B.-A. 1963, 109-127, Wien.
- BEMMELEN, R. van (1957): Beitrag zur Geologie der westlichen Gailtaler Alpen (Kärnten, Österreich). Erster Teil. - Jb. Geol. B.-A. 100, 179-212, Wien.
- BEMMELEN, R. van (1961): Beitrag zur Geologie der Gailtaler Alpen (Kärnten, Österreich). Zweiter Teil. - Jb. Geol. B.-A. 104, 213-237, Wien.
- BLATT, H. (1967): Original characteristics of clastic quartz grains. - Journ. Sed. Petrol. 37, 401-424.
- BLATT, H. (1982): Sedimentary Petrology. - Freeman, San Francisco, 564 S.
- BRANDNER, R., DONOFRIO, D.A., KRÄINER, K., MOSTLER, H., RESCH, W. & STINGL, V. (1984): Correlation of transgressional and regressional events in the Lower Triassic of the Northern and Southern Alps (Buntsandstein-, Servino-, Werfen-Formation). - 5th European regional meeting of sedimentology (IAS), Marseille, April 1984, poster presentation, abstract (2 S.).
- BRENCHLEY, P.J. (1969): Origin of matrix in Ordovician greywackes, Berwyn Hills, North Wales. - Journ. Sed. Petrol. 39, 1297-1301, Menasha.
- BROGLIO LORIGA, C., MASETTI, D. & NERI, C. (1983): La Formazione di Werfen (Scilico) delle Dolomiti occidentali: sedimentologia e biostratigrafia. - Riv. Ital. Paleont. 88, 4, 501-598, Mailand.
- BUGGISCH, W. (1978): Die Grödener Schichten (Perm, Südalpen). - Sedimentologische und geochemische Untersuchungen zur Unterscheidung mariner und kontinentaler Sedimente. - Geol. Rdsch. 67, 149-180, Stuttgart.
- BUGGISCH, W., FLÜGEL, E., LEITZ, F. & TIETZ, G.-F. (1976): Die fazielle und paläogeographische Entwicklung im Perm der Karnischen Alpen und in den Randgebieten. - Geol. Rdsch. 65, 649-690, Stuttgart.
- CANT, D.J. (1978): Development of a facies model for sandy braided river sedimentation: comparison of the South Saskatchewan River and the Battery Point Formation. - In: MIALI, A.D. (ed.): Fluvial Sedimentology. - Canad. Soc. Petrol. Geol., Mem. 5, 627-639, Calgary, Alberta.
- CANT, D.J. & WALKER, R.G. (1976): Development of a braided-fluvial facies model for the Devonian Battery Point Sandstone, Quebec. - Can. J. Earth. Sci. 13, 102-119.
- CATHREIN, A. (1886): Zur Gliederung des rothen Sandsteines in Nordosttirol. - Verh. Geol. R.-A. 1886/13, 307-311, Wien.
- CHAIR, M. & THIEDIG, F. (1973): Ein bedeutsamer Ammonitenfund in den Werfener Schichten (Skyth) der St. Pauler Berge in Ostkärnten (Österreich). - Der Karinthin 69, 60-63, Klagenfurt.
- COLINS, E. & NACHTMANN, W. (1974): Die permotriadische Schichtfolge der Villacher Alpe (Dobratsch), Kärnten. - Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck 4, 2, 1-43, Innsbruck.
- COMPTON, R.R. (1962): Manual of field geology. - John Wiley, New York, 378 S.

- CUMMINS, W.A. (1960): The graywacke problem. - Liverpool Manchester Geol. J. 3, 51-72, Liverpool.
- DICKINSON, W.R. (1970): Interpreting detrital modes of graywacke and arcose. - Journ. Sed. Petrol. 40, 695-707, Menasha.
- DOTT, R.H. (1964): Wacke, graywacke and matrix - what approach to immature sandstone classification? Journ. Sed. Petrol. 34, 625-632, Menasha.
- EISBACHER, G. (1963): Sedimentpetrographische Untersuchungen am alpinen Buntsandstein im Raume Innsbruck-Saalfelden. - Unveröff. Diss. Univ. Innsbruck, 85 S.
- EXNER, Ch. (1974): Granitgerölle im Permo-Skyth-Sandstein des Drauzuges bei Stockenboi (Kärnten). - Verh. Geol. B.-A. 1974/1, 131-137, Wien.
- FOLK, R.L. (1968): Bimodal supermature sandstones: product of the desert floor. - XXIII. International Geological Congress, vol. 8, 9-32.
- FOLK, R.L. (1971): Longitudinal dunes of the north-western edge of the Simpson Desert, Northern Territory, Australia, 1. geomorphology and grain size relationships. - Sedimentology 16, 5-54, Amsterdam.
- FOLK, R.L. (1974): Petrology of sedimentary rocks. - Hemphill, Austin/Texas, 182 S.
- FRIEDMAN, G.M. & SANDERS, J.E. (1978): Principles of sedimentology. - John Wiley, New York, 792 S.
- FRITSCH, W. (1961): Eine Transgression von Grödener Schichten in der Latschurgruppe Kärntens. - Carinthia II, 151/71, 52-57, Klagenfurt.
- FÜCHTBAUER, H. (1967): Der Einfluß des Ablagerungsmilieus auf die Sandsteindiagenese im mittleren Buntsandstein. - Sed. Geol. 1, 159-179, Amsterdam.
- FÜCHTBAUER, H. & MÜLLER, G. (1977): Sedimente und Sedimentgesteine (Sediment-Petrologie, Teil II). - Schweizerbart, Stuttgart (3. Aufl.), 784 S.
- GEYER, G. (1897): Zur Stratigraphie der Gailthaler Alpen in Kärnten. - Verh. k.k. Geol. R.-A. 1897/5, 114-127, Wien.
- GEYER, G. (1899): Über die geologischen Aufnahmen im Westabschnitt der Karnischen Alpen. - Verh. k.k. Geol. R.-A. 1899/3, 89-116, Wien.
- GEYER, G. (1901): Erläuterungen zur Geologischen Karte Oberdrauburg-Mauthen. - Verlag der k.k. Geol. R.-A. Wien, 85 S.
- GEYER, G. (1903): Zur Geologie der Lienzer Dolomiten. - Verh. k.k. Geol. R.-A. 1903/9, 165-195, Wien.
- GHETTI, S. & NERI, C. (1983): La Formazione di Werfen (Trias inferiore) della Valsugana (Trento). - Studi Trentini di Scienze Naturali 60, Acta Geologica, 135-164, Trento.
- GÜMBEL, C.W. (1861): Geognostische Beschreibung des bayerischen Alpengebirges und seines Vorlandes. - Verlag Justus Perthes, Gotha, 950 S.
- HADITSCH, J.G., LEICHTFRIED, W. & MOSTLER, H. (1978): Intraskythische, exogen (mechanisch-)sedimentäre Cu-Vererzung im Montafon (Vorarlberg). - Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck 8 (Festschrift W. Heißel), 183-207, Innsbruck.
- HAMMER, W. (1918): Die Phyllitzone von Landeck (Tirol). - Jb. k.k. Geol. R.-A. 78, 205-258, Wien.
- HAMMER, W. (1920): Die Erzführung des Verrucano in Westtirol. - Verh. Geol. Staatsanst. 1920/4, 77-88, Wien.
- HAUER, F., Ritter von (1853): Über die Gliederung der Trias-, Lias- und Juragebilde in den nord-östlichen Alpen. - Jb. k.k. Geol. R.-A. 1853, 715-784, Wien.
- HEIM, D. (1976): Über die Feldspäte im Germanischen Buntsandstein, ihre Korngrößenabhängigkeit, Verbreitung und paläogeographische Bedeutung. - Geol. Rdsch. 65, 943-970, Stuttgart.
- HEINISCH, H. & SCHMIDT, K. (1982): Zur Genese der Augengneise der Ostalpen. - N. Jb. Geol. Paläont. Mh. 1982, 4, 211-239, Stuttgart.
- HEINISCH, H., SCHMIDT, K. & SCHUH, H. (1984): Zur geologischen Geschichte des Gailtalkristallins im unteren Lesachtal westlich von Kötschach-Mauthen (Kärnten/Osterreich). - Jb. Geol. B.-A. 126/4, 477-486, Wien.
- HEISSEL, W. (1972): Permoskythische Ablagerungen im Tiroler Raum. - Verh. Geol. B.-A. 1972, 163-165, Wien.
- HÖFER, H. (1894): Die geologischen Verhältnisse der St. Pauler Berge in Kärnten. - Sitzber. Akad. Wiss. Wien, math.-naturw. Kl., Abt. I, 467-487, Wien.
- HOUTEN, F.B. van (1968): Iron oxides in red beds. - Geol. Soc. Am. Bull. 79, 399-416.
- KAHLER, F. & WOLSEGGGER, H. (1934): Zur Geologie des Gebietes nördlich von Klagenfurt. - Carinthia II, 123-124/43-44, 1-33, Klagenfurt.
- KAISER, J. (1971): Beitrag zur Geologie des Raumes um den Ulrichsberg NNW Klagenfurt (Kärnten). - Unveröff. Diss. Phil. Fak. Univ. Wien, 155 S.
- KASTNER, M. (1971): Authigenic feldspars in carbonate rocks. - Am. Mineral. 56, 1403-1422, Washington.
- KASTNER, M. & SIEVER, R. (1979): Low temperature feldspars in sedimentary rocks. - Am. Journ. Sci. 279, 435-479.
- KLEIN, G. de V. (1970): Tidal origin of a Precambrian quartzite - the lower fine-grained quartzite (Middle Dalradian) of Islay, Scotland. - Journ. Sed. Petrol. 40, 973-985, Menasha.
- KLEIN, G. de V. (1975): Paleotidal range sequences, Middle Member, Wood Canyon Formation (Late Precambrian), eastern California and western Nevada. - In: GINSBURG, R.N. (ed.): Tidal Deposits. - Springer, New York, 171-177.
- KLEIN, G. de V. (1977): Tidal circulation model for deposition of clastic sediment in epeiric and mioclinical shelf seas. - Sed. Geol. 18, 1-12, Amsterdam.
- KRAINER, K. (1981): Zur Sedimentologie und Vererzung des Permoskyths im Stanzer Tal/Arlberg (Westtirol) unter besonderer Berücksichtigung der Hangendquarzite. - Unveröff. Diss. Univ. Innsbruck, 106 S.
- KRAINER, K. (1982): Zur Sedimentologie und Vererzung der "Hangendquarzite" im Stanzer Tal/Arlberggebiet (Tirol). - Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck 12, 4, 81-94, Innsbruck.
- KRYNINE, P.D. (1946): The tourmaline group in sediments. - Journ. Geol. 54, 2, 65-87, Chicago.
- KUEHN, O. (1962) (Hrsg.): Lexique stratigraphique internationale, 1, Europe; fasc. 8, Autriche, Paris (CNRS), 646 S.
- LEICHTFRIED, W. (1978): Feinstratigraphische Untersuchungen im Permoskyth des Montafon (Vorarlberg). - Unveröff. Diss. Univ. Innsbruck, 161 S.

- LILL v. LILIENBACH, A. (1830): Ein Durchschnitt aus den Alpen mit Hindeutungen auf die Karpathen. Jb. f. Mineralogie, Geognosie, Geologie u. Petrefaktenkunde, 1. Jg., 151-220, Verlag Georg Reichard, Heidelberg.
- McKEE, E.D., CROSBY, E.J. & BERRYHILL; H.L. (1967): Flood deposits, Bijou Creek, Colorado. - Journ. Sed. Petrol. 37, 829-851, Menasha.
- MIALL, A.D. (1977): A review of the braided river depositional environment. - Earth Sci. Rev. 13, 1-62, Amsterdam.
- MIALL, A.D. (1978): Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits: a summary. - In: MIALL, A.D. (Ed.): Fluvial Sedimentology. - Canad. Soc. Petrol. Geol., Mem. 5, 597-604, Calgary/Alberta.
- MIALL, A.D. (1981): Analysis of fluvial depositional systems. - Am. Ass. Petr. Geol., Education Course Note Series 20, 75 S., Tulsa, Oklahoma.
- MOSTLER, H. (1972 a): Die permoskythische Transgressions-Serie der Gailtaler Alpen. - Verh. Geol. B.-A. 1972, 143-149, Wien.
- MOSTLER, H. (1972 b): Zur Gliederung der Permoskyth-Schichtfolge im Raume zwischen Wörgl und Hochfilzen (Tirol). - Verh. Geol. B.-A. 1972, 155-162.
- MOSTLER, H. (1972 c): Postvariszische Sedimente im Montafon (Vorarlberg). - Verh. Geol. B.-A. 1972, 171-174, Wien.
- MOSTLER, H. (1982): Erzlagerstätten in der postvariszischen Transgressionsserie im Arlberggebiet. - Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A. 2, 131-136, Wien.
- MOSTLER; H. & ROSSNER, R. (1977): Stratigraphisch-fazielle und tektonische Betrachtungen zu Aufschlüssen in skyth-anischen Grenzschiechten im Bereich der Annaberger Senke (Salzburg, Österreich). - Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck 6, 2, 1-44, Innsbruck.
- MOSTLER, H. & ROSSNER, R. (1984): Mikrofazies und Palökologie der höheren Werfener Schichten (Untertrias) der Nördlichen Kalkalpen. - FACIES 10, 87-144, Erlangen.
- NIEDERMAYR, G. (1975): Gedanken zur lithofaziellen Gliederung der postvariszischen Transgressionsserie der westlichen Gailtaler Alpen, Österreich. - Mitt. Geol. Ges. Wien 66/67, 1973/1974, 105-126, Wien.
- NIEDERMAYR, G., SEEMANN, R. & SCHERIAU-NIEDERMAYR, E. (1978): Die Perm-Trias-Grenze im westlichen Drauzug, Kärnten-Osttirol. - Ann. Naturhist. Mus. Wien 81, 1-17, Wien.
- NIEDERMAYR, G., SCHERIAU-NIEDERMAYR, E. & BERAN, A. (1979): Diagenetisch gebildeter Magnesit und Dolomit in den Grödener Schichten des Dobratsch, Kärnten, Österreich. - Geol. Rdsch. 68, 979-995, Stuttgart.
- NIEDERMAYR, G., SCHERIAU-NIEDERMAYR, E. & SEEMANN, R. (1980): Magnesit in der Untertrias des westlichen Drauzuges, Kärnten, Osttirol. - Carinthia II, 170/90, 91-102, Klagenfurt.
- NIEDERMAYR, G., SCHERIAU-NIEDERMAYR, E., BERAN, A. & SEEMANN, R. (1981): Magnesit im Perm und Skyth der Ostalpen und seine petrogenetische Bedeutung. - Verh. Geol. B.-A. 1981/2, 109-131, Wien.
- NIEDERMAYR, G. & SCHERIAU-NIEDERMAYR, E. (1982): Zur Nomenklatur, Seriengliederung und Lithofazies der permo-skythischen Basisschichten des westlichen Drauzuges. - Verh. Geol. B.-A. 1982/2, 33-51, Wien.
- NIEDERMAYR, G., MULLIS, J., NIEDERMAYR, E. & SCHRAMM, J.M. (1984): Zur Anchimetamorphose permo-skythischer Sedimentgesteine im westlichen Drauzug, Kärnten-Osttirol (Österreich). - Geol. Rdsch. 73, 207-221, Stuttgart.
- ODOM, I.E. (1975): Feldspar-grain size relations in Cambrian arenites, upper Mississippi Valley. - Journ. Sed. Petrol. 45, 636-650, Menasha.
- ODOM, I.E., DOE, T.W. & DOTT, R.H. (1976): Nature of feldspar-grain-size relations in some quartz-rich sandstones. - Journ. Sed. petrol. 46, 862-870, Menasha.
- PETERS, K. (1854): Die salzburgischen Kalkalpen im Gebiet der Saale. - Jb. k.k. Geol. R.-A. 1854/1, 116-142, Wien.
- PETTIJOHN, F.J. (1975): Sedimentary rocks. - Harper & Row, New York, 628 S. (3rd edition).
- PETTIJOHN, F.J., POTTER, P.E. & SIEVER, R. (1972): Sand and sandstone. - Springer, New York, 618 S.
- PICHLER, A. (1856): Zur Geognosie der nordöstlichen Kalkalpen Tirols. - Verh. k.k. Geol. R.-A. 1856/4, 717-738, Wien.
- PITTMAN, E.D. (1969): Destruction of plagioclase twins by stream transport. - Journ. Sed. Petrol. 39, 1432-1437, Menasha.
- POTTER, P.E. (1978): Petrology and chemistry of modern big river sands. - Journ. Geol. 86, 423-449, Chicago.
- POWERS, M.C. (1953): A new roundness scale for sedimentary particles. - Journ. Sed. Petrol. 23, 117-119, Menasha.
- REINECK, H.E. (1972): Tidal flats. - In: RIGBY, J.K. & HAMBLIN, W.K. (eds): Recognition of ancient sedimentary environments. - Soc. Econ. Pal. Min., Spec. Publ. 16, 146-159.
- REINECK, H.E. & SINGH, I.B. (1980): Depositional sedimentary environments. - Springer, New York, 549 S (2nd ed.).
- RESCH, W. (1979): Zur Fazies-Abhängigkeit alpiner Trias-Foraminiferen. - Jb. Geol. B.-A. 122/1, 181-249, Wien.
- RIEHL-HERWIRSCH, G. (1965): Die postvariszische Transgressionsserie im Bergland östlich vom Magdalensberg (Umgebung des Christophberges, Kärnten-Österreich). - Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. 14/15, 1963/1964, 229-266, Wien.
- RIEHL-HERWIRSCH, G. (1966): Beitrag zur Geologie des Berglandes östlich vom Magdalensberg (Kärnten). - Unveröff. Diss. Phil. Fak. Univ. Wien, 255 S.
- RIEHL-HERWIRSCH, G. & WASCHER, W. (1972): Die postvariszische Transgressionsserie im Bergland vom Magdalensberg (Basis der Krappfeldtrias, Kärnten). - Verh. Geol. B.-A. 1972, 127-138, Wien.
- RUST, B.R. (1978): Depositional models for braided alluvium. - In: MIALL, A.D. (ed.): Fluvial sedimentology. - Canad. Soc. Petrol., Mem. 5, 605-625, Calgary/Alberta.

- SCHLAGER, W. (1963): Zur Geologie der östlichen Lienzer Dolomiten. - Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. 13, 1962, 41-120, Wien.
- SCHRAMM, J.M., GOSEN, W. von, SEEGER, M. & THIEDIG, F. (1982): Zur Metamorphose variszischer und postvariszischer Feinklastika in Mittel- und Ostkärnten (Österreich). - Mitt. Geol.-Paläont. Inst. Univ. Hamburg 53, 169-179, Hamburg.
- SEELMEIER, H. (1940): Geologische Beobachtungen in der Umgebung des Christophberges und St. Magdalensberges. - Z. dt. Geol. Ges. 92, 430-441, Berlin.
- SEELMEIER, H. (1961): Ein Beitrag zur Stratigraphie der St. Pauler Berge. - Anz. österr. Akad. Wiss., math.-naturw. Kl. 98, 1-7, Wien.
- STABLEIN, L.K. & DAPPLES, E.C. (1977): Feldspars of the Tunnel City Group (Cambrian), Western Wisconsin. - Journ. Sed. Petrol. 47, 1512-1538, Menasha.
- STINGL, V. (1981): Zur Sedimentologie und Vererzung des Permoskyths im Raum Arlberg unter besonderer Berücksichtigung des Alpinen Verrucano. - Unveröff. Diss., Univ. Innsbruck, 109 S.
- STINGL, V. (1982): Sedimentologie und Vererzung des Alpinen Verrucano im Stanzertal (Tirol). - Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck 12, 3, 71-80, Innsbruck.
- STINGL, V. (1983): Ein Beitrag zur Fazies der Prebichlschichten zwischen st. Johann i.T. und Leogang (Tirol/Salzburg). - Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck 12, 10, 207-233, Innsbruck.
- STINGL, V. (1984): Alpiner Buntsandstein und Werfener Schichten bei Leogang (Salzburg). - Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck, 14, 1, 1-19, Innsbruck.
- STREHL, E., NIEDERMAYR, G., SCHERIAU-NIEDERMAYR, E. & PAK, E. (1980): Die Gipsvorkommen an der Südseite des Dobratsch (Villacher Alpe), Kärnten. - Carinthia II 170/90, 77-89, Klagenfurt.
- TELLER, F. (1898): Erläuterungen zur Geologischen Karte Eisenkappel und Kanker. - Verlag der k.k. Geol. R.-A. Wien, 142 S.
- THIEDIG, F. & CHAIR, M. (1974): Ausbildung und Verbreitung des Perms in den St. Pauler und Griffener Bergen Ostkärntens (Österreich). - Carinthia II 164/84, 105-113, Klagenfurt.
- THIEDIG, F., CHAIR, M., DENSCH, P., KLUSSMANN, D. & SEEGER, M. (1975): Jungpaläozoikum und Trias in den St. Pauler und Griffener Bergen Ostkärntens - Österreich. - Verh. Geol. B.-A., 1974/2-3, 269-279, Wien.
- TOLLMANN, A. (1972): Alter und Stellung des Alpinen Verrucano in den Ostalpen. - Verh. Geol. B.-A. 1972, 83-95, Wien.
- TOLLMANN, A. (1976): Analyse des klassischen nordalpinen Mesozoikums. - F. Deuticke, Wien, 580 S.
- TOLLMANN, A. (1977): Geologie von Österreich, Bd. 1, Die Zentralalpen. - F. Deuticke, Wien, 766 S.
- TUNBRIDGE, I.P. (1981): Sandy high energy flood sedimentation - some criteria for recognition, with an example from the Devonian of S.W. England. - Sed. Geol. 28, 79-96, Amsterdam.
- TURNER, F.J. & GILBERT, Ch.M. (1982): Igneous rocks (part one). - In: WILLIAMS, H., TURNER, F.J. & GILBERT, Ch.M. (eds): Petrography. An introduction to the study of rocks in thin sections. - Freeman, San Francisco, 626 S. (2nd ed).
- TURNER, P. (1974): Origin of red beds in the Ringerike Group (Silurian) of Norway. - Sed. Geol. 12, 215-235, Amsterdam.
- VISHER, G.S. (1969): Grain size distributions and depositional processes. Journ. Sed. Petrol. 39, 1074-1106, Menasha.
- VISWANATHIAH, M.N. & GOVINDA RAO SINDHIA, M.R. (1968): Occurrence of authigenic feldspars in arcose sandstones of Kaladgi Formation, Badami, Mysore State, India. - Journ. Sed. Petrol. 38, 1344-1347, Menasha.
- VOLL, G. (1969): Klastische Mineralien aus Sedimentgesteinen der Schottischen Highlands und ihr Schicksal bei aufsteigender Regional- und Kontaktmetamorphose. - Habilitationsschrift TU Berlin.
- WALKER, T.R. (1967): Formation of red beds in modern and ancient deserts. - Geol. Soc. Am. Bull. 78, 353-368.
- WALKER, T.R. (1974): Formation of red beds in moist tropical climates: a hypothesis. - Geol. Soc. Am. Bull. 85, 633-638.
- WALKER, T.R. (1976): Diagenetic origin of red beds. - In: FALKE, H. (ed.): The Continental Permian in Central, West and South Europe. - Reidel, Dordrecht, 240-282.
- WARCH, A. (1973): Die Permotrias der nördlichen Gailtaler Alpen. - Unveröff. Diss. Univ. Innsbruck, 171 S.
- WARCH, A. (1979): Perm und Trias der nördlichen Gailtaler Alpen. - Carinthia II, Sh. 35, 111 S., Klagenfurt.
- WARREN, A. (1972): Observations on dunes and bimodal sands in the Tenere desert. - Sedimentology 19, 37-44, Amsterdam.
- WASCHER, W. (1969): Zur Geologie der Trias des Krappfeldes und ihrer Basis (Trias von Eberstein und Pölling). - Unveröff. Diss. Phil. Fak. Univ. Wien, 204 S.
- WHETTEN, J.T. & HAWKINS, J.W. (1970): Diagenetic origin of graywacke matrix minerals. - Sedimentology 15, 347-361, Amsterdam.
- WILLIAMS, P.F. & RUST, B.R. (1969): The sedimentology of a braided river. - Journ. Sed. Petrol. 39, 649-679, Menasha.
- WILSON, M.D. & PITTMAN, E.D. (1977): Authigenic clays in sandstones: recognition and influence on reservoir properties and paleoenvironmental analysis. - Journ. Sed. Petrol. 47, 3-31, Menasha.
- WOLTER, L., THIEDIG, F., PESCH, P., HALAMIC, J. & APPOLD, T. (1982): Geologie und Tektonik des Krappfeld-Mesozoikums (Ebersteiner Trias) in Kärnten/Österreich. - Mitt. Geol.-Paläont. Inst. Univ. Hamburg 53, 207-248, Hamburg.
- ZAPFE, H. (1958): Die Fauna der Werfener Schichten vom Ulrichsberg bei Klagenfurt in Kärnten. - Verh. Geol. B.-A. 1958, 155-164, Wien.

ERLÄUTERUNGEN ZU DEN TAFELN

TAFEL 1

Abb. 1:
Unreifer Grobsandstein (lithischer Arenit) ausschließlich aus Komponenten des unterlagernden Kristallins zusammengesetzt (metamorphe Gesteinsbruchstücke, poly- und monokristalliner Quarz, Feldspat). Unterrotliegend, Riedgraben. Probe AI 45, + N.

Abb. 2:
Reifer Sandstein (Sublitharenit), gut gerundet und sortiert, leicht gradiert, aus dem marinen unteren Alpinen Buntsandstein vom Riedgraben. Probe AI 54, // N.

Abb. 3:
Vulkanisches Gesteinsbruchstück (Einsprenglinge von hpts. Porphy Quarz und etwas Feldspat in dunkler, felsitischer Grundmasse) aus den intrapermischen Vulkaniten. Oberrotliegend, Riedgraben. Probe AI 51, // N.

Abb. 4:
"Vulkanische Chertkomponenten", durch starke Hämatitpigmentierung dunkel gefärbt, ebenfalls Aufarbeitungsprodukte des intrapermischen Vulkanismus. Basales Oberrotliegend, Riedgraben. Probe AI 49; // N.

Abb. 5:
Grobkörniger "vulkanoklastischer" Sandstein (lithischer Arenit) aus dem basalen Oberrotliegend im Riedgraben. Hoher Anteil an vulk. Gesteinsbruchstücken, vulk. Chertkomponenten (durch starke Hämatitpigmentierung dunkel gefärbt) und Porphy Quarzen. Probe AI 49, // N.

Balkenlänge bei allen Abbildungen 1 mm

TAFEL 2

Abb. 1:
Unreifer, schlecht sortierter und schlecht gerundeter Sandstein (lithischer Arenit) mit einem hohen Anteil an vulkanischen Aufarbeitungsprodukten und relativ viel Feldspat. Oberer Alpiner Buntsandstein, Riedgraben. Probe AI 12, + N.

Abb. 2:
Gerundetes, detritisches Feldspatkorn mit deutlich sichtbarem, authigenem Anwachssaum. Der Anwachssaum ist idiomorph weitergewachsen und hat dabei Quarzzement (auch als Anwachssaum) verdrängt (Pfeil). Oberer Alpiner Buntsandstein, Dobratsch-Südseite. Probe TU 1, + N (Detailaufnahme von Abb. 2, 3, auf Tafel 4).

Abb. 3:
Bimodaler, quarzreicher Sandstein (äolisch?), Feinfraktion angular-subangular, Grobfraktion gerundet-gut gerundet. Oberer Alpiner Buntsandstein, Dobratsch-Südseite. Probe TU 2, + N.

Abb. 4:
Als Vergleich zu Abb. 3 bimodaler, superreifer Quarzsandstein äolischer Entstehung. Nubischer Sandstein, Umm Bugma (Sinai, Ägypten), + N.

Abb. 5:
Lithischer Arenit, mäßig gut bis gut sortiert, subrounded bis teilweise rounded; deutlich besserer Reifegrad als im Alp. Buntsandstein vom Riedgraben (vgl. Abb. 1). Feldspäte (F) relativ frisch und mit deutlich sichtbaren Anwachssäumen (optisch anders

orientiert als der detritische Kern). Oberer Alpiner Buntsandstein (marin?) bei Rottensteiner, St. Pauler Berge, Probe Rot 2, + N.

Balkenlänge 1 mm, bei Abb. 2 0.1 mm

TAFEL 3

Abb. 1:
Bioturbate Sandsteinbank, dunkler gefärbte Grabgänge von *Diplocraterion*. Gezeitenfazies, Alp. Buntsandstein südlich Waidisch (Karawanken). Länge des Stiftes ca. 14 cm.

Abb. 2:
Bioturbate Sandsteinbank, dm-tiefe, senkrechte Grabgänge von *Diplocraterion*. Gezeitenfazies, Alp. Buntsandstein südlich Waidisch (Karawanken).

Abb. 3:
Rhizocorallium (Pfeile) in grünlichgrauen siltigen Ton-schiefern bis Siltsteinen. Gezeitenfazies, Alp. Buntsandstein südlich Waidisch (Karawanken). Hammer-spitze ca. 2 cm lang.

Abb. 4:
Nahezu symmetrisch ausgebildete Kleinrippeln mit gebogenem Kammverlauf. Gezeitenfazies, Alp. Buntsandstein, südlich Waidisch (Karawanken).

Abb. 5:
Schichtfläche mit nur mehr undeutlich erkennbaren Kleinrippeln und *Diplocraterion*. Gezeitenfazies, Alp. Buntsandstein südlich Waidisch (Karawanken). Länge des Stiftes ca. 13 cm.

Abb. 6:
Unregelmäßig bioturbate Sandsteinbank mit etwas Magnesitführung. Gezeitenfazies, Alp. Buntsandstein südlich Waidisch (Karawanken).

TAFEL 4

Abb. 1:
Reifer Sandstein (Sublitharenit), gut sortiert und gut gerundet, mit Gips als Zement. Gezeitenrinne, Alp. Buntsandstein südl. Waidisch (Karawanken). Probe WD 31, + N.

Abb. 2:
Arkose, gut gerundet und sortiert, gut ausgewaschen und zementiert: Quarz- und Feldspatanwachssäume sind deutlich sichtbar. Die Feldspäte (F) sind häufig zu Körnern mit rhombischer Umrißform weitergewachsen (vgl. auch Tafel 2, Abb. 2). Oberer Alpiner Buntsandstein (marin?), Dobratsch-Südseite, Probe TU 1, // N.

Abb. 3:
Gleicher Bildausschnitt wie Abb. 2, jedoch + N.

Abb. 4:
Zu idiomorphen Körnern mit rhombischer Umrißform weitergewachsene Feldspäte, dabei Quarz verdrängend (Pfeil). Arkose, basale Werfener Schichten, Ulrichsberg. Probe UB-W 8, + N.

Abb. 5:
Reifer Sandstein (Sublitharenit), gut gerundet und sortiert, Karbonatzement. Sandsteinbank mit Herringbone-Schrägschichtung (Gezeitenbereich), tiefere Werfener Schichten, südlich Waidisch (Karawanken). Probe WD 33, // N.

Abb. 6:
(cf.) *Cornuspira* (axial) aus stark karbonatführendem, feinkörnigem Sandstein. Werfener Schichten, St. Pauler Berge (bei Untermittlerdorf). Probe UM 26, // N. Die kalkige, nicht nachweislich agglutinierte Gehäusewand zeigt bei sehr starker Vergrößerung örtlich einsetzende Umkristallisation. Trotzdem hat die Gehäusewand große Ähnlichkeit mit bezüglich der Gehäuseform sicheren Ammodiscidae (*Hemidiscus* sp.) der gleichen Probe.

TAFEL 5

Abb. 1:
Feinkörnige Arkose, Feldspäte mit Anwachssäumen, häufig zu idiomorphen Körnern mit rhombischem Umriß weitergewachsen (Pfeil), dabei Quarz verdrängt. Basale Werfener Schichten, Ulrichsberg. Probe UB-W 8, + N.

Abb. 2:
Feinkörniger, stark karbonatführender Sandstein (MF IV) mit Foraminiferen (vgl. Tafel 4, Abb. 6, und Tafel 6, Abb. 1) und Crinoidenresten (C). Werfener Schichten, St. Pauler Berge (Untermittlerdorf). Probe UM 26, + N.

Abb. 3:
Unreifer Sandstein (lithischer Arenit-arkosischer Arenit), schlecht sortiert und gerundet, matrixreich. Werfener Schichten, Riedgraben. Probe AI 18, + N.

Abb. 4:
Klastisch beeinflusster Karbonatsiltit (MF V) mit eingestreuten Crinoidenresten und aufgearbeiteten, länglichen, mikritischen, häufig glaukonitisierten Intraklasten (dunkel). Werfener Schichten, Kranzwandgraben. Probe KW 6, // N.

Abb. 5:
Dünne, glimmerreiche Siltlage mit Convolute Bedding (Wickelschichtung). Helle, feinkörnige Sandsteinlage darunter wurde von der Wickelschichtung nicht erfaßt. Werfener Schichten, Kranzwandgraben. Probe KW 23, polierter Anschliff.

Abb. 6:
Feinkörnige Sandsteinbank mit nahezu symmetrisch gebauten Kleinrippeln und deutlich sichtbarer interner Schrägschichtung. Werfener Schichten, Kranzwandgraben. Probe KW 39, polierter Anschliff.

TAFEL 6

Abb. 1:
Stark karbonatführender Sandstein (MF IV) mit Foraminiferen (? *Cornuspira*, axial, siehe Taf. 4, Abb. 6). Werfener Schichten, St. Pauler Berge. Probe UM 26, // N, Balkenlänge 0.5 mm.

Abb. 2:
Lumachelle mit siltiger Grundmasse (MF VII). Werfener Schichten, Kranzwandgraben. Probe KW 1f, // N, Balkenlänge 1 mm.

Abb. 3:
Crinoidenschuttlage (MF VI), leicht gradiert, terrigen beeinflusst (Quarz, Glimmer). Werfener Schichten, Kranzwandgraben. Probe KW 7, // N, Balkenlänge = 1 mm.

Abb. 4:
Biogenführender Mikrit mit terrigenem Detritus (MF IX). Werfener Schichten südlich Waidisch. Probe WD 2X, // N, Balkenlänge = 1 mm.

Abb. 5:
Lumachelle (MF VII) mit Crinoidenresten und *Meandrospira pusilla* (HO). Werfener Schichten, Kranzwandgraben. Probe KW 1j, // N, Balkenlänge = 0.5 mm.

Abb. 6:
Leicht terrigen beeinflusster Biopelmikrit mit *Ammodiscus parapriscus* HO (versch. Schnittlagen) aus dem Grenzbereich Skyth/Anis im Riedgrabenprofil. Probe AI 24, // N, Balkenlänge = 0.8 mm.

TAFEL 7

Abb. 1:
Stark terrigen beeinflusster Biomikrit (MF VIII) mit Foraminiferen (*Glomospirella triphonensis*) und Crinoidenresten. Werfener Schichten, St. Pauler Berge (Rottensteiner). Probe Rot 9, // N, Balkenlänge = 0.5 mm.

Abb. 2:
Hemidiscus sp. in stark karbonatführendem Sandstein. Werfener Schichten, St. Pauler Berge. Probe UM 26, // N, Balkenlänge = 0.1 mm.

Abb. 3:
Leicht terrigen beeinflusster Karbonatsiltit (MF V) mit Foraminiferen und vereinzelt Crinoidenresten. Werfener Schichten, Kranzwandgraben. Probe KW 32, // N, Balkenlänge = 0.5 mm.

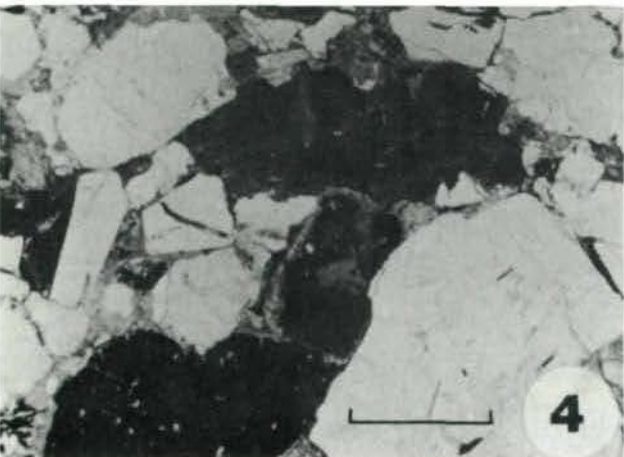
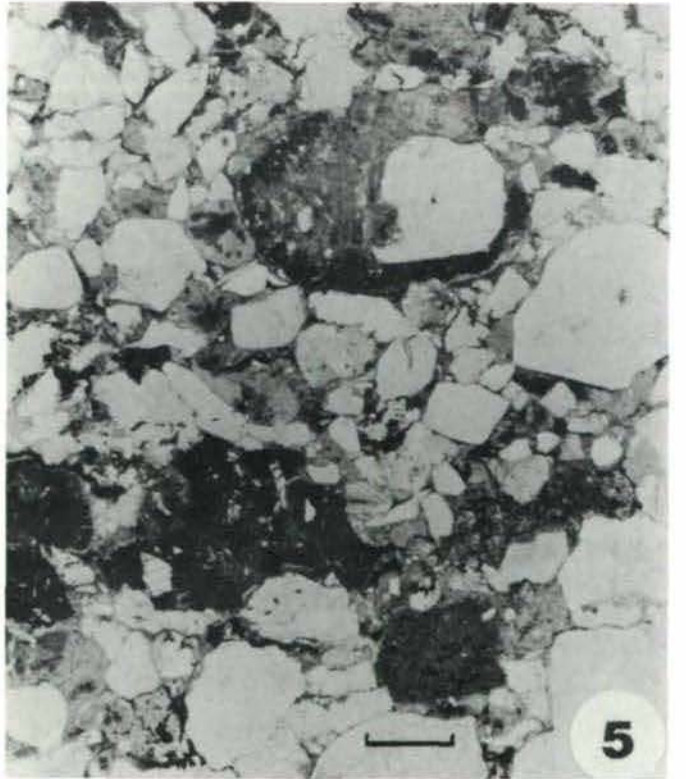
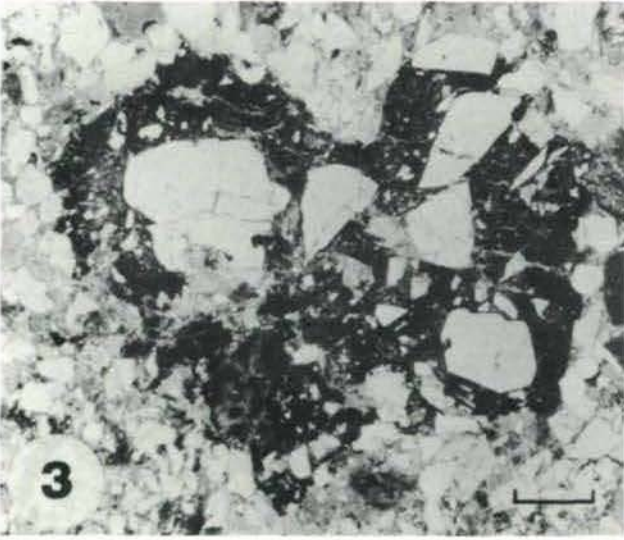
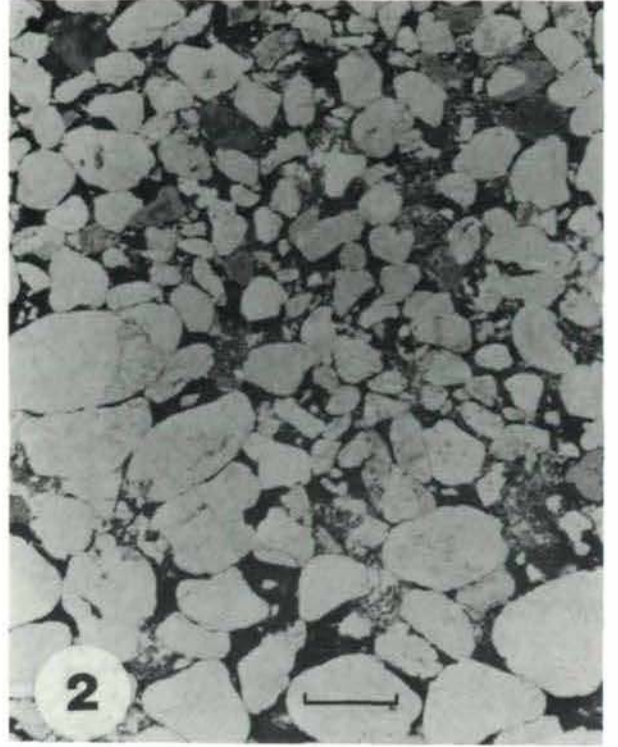
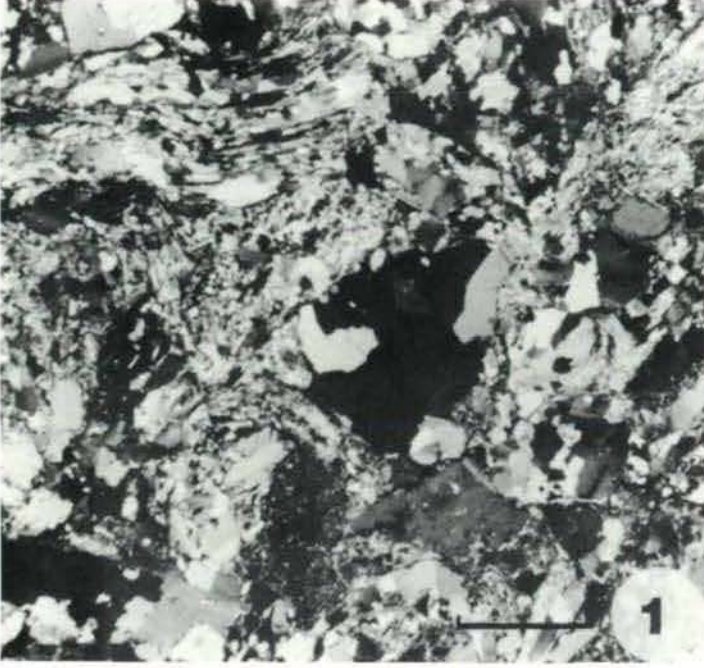
Abb. 4:
Meandrospira pusilla (HO) aus den Werfener Schichten südlich Waidisch. Probe WD 2X, // N, Balkenlänge = 0.1 mm.

Abb. 5:
Meandrospira pusilla (HO) (Subaxialschnitt) aus den Werfener Schichten im Kranzwandgraben. Probe KW 1h, // N, Balkenlänge = 0.1 mm.

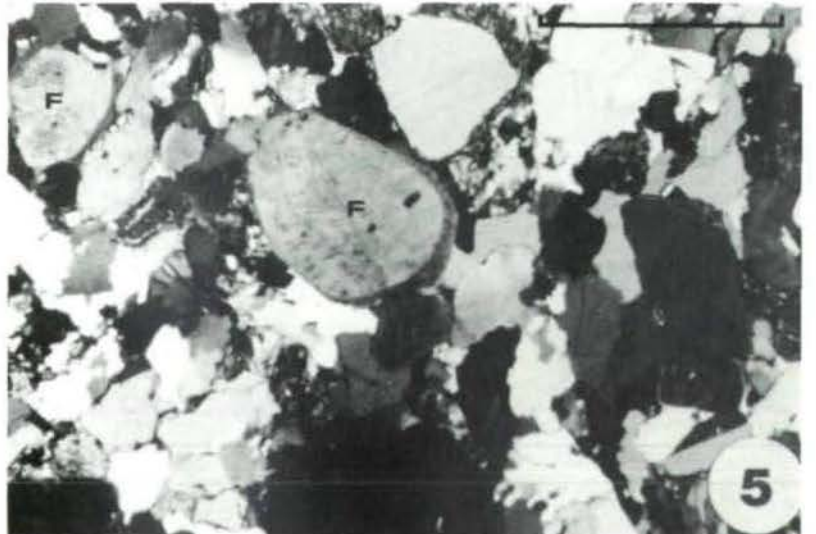
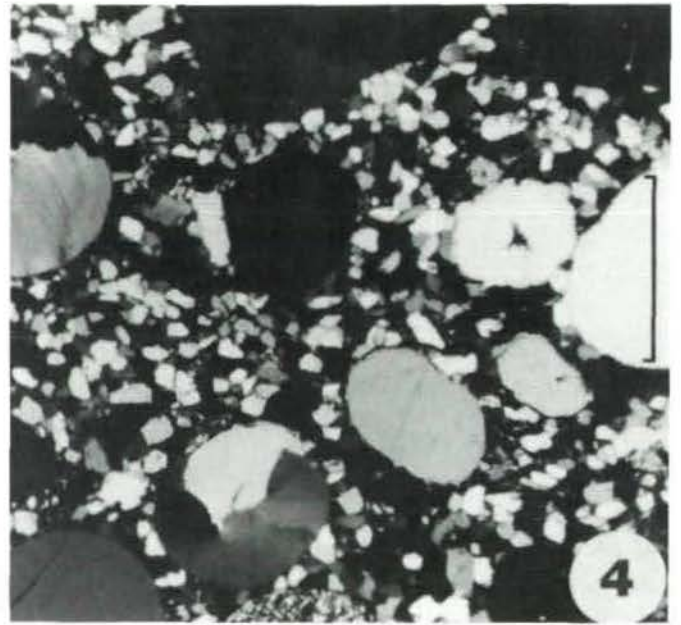
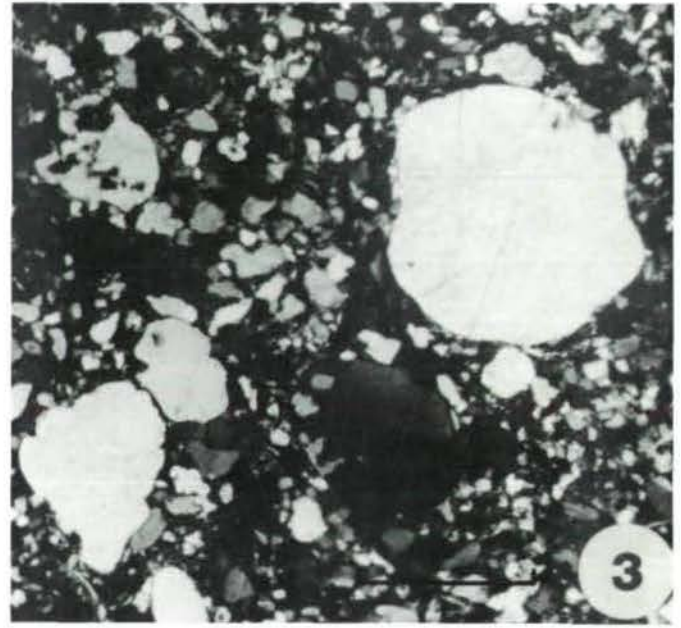
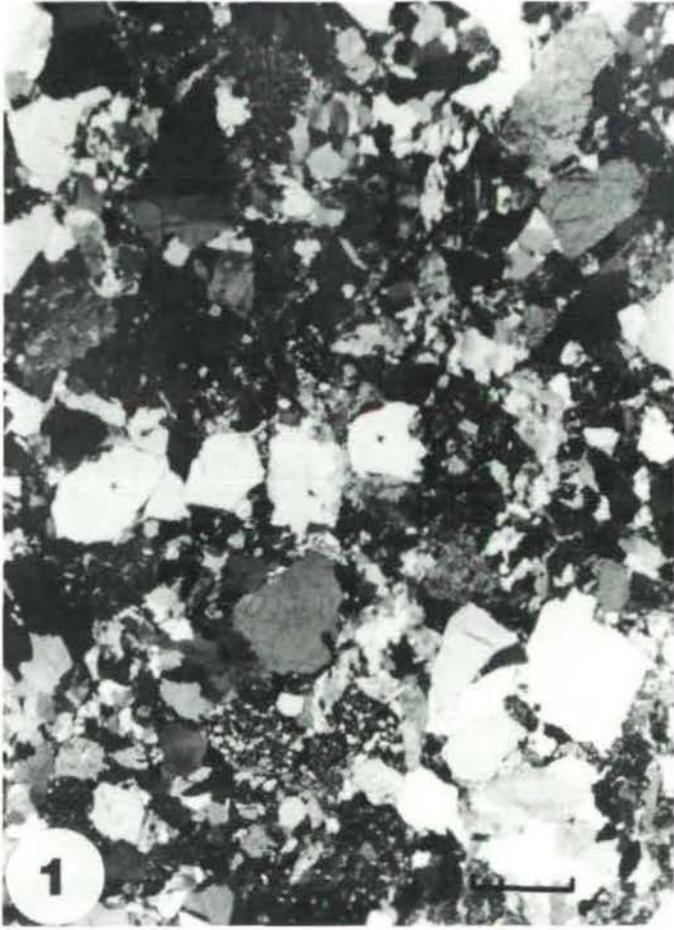
Abb. 6:
cf. *Cyclogyra*, Werfener Schichten, Kranzwandgraben. Probe KW 31, // N, Balkenlänge = 0.1 mm.

Dr. Karl Krainer, Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Innsbruck, Innrain 52, A-6020 Innsbruck

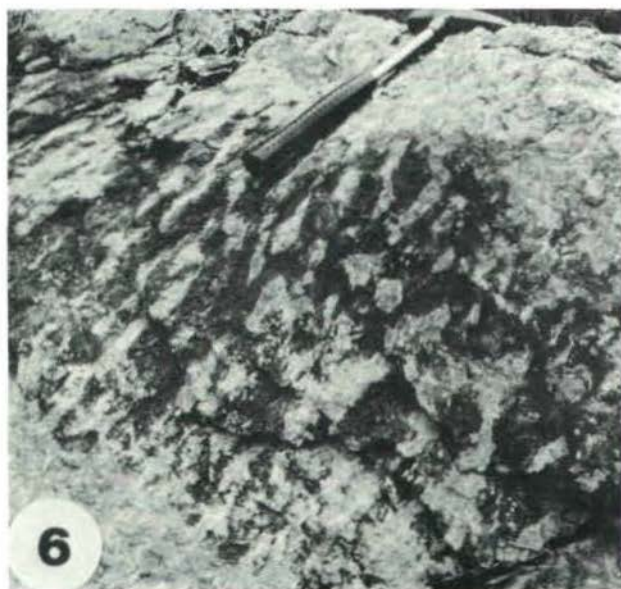
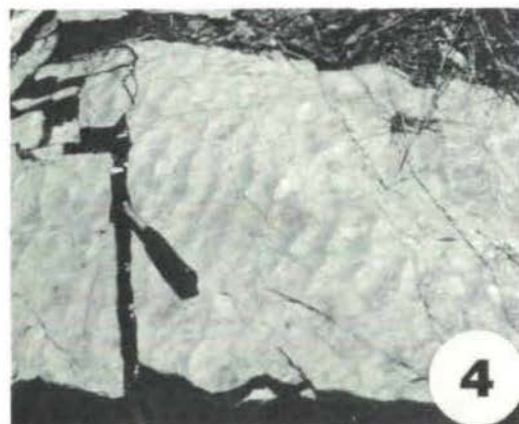
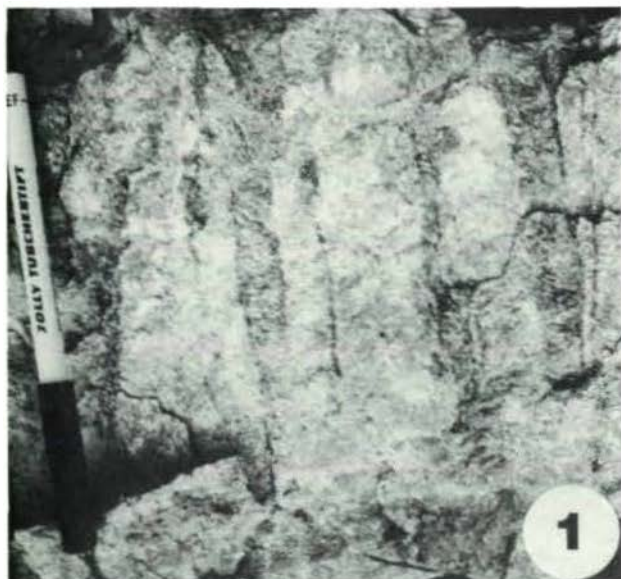
TAFEL 1



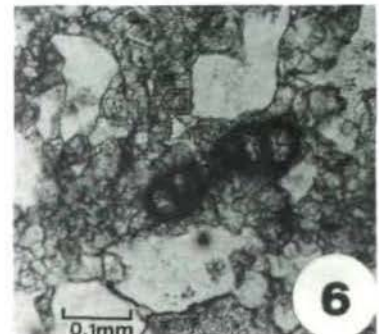
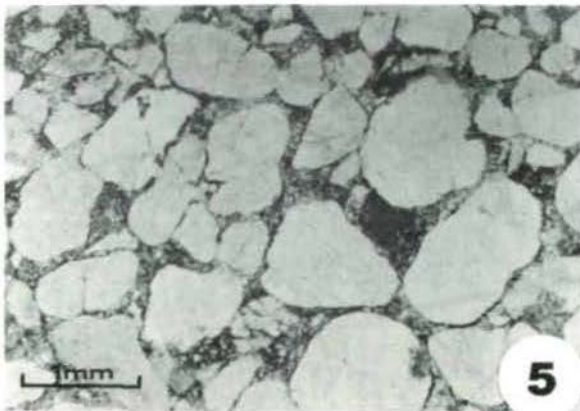
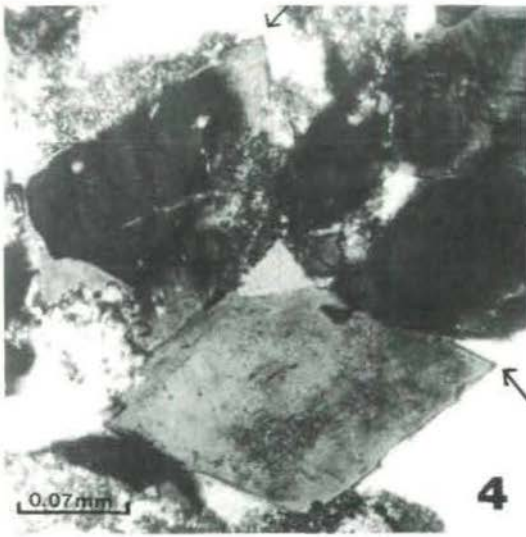
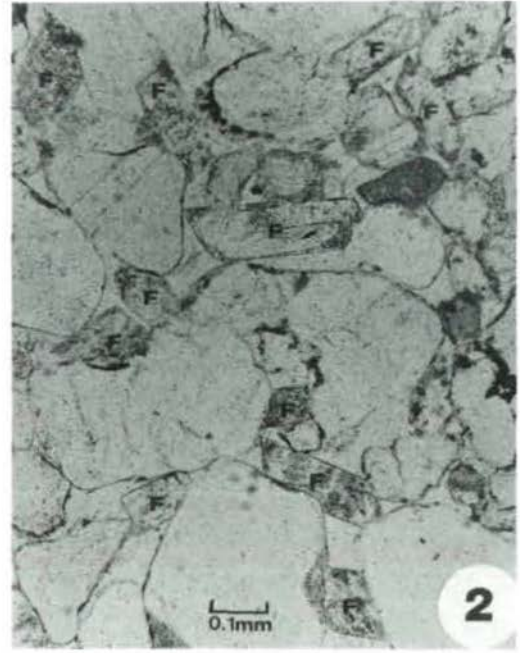
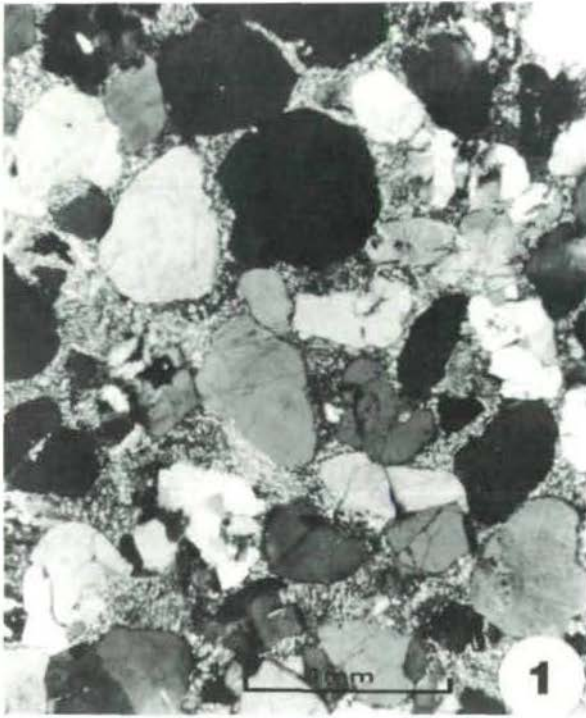
TAFEL 2



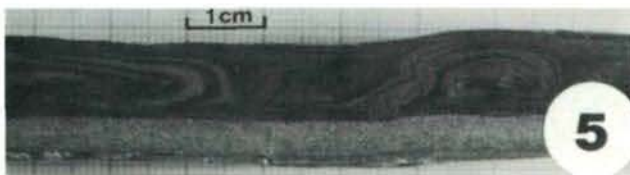
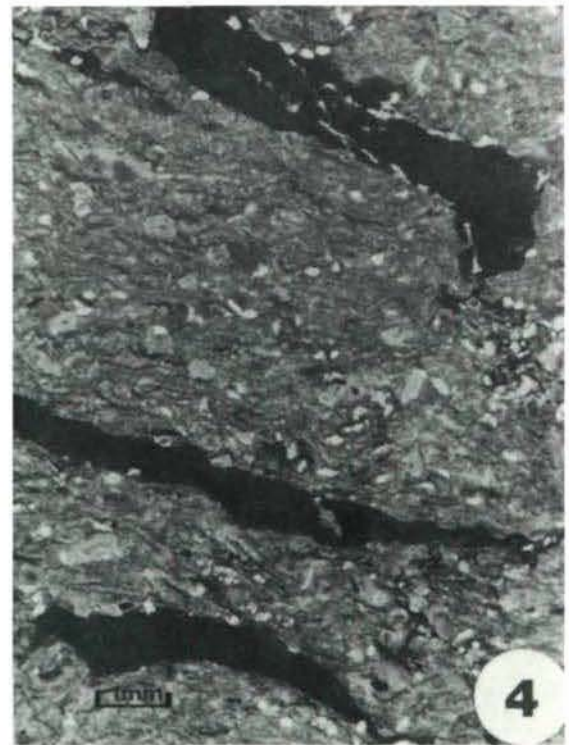
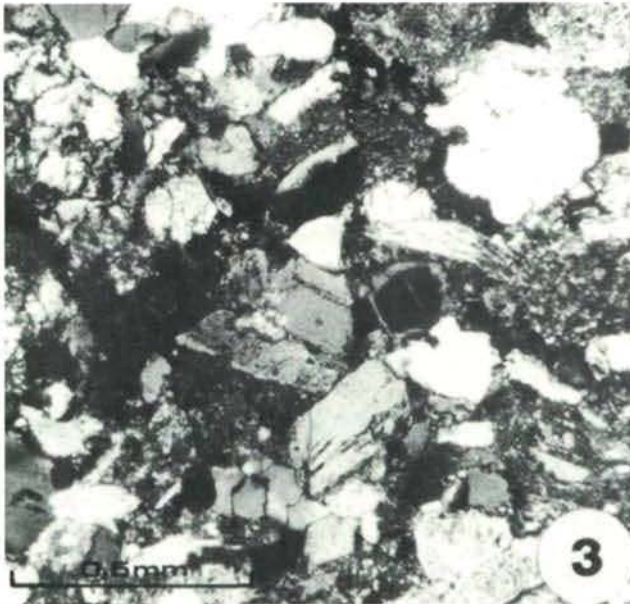
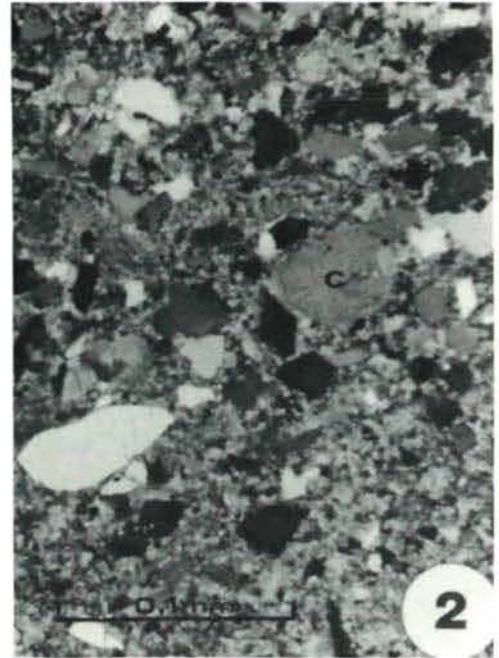
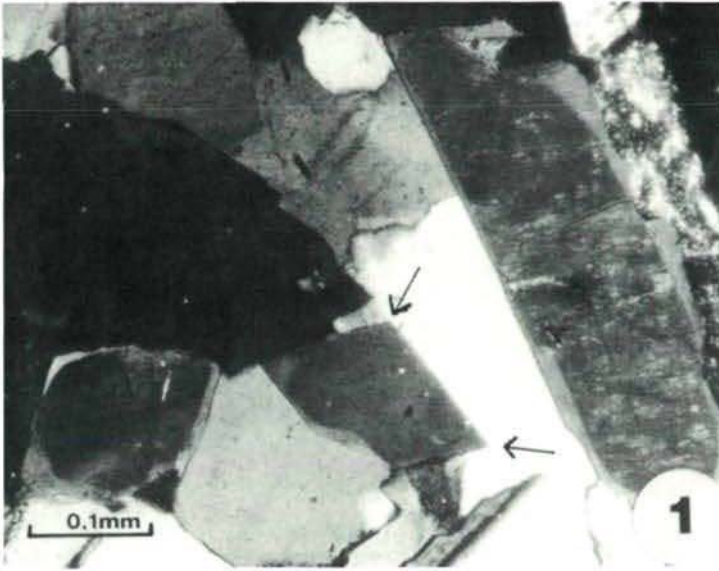
TAFEL 3



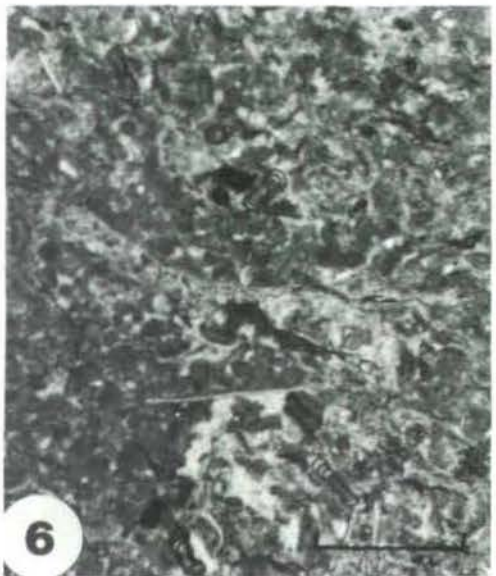
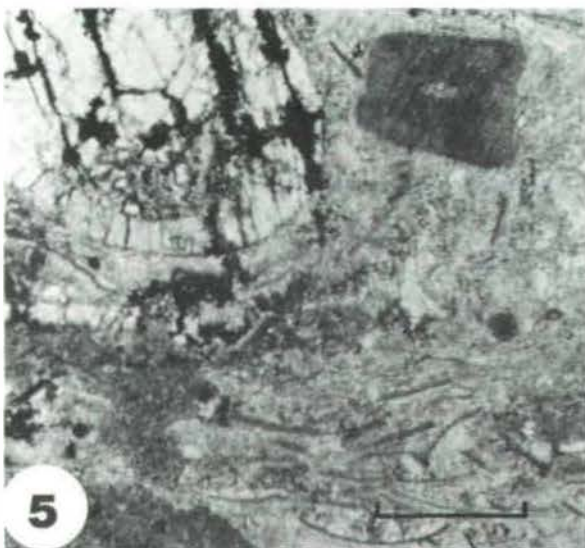
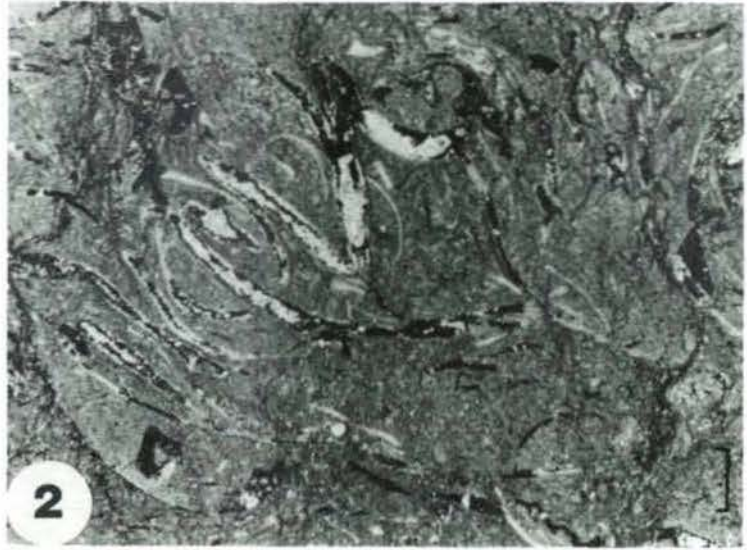
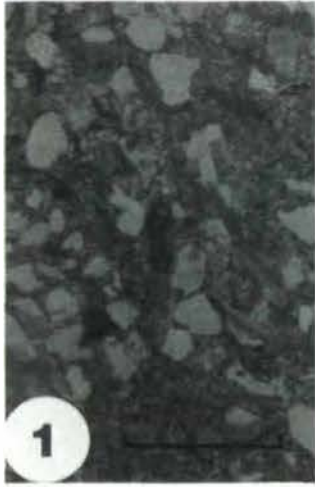
TAFEL 4



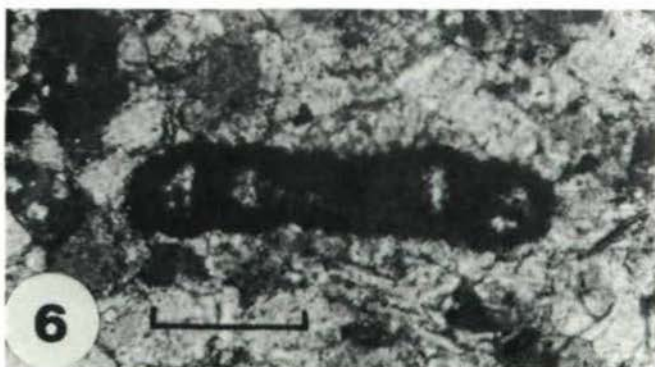
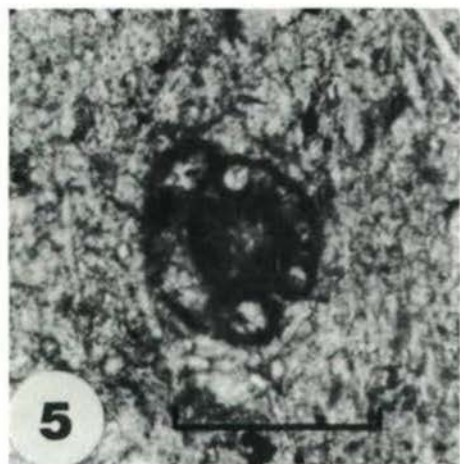
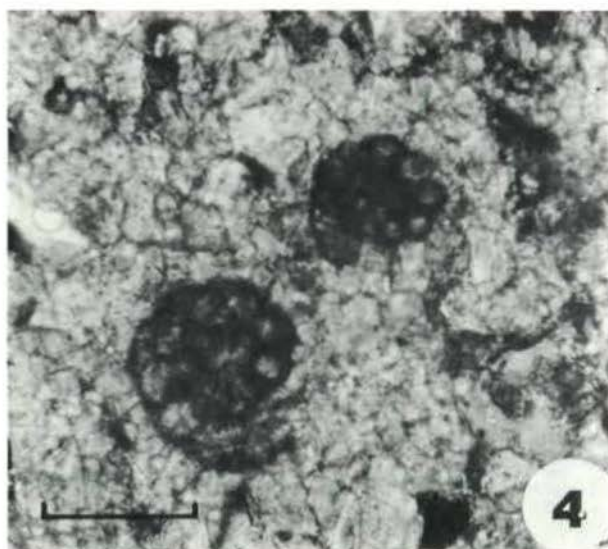
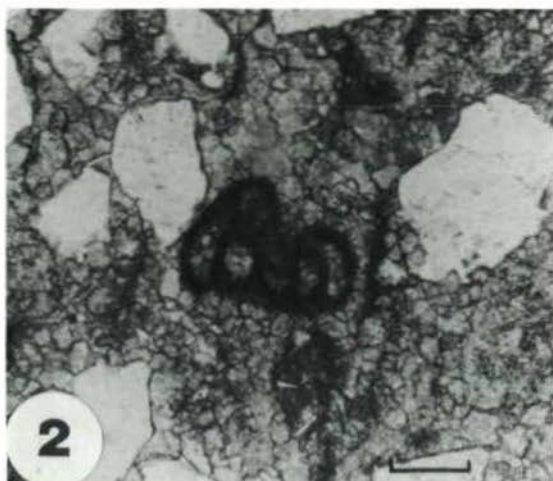
TAFEL 5



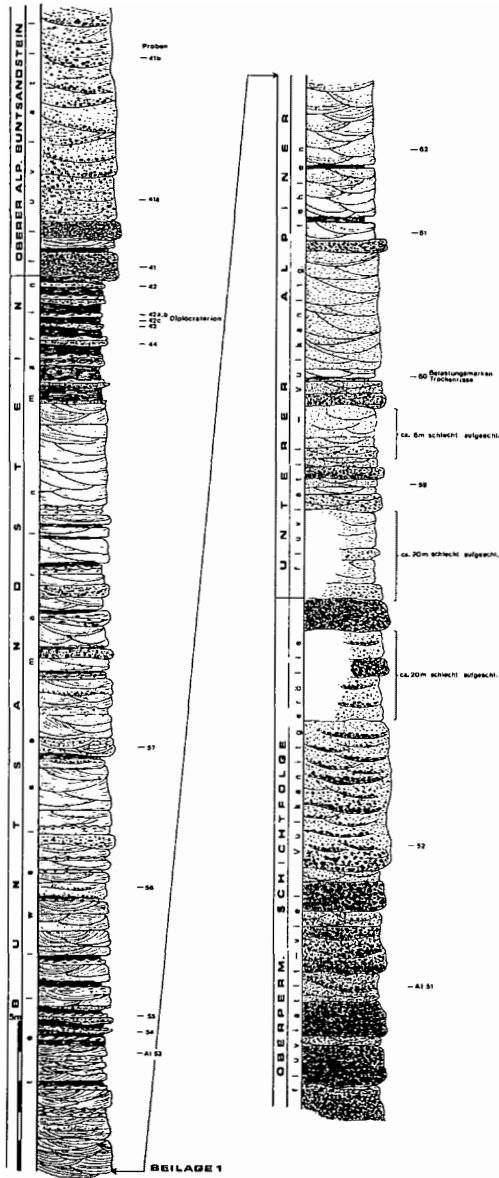
TAFEL 6



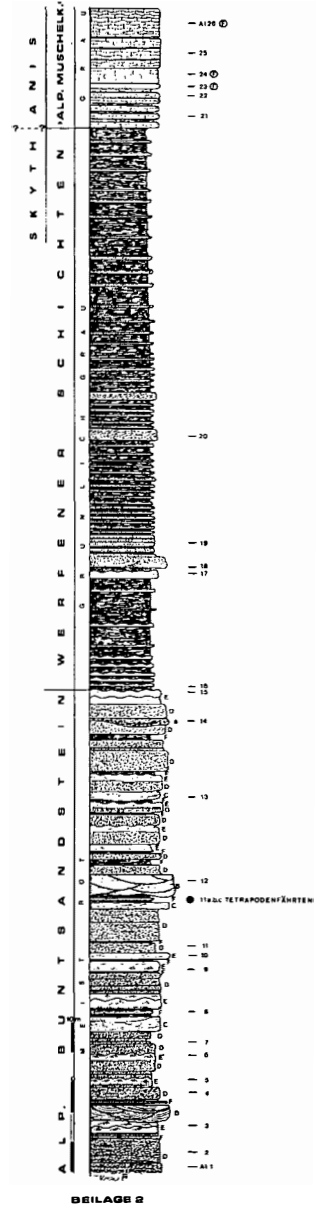
TAFEL 7



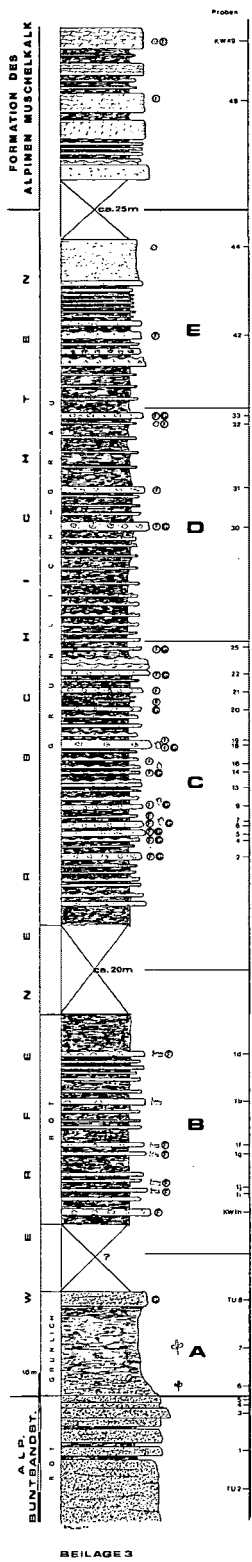
**OBERPERM - SKYTH
RIEDGRABEN**



**ALP. BUNTSANDSTEIN (HANGENDANTEIL)
UND WERFENER SCHICHTEN
RIEDGRABEN**



**WERFENER SCHICHTEN
KRANZWANDGRABEN**



WERFENER SCHICHTEN ULRICHSBURG



**WERFENER SCHICHTEN ST. PAULER
BERGE**

