

Ein Beitrag zur Kenntnis der Gipslagerstätten des Montafons (Vorarlberg)

von H. Angerer, J.G. Haditsch, F. Laskovic
W. Leichtfried und H. Mostler⁺)

Diese Arbeit ist Herrn Univ.-Prof. Dr. Karl Metz (Graz) zur
Vollendung seines siebzigsten Lebensjahres gewidmet

Zusammenfassung

Aufgrund der derzeitigen Situation auf dem Gips-Anhydrit-Sektor und der voraussehbaren künftigen Entwicklung wurden die bisher noch nie untersuchten Lagerstätten des Montafons mikrofaziell-paläogeographisch, petrographisch und chemisch bearbeitet. Zu diesem Zweck wurden von den häufigsten Gebieten anhand von Profilen systematisch Proben für sedimentologische Untersuchungen aufgesammelt, von den weniger versprechenden Evaporitvorkommen wurden Vergleichsproben gezogen. Anhand der festgestellten Mikrofaziestypen konnte ein wesentlicher Beitrag zur Klärung der paläogeographischen Situation geleistet werden, wodurch vor allem die Evaporite der Küstensabkha von den Flachwasserevaporiten auseinandergehalten werden konnten. Damit im Zusammenhang wurden erstmals die Evaporitgefügetypen der Küstensabkha erarbeitet. Die Typen der Flachwasserevaporite wurden mit den von LANGBEIN (1979) nachgewiesenen verglichen und darüber hinaus

⁺) Anschriften der Verfasser: Dr. Hans Angerer, Institut für Geologie und Paläontologie, Universitätsstr. 4, A-6020 Innsbruck; Univ.-Prof. Dr. Johann Georg Haditsch, Mariatroster Straße 193, A-8043 Graz; Chefchemiker Dipl.-Ing. Franz Laskovic, Kirchdorfer Zementwerk, A-4560 Kirchdorf an der Krems; Dr. Wolfgang Leichtfried, Hydrographischer Dienst, Kärntnerstr. 12, A-4020 Linz; Univ.-Prof. Dr. Helfried Mostler, Institut für Geologie und Paläontologie, Universitätsstr. 4, A-6020 Innsbruck

erweitert. Mit Hilfe der sedimentologischen und tektonischen Parameter gelang eine gute Rekonstruktion des minerogenetischen Ablaufes. Aufgrund der geochemischen Daten konnte für mehrere häufige Bereiche eine entsprechende Qualität der Rohstoffe nachgewiesen werden.

Die Untersuchungen erlaubten auch eine erste orientierende geowissenschaftliche Beurteilung der Montafoner Evaporitlagerstätten und eine Empfehlung im Hinblick auf künftige geowissenschaftliche und geotechnische Arbeiten in einzelnen Vorkommen.

Summary

Based on the current market situation in the field of gypsum and anhydrite and in respect to future development plans, the previously uninvestigated deposits in the Montafon area (Vorarlberg, Austria) were studied using microfacies techniques as well as the methods of paleogeography, petrography and geochemistry. For this reason samples were taken from the most promising areas along profile lines for the sedimentological studies. For comparison purposes, samples were also collected from less promising evaporite deposits.

On the basis of identified microfacies types it was possible to make a significant contribution to the paleogeography of this area. The evaporites of the coastal sabkha deposits can therefore be clearly distinguished from those of the shallow-water milieu. In connection with this various petrographic types were described for the first time within the coastal sabkha evaporites.

The shallow-water evaporite types were compared with those studied by LANGBEIN (1979) and furthermore, several new types were found.

Considering various sedimentological and tectonic parameters it was possible to reconstruct the minerogenetic sequences. On the basis of geochemical data from some promising areas a sufficiently good quality of the deposits was proved.

The different studies also allow an initial general evaluation of the evaporite deposits of the Montafon area as well as recommendations for further geological and mining investigations.

Einleitung

Den Montafoner Gips- und Anhydritvorkommen kommt für die zukünftige Versorgung der Industrie mit preisgünstigen und qualitativ entsprechenden Rohstoffen eine besondere Rolle zu. Neben der Größe der Vorkommen spricht vor allem auch die Nähe der Grenze zur Schweiz und zu der Bundesrepublik Deutschland und daher die bei eventuellen Exporten in die genannten Länder relativ geringe Frachtkostenbelastung für die Nutzung der Lagerstätten dieser Massenrohstoffe.

Leider gab es bisher noch keine eingehenden Bearbeitungen der in Rede stehenden Evaporitvorkommen, die auch nur annähernd deren Beurteilung ermöglichen. Zweck dieser Untersuchungen ist es daher, einen Überblick über die ersten orientierenden Arbeiten zu geben und auf die verschiedenen Verwendungsmöglichkeiten für das im Montafon vorliegende Material hinzuweisen.

Gegenwärtige Situation auf dem Rohstoffmarkt und voraussichtliche künftige Entwicklung

In Österreich wurden 1978 626.475 t Gips (gegenüber 1977 - 655.413 t - Rückgang 4.4%) und 139.490 t Anhydrit (gegenüber 1977 - 153.688 t - Rückgang 9.3%) gefördert (Abb. 1; ergänzt nach einem Entwurf des Wirtschaftsforschungsinstitutes (Wien) für eine Studie über "Steine und Erden in Österreich" vom November 1978). Der langjährige durchschnittliche Rückgang der Anhydritförderung (1.9%) kann mit der bei der chemischen Industrie als Nebenprodukt anfallenden Halbhydratgewinnung erklärt werden.

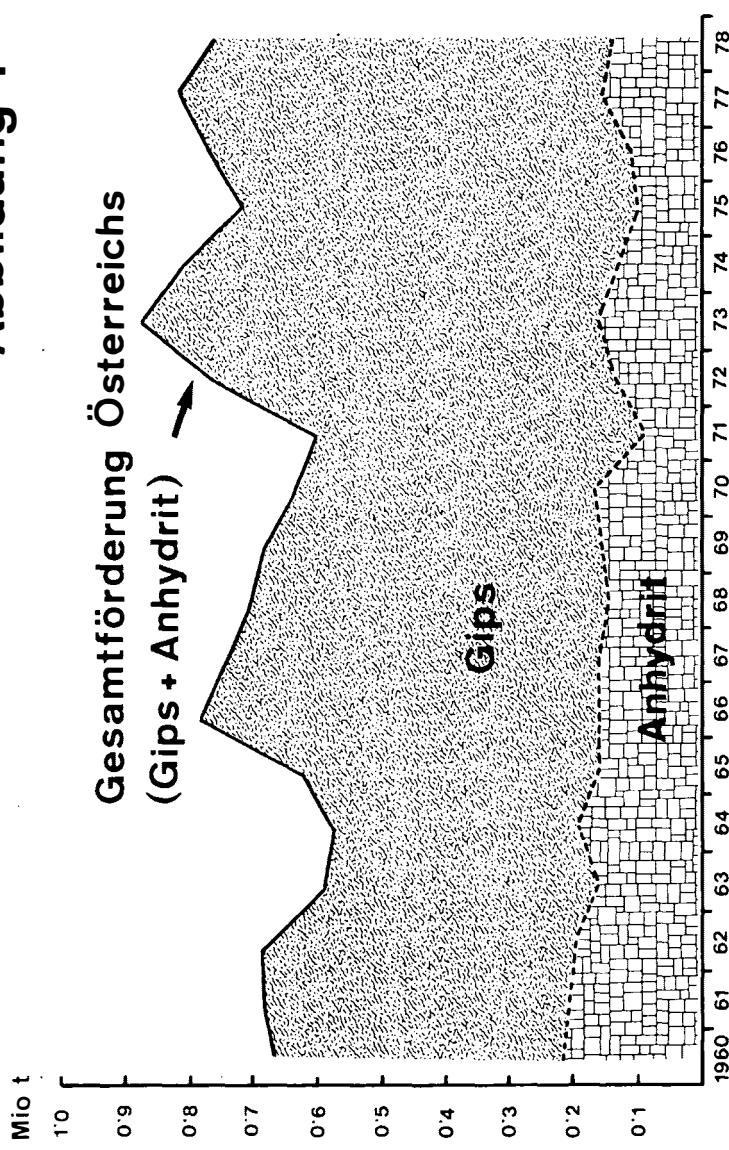
Bis 1970 wurde Anhydrit in geringem Ausmaß importiert, seither ist der Import auf nicht mehr nennenswerte Mengen zurückgegangen.

Gips wird in beachtenswertem Ausmaß (in die BRD und in die Schweiz), hauptsächlich für die Zementindustrie, exportiert. Seit 1972, als die Ausfuhren die höchste Quote erreichten, ging, wohl als Folge der Rezession in der Bauwirtschaft (und damit der Zementproduktion) der Export laufend bis auf etwa die Hälfte des seinerzeitigen Höchstwertes zurück.

Langfristig zeigt sich, wie dies auch aus der Abb. 1 hervorgeht, eine geringfügige Produktionssteigerung für Gips (von rund 2.4% pro Jahr) und ein Förderrückgang von Anhydrit von etwa 2% pro Jahr. Der eben erwähnte Rückgang wird, wie schon oben erwähnt, durch die steigende Sulfaterzeugung als Beiproduct der chemischen Industrie verursacht.

International gesehen ergibt sich ein ähnliches Bild: 1976 belief sich die Weltproduktion an Gips auf 66.2 Mio. short tons (60.1 Mio. t); davon entfielen allein auf die Produktion der USA fast 12 Mio. short tons (10.9 Mio. t = 18% der Weltproduktion), die der UdSSR machte 11%, die Frankreichs 10% aus. Kanada produzierte 9%. Im gleichen Jahr wurden in den USA 573.300 short tons (520.100 t) Gips als Nebenprodukt aus der chemischen Industrie für landwirtschaftliche Zwecke gewonnen.

Abbildung 1



30% des in den USA verkauften Gipses waren roh (davon 64% für die Erzeugung von Portlandzement und 32% für die Landwirtschaft). Vom gebrannten Gips gingen 94% in die Fertigteilproduktion und 6% wurden für industrielle Zwecke und als Baugipse (Mörtel-, Putz- und Stuckgips) verwendet. Von den vorfabrizierten Produkten waren 80% normale und 12% feuerresistente Platten.

Für 1980 wurde die Weltförderung an Rohgips auf 92.5 Mio. short tons (83.9 Mio. t) veranschlagt. Davon werden voraussichtlich entfallen auf:

	%
Europa	45.4
Nordamerika	34.0
Asien	10.8
Afrika	5.4
Südamerika	2.2
Ozeanien	2.2
Weltförderung	100.0

Tabelle 1

Die höchste Produktion wird für das Jahr 1980 für die der USA erwartet (17.0 Mio. short tons = ca. 18.4% der Weltförderung).

Die USA erwarten für die Zeit von 1973-2000 eine jährliche Zuwachsrate der Gipsförderung von 2%. Auch für den Rest der Welt wird eine ähnliche Situation prognostiziert. Wenngleich dabei die Gipsindustrie weltweit verbreitet ist, wird auch in der Zukunft der Hauptverbrauch auf die Industriezentren entfallen.

Dabei zeigt sich international, besonders in jüngster Zeit, eine bemerkenswerte Entwicklung im Hinblick auf einen verstärkten Einsatz von Gips im Bauwesen, obwohl die letzten Jahre durch einen Zug zum Ersatz von Gips durch Konkurrenzprodukte (wie Zement, Beton, Stahl, Kalkmörtel und Holz) gekennzeichnet waren.

Dieser Trend dürfte auch in der Zukunft die Zuwachsraten des Gipsverbrauches negativ beeinflussen. Innerhalb des Bauwesens werden aber auch weiterhin die vorfabrizierten Produkte eine außergewöhnliche Zuwachsrate aufweisen.

Im Hinblick auf die Tatsache, daß durch eine anderweitige Verwendung des gegenwärtig landwirtschaftlich genutzten Bodens in Zukunft mit verringerten Anbauflächen gerechnet werden muß, und wegen der Notwendigkeit, optimale Erträge zu sichern, muß in Zukunft mit einem erhöhten Verbrauch von Bodenverbesserungsmitteln gerechnet werden. Vor allem für die alkalibetonen Böden wird sich die Gipsdüngung als erforderlich erweisen.

In den Hauptförderländern kann die Versorgung mit natürlichen Gipsen auch für die fernere Zukunft als gewährleistet angesehen werden.

Die Produktion von Industriegipsen aus der Phosphorsäureerzeugung könnte aber in Zukunft, allerdings nur örtlich, die Nachfragesituation ändern.

Da sowohl die Gewinnung als auch die Verarbeitung von Gips hoch entwickelt sind, ist von technischer Seite her mit keinen wesentlichen Änderungen zu rechnen. Wohl aber dürfte aller Voraussicht nach die Kostensituation zu Überlegungen hinsichtlich einer Nutzung auch geringwertiger, aber günstig gelegener Lagerstätten führen. Außerdem könnte der verstärkte Einsatz von Gipsprodukten als feuерresistenter Baustoff eine verstärkte Nachfrage verursachen.

Verwendungsmöglichkeit von Gips und Anhydrit

Bekanntlich wurde Gips bereits seit den Anfängen geschichtlicher Überlieferung genutzt, so in China, im Zwischenstromland und in Griechenland, und zwar für Schnitzarbeiten und Dekorationsartikel. Auch beim Bau der Cheopspyramide diente Gips gebrannt als Mörtel und in roher Form (Alabaster) zur Herstellung von Dekorplatten.

Erst im 18. Jahrhundert fand der Gips außerhalb des Bauwesens eine neue Verwendungsmöglichkeit, und zwar für die Bodenverbesserung in Westeuropa. In der Düngemittelindustrie dient Gips nämlich zur Neutralisation von salinen und alkalischen Böden. Außerdem begünstigt er den effizienteren Einsatz ausgeglichenen Düngemittel und verhindert eine ungünstige Bodenentwicklung in trockenen Klimaten. Auch die Samenqualität wird von der Verfügbarkeit von Gips beeinflusst: Samen mit weniger als 500 ppm Ca keimen nämlich in unbefriedigender Weise, wogegen solche mit Gehalten, die darüber liegen, sich üblicherweise gut und kräftig entwickeln.

1885 wurde ein Verfahren zur Verbesserung des Abbindeverhaltens des gebrannten Gipses entwickelt, das es in revolutionärer Weise gestattete, Gips vermehrt im Bauwesen einzusetzen. Die Entwicklung vorfabrizierter Bauelemente verhalf nach dem 2. Weltkrieg der Gipsindustrie zu einem erneuten Aufschwung; so entfielen schon 1973 67% des vermarkteten Gipses auf vorfabrizierte Produkte.

Heute wird Gips in roher und in gebrannter (calcinerter) Form genutzt:

- 1) Rohgips wird in der Zementindustrie, in der Landwirtschaft oder in der Farben- und Füllstoffindustrie verwendet: im Zement zur Abbinderegelung, in der Landwirtschaft, wie schon erwähnt, als Düngemittel, schließlich zur Herstellung von Calciumfarben, hellen Füllern und Schmier- und Glättungsmitteln.
- 2) Calcinerter Gips wird als Form- und Baugips oder in vorfabrizierter Form gehandelt. Form- und Baugipse werden allgemein wieder gemahlen, Verzögerungs- und Bindemittel werden zugesetzt; als Verzögerer dienen dabei üblicherweise Nebenprodukte der Fleischindustrie. Der Verbrauch von Baugips hat allerdings in den letzten Jahren, international gesehen, abgenommen.

Die Möglichkeit der Verwendung eines Gipses richtet sich dabei wesentlich nach dessen chemischer Zusammensetzung und nach seinem Mineralbestand.

An die technisch nutzbaren Gipssorten werden grundsätzlich folgende Anforderungen gestellt:

1)

Grundsätzlich soll Rohgips mindestens 85 % $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ enthalten. Für feinere Sorten werden 95% verlangt.

Für den Einsatz in der Zementindustrie soll dieser Gips außerdem keine Alkaliträger (z.B. Glimmer, Tonminerale) haben und möglichst niedrige MgO-Werte aufweisen.

Der technische Einsatz von Rohgips beruht teilweise auch auf der guten Spaltbarkeit sowie auf den optischen Eigenschaften, so z.B. bei der Herstellung von Schmier- und Glättungsmitteln (wegen der guten Translationsfähigkeit und Spaltbarkeit) und von Farbstoffen.

Farbengipse dürfen keine abrasiven Minerale, quellfähigen Tonminerale und Karbonate, und sollen keinen Anhydrit enthalten. Außerdem zählen hier wegen der Härte und des Verwitterungsverhaltens verschiedene Sulfide und bituminöse Stoffe zu den schädlichen Gemengteilen.

Generell soll bei Farbengipsen der Kristallwassergehalt möglichst dem des reinen $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ - 20.92 Gew.-% - nahekommen.

Außerdem muß Rohgips für den Einsatz in der Zementindustrie üblicherweise auf eine Korngröße von weniger als einem halben Zoll gebrochen werden, und für den in der Landwirtschaft und in der Füllstoffindustrie auf weniger als etwa 100 mesh Korngröße gemahlen werden.

2)

Unter den calcinierten Gipssorten dürfen die F o r m g i p s e keine abrasiven oder gröberkörnigen Minerale (z.B. Quarz) enthalten, desgleichen sind verschiedene Tonminerale (Minerale der Montmorinigruppe und ähnliche) wegen der Quellfähigkeit schädlich; Karbonate - Kalkspat, Dolomit, Magnesit - über 2% verschlechtern merklich das plastische Verhalten der Gipse und deren Gießbarkeit, wie auch die durch die Karbonate verursachte größere Härte das Zerkleinerungsverhalten ungünstig beeinflußt. Eine besondere Aufmerksamkeit muß dem Anhydritgehalt entgegengebracht werden, weil er einerseits durch seine größere Härte ein schlechteres Mahlverhalten zeigt, andererseits durch die nachträgliche Wasseraufnahme zu unerwünschter Quellung und einem überschnellen Abbinden führt.

Bei den B a u g i p s e n zählt neben den Sulfiden und gediegenem Schwefel auch der Anhydrit zu den störenden Gemengteilen. Die technische Verwendbarkeit richtet sich bei den Baugipsen nach der Brenntemperatur (Tabelle 2). Hinsichtlich der Benennung, Verwendung und Prüfung der verschiedenen Baugipssorten sei auch auf die DIN 1168 verwiesen.

Brenntemperatur (°C)	Bezeichnung der Gipssorte	Chemische Zusammensetzung	Einsatzgebiet und Verwendungsmöglichkeit bzw. Eigenschaften
-140	Gips(stein) (Rohgips)	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	chemische Industrie (zur Herstellung von Schwefelsäure, Ammoniumsulfat, Farben), Zementindustrie, Papierindustrie (Füllstoff)
140-180	Halbhydrat (Bassanit)	$\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$	Stuckgips, Modellgips (mit Härtungszusätzen)
180-300	entwässertes Halbhydrat		
300-320	totgebrannter Gips	CaSO_4	
320-480	schnellbindender Anhydrit		
480-780	langsambindender Anhydrit		langsam abbindender, schnell erhärtender Putzgips (Brenntemperatur ~700°C)
780-1000	Estrichgips		für langsam abbindende (und erhärtende) und wetterbeständige Massen

Tabelle 2

Den natürlichen Gipsen ist besonders in der Vergangenheit eine starke Konkurrenz in den synthetischen erwachsen. Es wird nämlich in vielen Ländern sogenannter Industriegips als Nebenprodukt chemischer Fabriken gewonnen und raffiniert. Die japanische Industrie ist im Hinblick auf die Verwertung derartigen Gipses in der Welt führend. In manchen Ländern (z.B. in den USA) wird in der Düngemittelindustrie heute wesentlich mehr Industriegips gewonnen als weiterverwendet werden kann, woraus sich sehr große Umweltbelastungen ergeben können, so daß man sich ernstlich mit der Verarbeitung von Industriegipsen auseinandersetzen muß. Verschiedene Untersuchungen haben ergeben, daß Industriegipse, in vielen Fällen nach Zusatz von Beschleunigern, in ähnlicher Weise wie die natürlichen eingesetzt werden können, d.h. z.B. keine nachteiligen Wirkungen (erhöhter Luftgehalt, erhöhter Wasserbedarf) auf die Eigenschaften des frischen Betons bewirken. Dasselbe gilt auch bei der Verwendung von Industriegips für die Produktion von Gipsplatten. Auch aus solchen gebrannten Stuckgips hat die gleiche Qualität wie der aus natürlichem Rohgips gewonnene. Die chemischen Verunreinigungen der Industriegipse (CaCO_3 , Fe_2O_3) erwiesen sich zudem weder bei der Verar-

beitung, noch bezüglich des Fertigproduktes als schädlich. Daher hat auch Den Norske Gipsplatefabrikk (DNG) eine Fabrik zur Herstellung Polyurethan-gefüllter Gipsplattenwandkonstruktionen errichtet, weil man in Zukunft mit einer starken Expansion dieses Industriezweiges rechnet, ist doch, international gesehen, der Verbrauch von Gipswandplatten in den letzten Jahren rascher gewachsen als der jedes anderen Baumaterials.

Im Gegensatz zum Gips kam es erst in der jüngsten Vergangenheit zur Nutzung des Anhydrits. Dieser wird

- 1) im Bauwesen
 - a) anstelle des Gipses zur Abbinderegelung des Betons,
 - b) zur Herstellung von Mörtelmassen (mit oder ohne Zusatz von Kalk),
 - c) zur Herstellung von Bausteinen verwendet.
- d) Besonders für Strahlenschutzbauten aus Beton hat sich der Einsatz von Anhydrit gut bewährt, weil sich dieser Baustoff gut mit Borsäureverbindungen mischen lässt, die wieder zur Neutronenabsorption benötigt werden.
- 2) In der chemischen Industrie wird Anhydrit zur Herstellung von Ammonsulfat nach dem Leunaverfahren und zur Herstellung von Schwefel und Schwefelsäure eingesetzt. Die zuletzt genannte Verwendungsmöglichkeit hat allerdings in letzter Zeit stark an Bedeutung verloren, weil inzwischen mehrere Verfahren zur Abgasreinigung aus Industrieanlagen und zur Entschwefelung von flüssigen und gasförmigen Kohlenkohlenwasserstoffen entwickelt wurden.

Hinsichtlich der schädlichen Beimengungen gilt für den Anhydrit grundsätzlich das schon früher bei der Besprechung der Qualitätsanforderung an den Gips Gesagte.

Neben dem Chemismus und dem Mineralbestand, wie z.B. dem Gips/Anhydrit-Verhältnis, der Zusammensetzung der Karbonate und dem Gehalt an Magnesia und freier Kieselsäure, sind für die Bewertung von Gips und Anhydrit auch die Eigenheiten des Korngefüges (etwa die Korngrößenzusammensetzung) und - für die Abbauplanung - des Megagefüges maßgebend. Deshalb sollen im folgenden kurz vor allem die auf das Gefüge bezugnehmenden Bezeichnungen erwähnt werden.

Heute sind allgemein für Gipse gebräuchlich: Selenit (klarer, durchsichtiger, grobkristalliner Gips), Alabaster (massiger, dichter, zuckerkörniger Gips), Satinspat (faseriger Gips) und - in Anlehnung an den amerikanischen Sprachgebrauch - Gypsit (Gemenge von Gips und Ton).

Im deutschsprachigen Bergbau haben sich teilweise für verschiedene Gipssorten auch noch alte Namen erhalten: So versteht man unter Fasergips fibröse Varietäten, unter Fraueneis, Frauenglas, Marienglas, Marieneis und Fraueneisspat meist grobkristallinen Gips (Selenit), häufig aber auch grobkristallinen Glimmer. Himmelsmehl wird z.T. erdiger Gips, z.T. aber auch Calcit (Kreide) verstanden. Ähnliche Bezeichnungen für feinkörnige, lockere Gipse sind Gipserde, -guhr, -mehl und Mehlgips. Unter Gipsblüte oder Schaum versteht man einen stark porösen (schaumigen) Gips. Grobkörnige Gipse heißen Gipsspat oder

Glinzerspat. Mehrdeutig sind die Bezeichnungen Atlasspat (darunter versteht man zum Teil auch Calcit und Aragonit), Federweiß (worunter auch z.T. Talk, z.T. Amianth, Sericit und Leuchtenbergit verstanden wird) und russisches Glas, welche Bezeichnung auch für den Muskowit üblich ist. Unter "Mondstein" wird neben Gips auch Sanidin oder milchig getrübter Plagioklas verstanden. Während "Seidengips" und "Satinspat" synonym mit Gips sind, versteht man unter dem "Seidenspat" auch Anhydrit und Calcit.

Für Anhydrit ist im ostalpinen Bergbau auch die Bezeichnung Muriacit gebräuchlich. Die älteren Namen (Leuchtstein, Würfelanhydrit, Würfelingips usw.) hingegen sind heute schon nahezu in Vergessenheit geraten.

Als weitere Bezeichnungen für natürliche Gipsarten werden von uns in Erweiterung der von G. RICHTER-BERNBURG (1955: 612) genannten Anhydrit-Faziestypen neben den reinen Karbonattypen und den Gips-Karbonat-Wechsellagerungen die nachstehenden, durch das Gefüge geprägten, Typen verwendet:

- a) Schwadengips (Massengips mit Karbonatschwaden)
- b) Augengips
- c) Krümelgips
- d) Flasergips
- e) feinstschichtiger Gips (Warvengips mit feinster Lamination)
- f) Lagengips (Warvengips -cm-Rhythmit)

Der Wert der Gipslagerstätten wird, abgesehen vom vorhin Gesagten d.h. abgesehen vom Chemismus, von weiteren wichtigen Faktoren, wie der Bauhöhe, dem Gips-Abraum-Verhältnis, den Lagerstättenvorräten, dem Aufbau, dem Aufschlußgrad und der Zugänglichkeit der Lagerstätten bestimmt.

Vorräte der Evaporitlagerstätten

Bevor auf die Lagerstätten des Montafons eingegangen wird, sollen die derzeit bekannten Vorräte der Evaporitlagerstätten und eine Vorausschau auf die Entwicklung der verarbeitenden Industrie gegeben werden.

International sind die vorhandenen Reserven für die vorhersehbare Zukunft ausreichend: die Weltreserven werden auf rund 2 Milliarden short tons (1.8 Mrd. t) geschätzt, von denen allerdings allein schon 350 Mio. short tons (fast 320 Mio. t) auf die USA entfallen.

In den meisten europäischen Ländern gibt es ausreichende Gipsvorräte. So werden beispielsweise allein die des Pariser Beckens als nahezu unbeschränkt eingestuft. Die dort auftretenden Lager, bis zu 55 m mächtig, erstrecken sich auf 8000 km².

Auch die meisten der anderen an das Mittelmeer grenzenden Länder verfügen über große bis sehr große Gipslagerstätten.

Nun ist Gips aber ein billiger Massenrohstoff, der mit vielen anderen Baustoffen in Konkurrenz steht. Die großen Lagerstätten, entsprechend großenbergbaulichen Betriebe und Gesteinshütten ermöglichten in der Vergangenheit über viele Jahre stabile Rohstoffpreise. Die steigenden Energiekosten und die damit zusammenhängende Frachtkostenempfindlichkeit sowie die regional

unterschiedliche Lagerstättenverteilung läßt eine Ausschau auf entsprechend große, gut zugängliche und in Bezug auf die Verbraucher günstig gelegene Evaporitlagerstätten als zweckmäßig erscheinen.

Auf Österreich bezogen kann gesagt werden, daß in seinem alpinen Anteil annähernd 100 Gips- und Anhydritvorkommen bekannt sind (Tafel 1). Etwa ein Zehntel von diesen weist insgesamt schon A-, B- und C₁-Vorräte von rund 30 Mio. Tonnen auf. Diese Menge genügt zur Versorgung der heimischen Wirtschaft mit Rohgips von entsprechender Qualität, dies allerdings nur unter den wirtschaftlichen Voraussetzungen, die sich aus der oben schon erwähnten Frachtkostenempfindlichkeit von Massenrohstoffen ergeben. Zusätzlich zu den eben genannten Vorräten gibt es im westlichen Teil Österreichs, besonders in Vorarlberg, solche der Vorratsklasse C₁, d.h. bedingt bauwürdige Vorräte, von über 600 Mio. Tonnen. Allerdings liegen diese Vorräte zum Teil in Landschaftsschutzgebieten und/oder in schwer zugänglichen Regionen. Außerdem ist in diesem Zusammenhang zu bemerken, daß vor einer allenfalls ins Auge gefaßten Nutzung zur Abklärung der Quantitäten und Qualitäten der Lagerstätteninhalte weitere, eingehende geowissenschaftliche Erkundungen erforderlich erscheinen (dazu: W.E. PETRASCHECK 1976).

An Großlagerstätten, d.h. solchen mit mehr als 1 Mio. Tonne Lagerstättenvorrat entsprechender Qualität, sind zu erwähnen: Pfennigbach-Puchberg, Seewiesen, Dürradmer, Haringgraben, Schildmauer bei Admont, Wiernern am Grundlsee, Erlaufboden, Trübenbach, Hintersteinalm, Grabach bei Kuchl.

Zu den mittelgroßen Lagerstätten, d.h. solchen mit mehr als 100.000 Tonnen an Vorräten zählen: Brandhof bei Seeberg, Wölfbauer bei Johnsbach, Schauersberger/Unterhall bei Admont, Wandlkogel, Gschlößl bei Kainisch, Herndl/Salzburg, Ulmer Hütte.

1977 waren elf Gips- und Anhydritbergbaue (Puchberg am Schneeburg, Preinsfeld, Spital am Pyhrn, Hallberg, Abtenau, Moosegg, Wiernern/Grundlsee, Admont, Tragöß, Weißenbach im Lechtal) in Betrieb. Sie lieferten hauptsächlich Rohstoffe für die chemische und die Zementindustrie sowie solche zur Herstellung von Putzgipsen und Gipsplatten.

Gipslagerstätten Österreichs

In Österreich treten Gips- und Anhydritlagerstätten (Tafel 1) im jüngsten Paläozoikum und in der Trias der Ostalpen auf. Die Lagerstätten in der Steiermark - mit der Ausnahme von Edelsdorf bei Stanz - und in Salzburg gehören dem Oberperm an, die in Vorarlberg und Tirol und die von Schottwien und Edelsdorf dem Karn. Die oberpermischen Vorkommen sind durch eine spurenhaftesynsedimentäre Pb-Zn-Cu-(U)-Mineralisation charakterisiert.

Entsprechend der schon vorhin gebrachten Übersicht liegen die größten bekannten Vorräte im Osten unseres Bundesgebietes, d.h. in der Steiermark und in Salzburg. Allerdings muß hier wiederholt werden, daß in Tirol und Vorarlberg aufgrund des bisher

bekannt Gewordenen mit weiteren Großlagerstätten gerechnet werden kann, die wegen ihrer Qualität und ihrer günstigen verkehrs- und wirtschaftsgeographischen Lage als Prospektionszielgebiete vorgeschlagen werden können.

Grundsätzlich lassen sich drei Evaporitlagerstättentypen auseinanderhalten:

- 1) Typus I: Großflächige Lagerstätten mit anhaltender stofflicher Zusammensetzung und gleichbleibender Mächtigkeit auf größere Entfernung (mehrere hundert Meter) im Fallen und Streichen; tektonisch nur wenig gestört.
- 2) Typus II: Großflächige Lagerstätten mit wechselnder (stark schwankender) mineralischer Zusammensetzung im Fallen und Streichen; tektonisch gestört.
- 3) Typus III: Unregelmäßige Lagerstätten mit komplizierten Strukturen (linsige Körper), daher in der Mächtigkeit stark schwankend; tektonisch stark gestört.

Stratigraphische Position der ostalpinen Gipslager

Wie aus dem oben Gesagten hervorgeht, fehlen Evaporite in den altpaläozoischen Schichten der Ostalpen, was darauf zurückzuführen ist, daß zur Zeit des Ordoviziums und Silurs, von wenigen Ausnahmen abgesehen, hochmarine Bedingungen vorherrschten. Mit der Herausentwicklung von Flachwasserbecken bzw. dem Aufbau von Karbonatplattformen, besonders im Unter- und Mitteldevon, sind zwar die Grundvoraussetzungen für Eindampfungs-sedimente gegeben, aber selbst bei den unterdevonischen tidal-flats kam es zu keiner Gips- und Salzabscheidung.

Erst mit dem höheren Jungpaläozoikum, in Verbindung mit der Bildung von intermontanen Becken bzw. im Konnex mit der Anlage von Grabenbrüchen, haben sich z.T. mächtige Evaporite, speziell im Oberperm, gebildet. Einmal handelt es sich um das Haselgebirge i.w.S., das besonders im Osten Österreichs verbreitet ist, und wohl zur Hauptsache aus Steinsalz besteht; in Verbindung mit dem Steinsalz kam es aber auch zur Bildung ausge-dehnter Gips- und Anhydritlagerstätten. In diesen sind örtlich Einschaltungen von dunklen Dolomiten beobachtbar, die von TOLLMANN (1976: 44, 47) als Bellerophondolomite gedeutet werden. Da völlig analoge dunkle Dolomitlagen auch in den Raibler Gipsen auftreten (solche sind für Salinarabfolgen sehr typisch), sind die Verfasser der Meinung, man sollte hier den Begriff Bellerophondolomit nicht verwenden, zumal es in den Nördlichen Kalkalpen wirklich keine echten Kriterien für die Anwesenheit von Bellerophonschichten gibt.

Gipse oberpermischen Alters treten aber auch noch in den Mitterberger Schichten auf und ziehen von dort nach Westen bis in die Umgebung von Kitzbühel (siehe dazu MOSTLER 1968 und 1972). Sie sind im Vergleich zu den Vorkommen im Osten schon sehr gering-mächtig und treten bereits in einer anderen Fazies auf. In Oberndorf bei Kitzbühel wurde sogar Steinsalz innerhalb der Mitterberger Schichten bekanntgemacht. Westlich von Kitzbühel fehlen in dieser Fazies zur Zeit des Oberperms jedoch gips-führende Ablagerungen.

Die stratigraphisch nächsthöheren Schichtfolgen mit Gips sind aus der Untertrias, und zwar aus oberskythischen Ablagerungen bekannt. Im Westen sind diese dem oberen Abschnitt des Alpinen Buntsandsteins eingeschaltet, während im Osten diese in den höheren Werfener Schichten bzw. am Übergang zu den Reichenhaller Schichten (B. PLÖCHINGER 1967: 14) auftreten. Die sogenannten oberskythischen Gipse sind nicht, wie bislang, von den Rauhwacken, die örtlich ebenso Gips führen, zu trennen, sondern gehören sowohl im Hinblick auf die Ablagerungsbedingungen als auch hinsichtlich des Alters zusammen. MOSTLER & ROSSNER (1976) konnten nachweisen, daß die Unteren Gutensteiner Schichten, die die Äquivalente der basalen Reichenhaller Schichten darstellen, noch dem Oberskyth angehören.

Die meisten hier genannten oberskythischen Gipse sind aber geringmächtig und haben daher kaum eine wirtschaftliche Bedeutung, ausgenommen davon ist die Großlagerstätte im Pfennigbacher Becken Niederösterreichs. Es handelt sich hier also um Gipsvorkommen, die einerseits noch mit typisch-klastischen Sedimenten in Verbindung stehen, andererseits bereits mit der Herausbildung der ersten Plattformsedimente zusammenhängen.

Das gleiche trifft auch auf die in den Tonschiefern des Dobratsch eingeschalteten, mächtigen Gipshorizonte, die allerdings bereits dem Anis angehören, zu (W. NACHTMANN 1975: 50).

Völlig anders geartet sind die innerhalb der Raibler Schichten auftretenden Gipsvorkommen, die dem höheren Karn (Tuval) zugeordnet werden müssen. Nach der letzten terrigenen Schüttung (tonige Siltsteine und Sandsteine) kam es zu einer Meeresspiegelabsenkung, in deren Gefolge eine regressive Karbonat-Evaporitfolge aufgebaut wurde (BRANDNER 1978). Es handelt sich um laminierte Dolomite mit LF-Gefügen, Rauhwacken bzw. Kollapsbreccien und schließlich um eine Wechselfolge von diversen Dolomiten mit Lagengipsen. Die hohe Mobilität der Gipse brachte es mit sich, daß die einzelnen, oft mehrere Meter mächtigen Dolomitlagen zerbrachen und schließlich als kompetente Boudins im Gips schwimmen. Durch den zum Teil starken Diapirismus sind die ursprünglichen Gipsgefüge ("chicken-wire"-Gipse) zum Großteil zerstört.

Während die permischen und tieftriassischen Gipse nahezu auf das Oberostalpin beschränkt sind, sind die dem Oberkarn zuordnabaren Gipse auch im Unterostalpin weit verbreitet (Schwerpunkte bilden das Semmeringer Gebiet und die Matreier Schuppenzone auf Osttiroler Boden).

Die Geologie des Rhätikon wurde durch W. HEISSEL et al. (1965) in einer Karte 1:25 000, zu der es bisher noch keine Erläuterungen gibt, dargestellt. Auf den tektonischen Bau ist insbesondere M. KOBEL (1969) eingegangen. Die Abb. 2 entspricht im wesentlichen seiner tektonischen Karte, allerdings wurde sie von den Verfassern etwas vereinfacht, um die Lage der Gipslagerstätten übersichtlicher darstellen zu können. In diesem Zusammenhang muß auch festgestellt werden, daß entgegen der Ansicht KOBELS im Bereich des Kristakopfes die Fensternatur der Trias angezweifelt wird. Die muldenartigen Sedimentzüge im Bereich der Phyllitgneiszone (in Abb. 2 allgemein als "Alt-

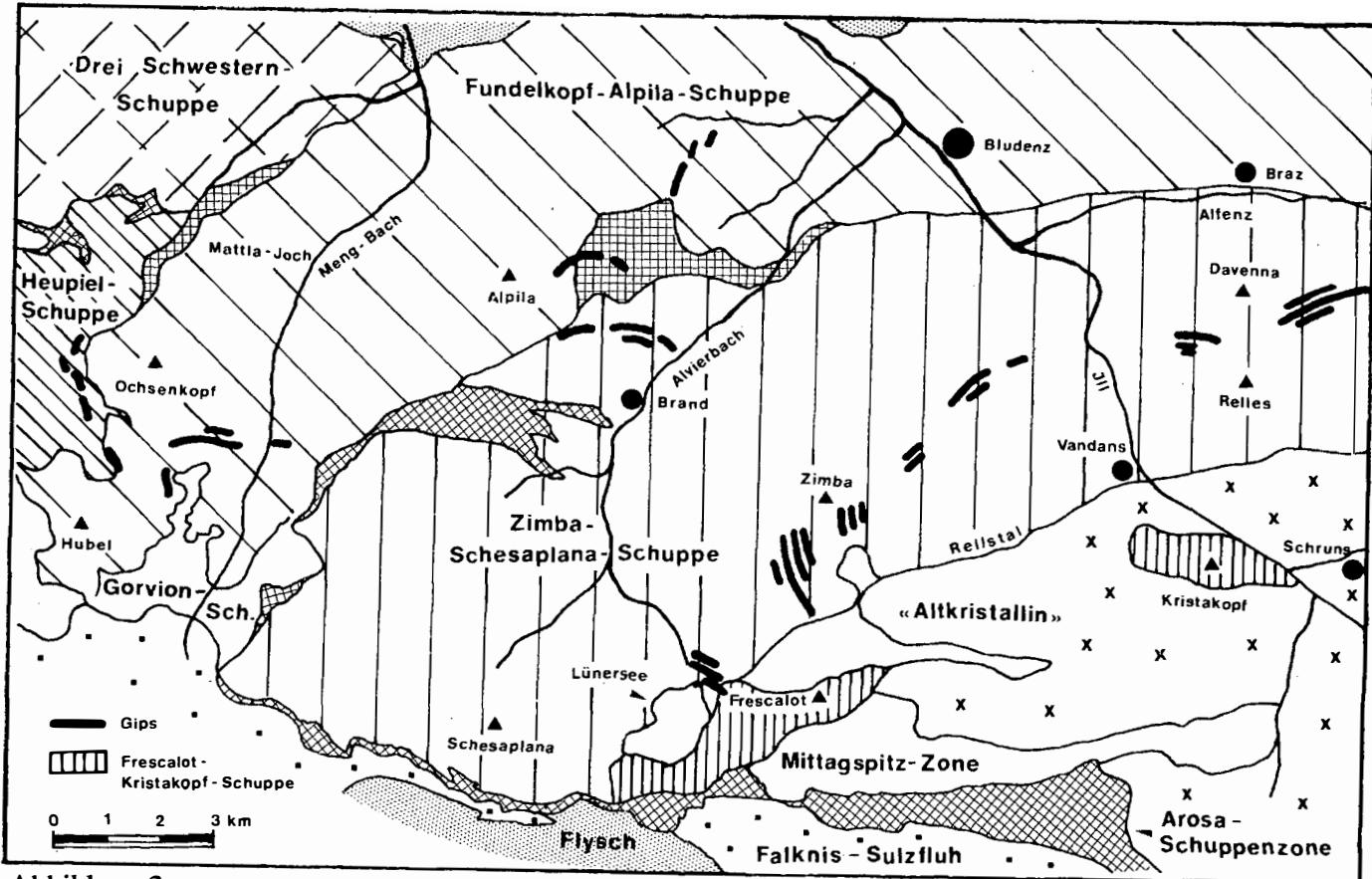


Abbildung 2

kristallin" ausgeschieden) sind nach dem Erachten der Verfasser mit der Mitteltrias des Kristakopfes in Verbindung zu bringen. Dies geht besonders klar im Bereich des Golmer Joches hervor.

Die tektonische Position der Gipsvorkommen wird bei deren Beschreibung kurz angerissen. Nur bezüglich des Vorkommens Lüner Krinne sei hier schon auf die komplizierte tektonische Situation hingewiesen (Abb. 3 nach M. KOBEL 1969: 22).

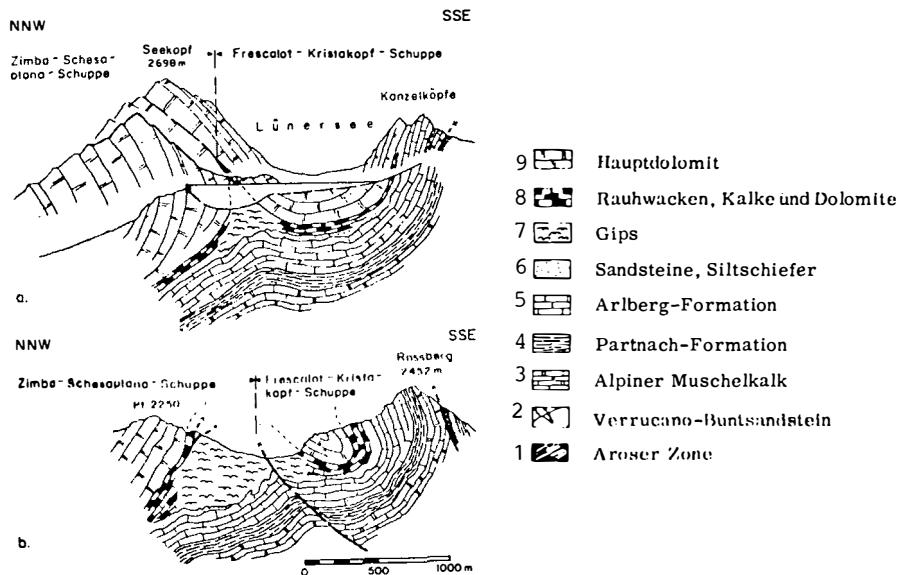


Abb. 3:
Loslösung der Frescalot-Kristakopfschuppe von der Zimba-Schesaplana-Schuppe. Die stark mobilen (diapirischen) Gipse dringen im Scheitel hoch. (Aus KOBEL, 1969).
6-8 = Raibler Formation.

Durch das diapirische Verhalten der Raibler Gipse kam es im Bereich des Lüner Sees zur ersten Abtrennung der Frescalot-Einheit von der Zimba-Schesaplana-Schuppe. Östlich des Lüner Sees wurde diese Trennung durch das zunehmende Aufdringen der Evaporitmassen erweitert, die schließlich über einen Scheitelbruch zur völligen Eigenständigkeit der von KOBEL so bezeichneten Frescalot-Kristakopf-Schuppe führte.

Die Evaporitlagerstätten des Rhätikon verteilen sich auf folgende tektonische Einheiten (siehe hiezu Abb. 2):

- 1) Drei-Schwestern-Schuppe (Lagerstätte Ziegerloch am Gampbach in rund 1600 m SH);
- 2) Arosa-Schuppenzone zwischen Heupiel- und Fundelkopf-Alpila-

- Schuppe (Matler Alm, großes Vorkommen, beidseitig des hinteren Gambaches zwischen 1600 und 1700 m SH, eventuell besteht sogar eine Verbindung zum Ziegerlochvorkommen; Matler Joch (= Mattlajoch), großes Vorkommen von 1700 bis 1900 m SH, an der Grenze gegen Liechtenstein gelegen);
- 3) Heupiel-Schuppe (die großen Vorkommen von Fürkle-Schlucher liegen in 1700 m SH zur Gänze auf Liechtensteiner Gebiet);
 - 4) Fundelkopf-Alpila-Schuppe (das Vorkommen Gamperdona liegt am Trüb-Bach, der in den hinteren Mengbach mündet, zwischen 1400 und 1700 m SH, zum geringeren Teil auf Liechtensteiner Gebiet; ein weiteres Vorkommen - Dunza - liegt am Mühlbach, der in den Schesatobel mündet, in 1200 bis 1300 m SH);
 - 5) Arosa-Schuppenzone zwischen Fundelkopf-Alpila- und Zimba-Schesapiana-Schuppe (die Lagerstätte auf der Klampera-Alpe liegt am Ende des Schesatobels in 1600 bis 1700 m SH);
 - 6) Zimba-Schesapiana-Schuppe (das bedeutende Vorkommen im Schließwaldtobel, dem ersten großen nach Norden abzweigenden Seitental des Alvierbaches, liegt in 1100-1200 m SH westlich der Ortschaft Gallaverde in verkehrsgünstiger Lage; weiters zählen hierher die nächstehend angeführten Lagerstätten, auf die im folgenden noch genauer eingegangen wird: Lüner Krinne, Gipsköpfle, ein Vorkommen östlich des Gipsköpfles, Vilifau-Alpe, Sacktobel, Montafoner Jöchle, St. Anton im Montafon, Wetterböden).

Die Bearbeitung der Evaporitlagerstätten des Rhätikons wurde zunächst wegen der offensichtlichen Größe, Qualität und der günstigen verkehrsgeographischen Lage auf die Vorkommen des Montafons beschränkt. Diese erstrecken sich im Streichen auf rund 15 km Länge (Taf. 2). Im einzelnen handelt es sich um folgende Lagerstätten:

- 1) Lüner Krinne (nordöstlich des Lüner Sees in 2100 m SH gelegen),
- 2) Gipsköpfle (über der Alpe Lün, zwischen 1600 und 2000 m SH),
- 3) Vorkommen östlich des Gipsköpfles (in 1600 m SH),
- 4) Vilifau-Alpe (Großlagerstätte im hinteren Rellstal, zwischen rund 1450 und 1900 m SH gelegen),
- 5) Vorkommen im Sacktobel (zwischen 1700 und 1800 m hoch gelegen),
- 6) Montafoner Jöchle (in 1300 m SH, im Gegensatz zu den bisher genannten Vorkommen, die vom Rellstal aus zu erreichen sind, ist diese Lagerstätte von St. Anton im Montafon über den Venser Tobel zugänglich),
- 7) St. Anton im Montafon (die bis vor kurzem bebaute Lagerstätte nordöstlich der gleichnamigen Ortschaft),
- 8) Wetterböden (zwischen 1600 und 1800 m SH gelegen).

Von der geographischen Lage her erschienen die Vorkommen des Gipsköpfles, der Vilifau-Alpe und des Sacktobels als die am aussichtsreichsten. Auch von der Lagerstättenmächtigkeit und von der streichenden Erstreckung aus betrachtet bot sich dieser Raum als besonders häufig an. Die relativ reinen Gips- bzw. Anhydritkörper erreichen hier Mächtigkeiten bis zu 400 m. Zudem besteht da die Möglichkeit, daß es sich bei diesen Lagerstätten um einen im Streichen zusammenhängenden und nur örtlich

von Moränen verhüllten Evaporitkörper mit einer streichenden Erstreckung von 3 km handelt.

Alle eben genannten Vorkommen sind im Hangenden und Liegenden tektonisch begrenzt, gehörten aber ursprünglich zum Hangendbereich der Raibler Schichten (siehe hiezu Abb. 4 nach W. HARSCH 1970).

Nordalpine Raibler Schichten

Die Raibler Schichten lassen sich nach H. JERZ (1965) und W. HARSCH (1968, 1970) in vier Faziesbereiche aufgliedern. Gips-führend ist die Nord- und Westfazies. Jene läßt sich von Oberstdorf im Westen bis nahe Salzburg verfolgen⁺) und ist zweifelsohne mit der Lunzer Fazies im Osten vergleichbar. Die Westfazies (vom Arlbergpaß bis Liechtenstein) ist zwar durch mehrere klastische Horizonte von der Nordfazies unterschieden; wenn es aber darum geht, ein paläogeographisches Bild zu entwerfen, so ist es durchaus vertretbar, beide zusammen einem Ablagerungsbereich zuzuschreiben. Dieser ist durch Flachstwassersedimente, die von Zeit zu Zeit sogar trocken lagen, und Evaporite gekennzeichnet und bildet somit einen breiten tidal-flat- bzw. Sabkha-Gürtel, der nach Süden in Flachwassersedimente des stets subtidalen Bereiches der Zentralfazies übergeht.

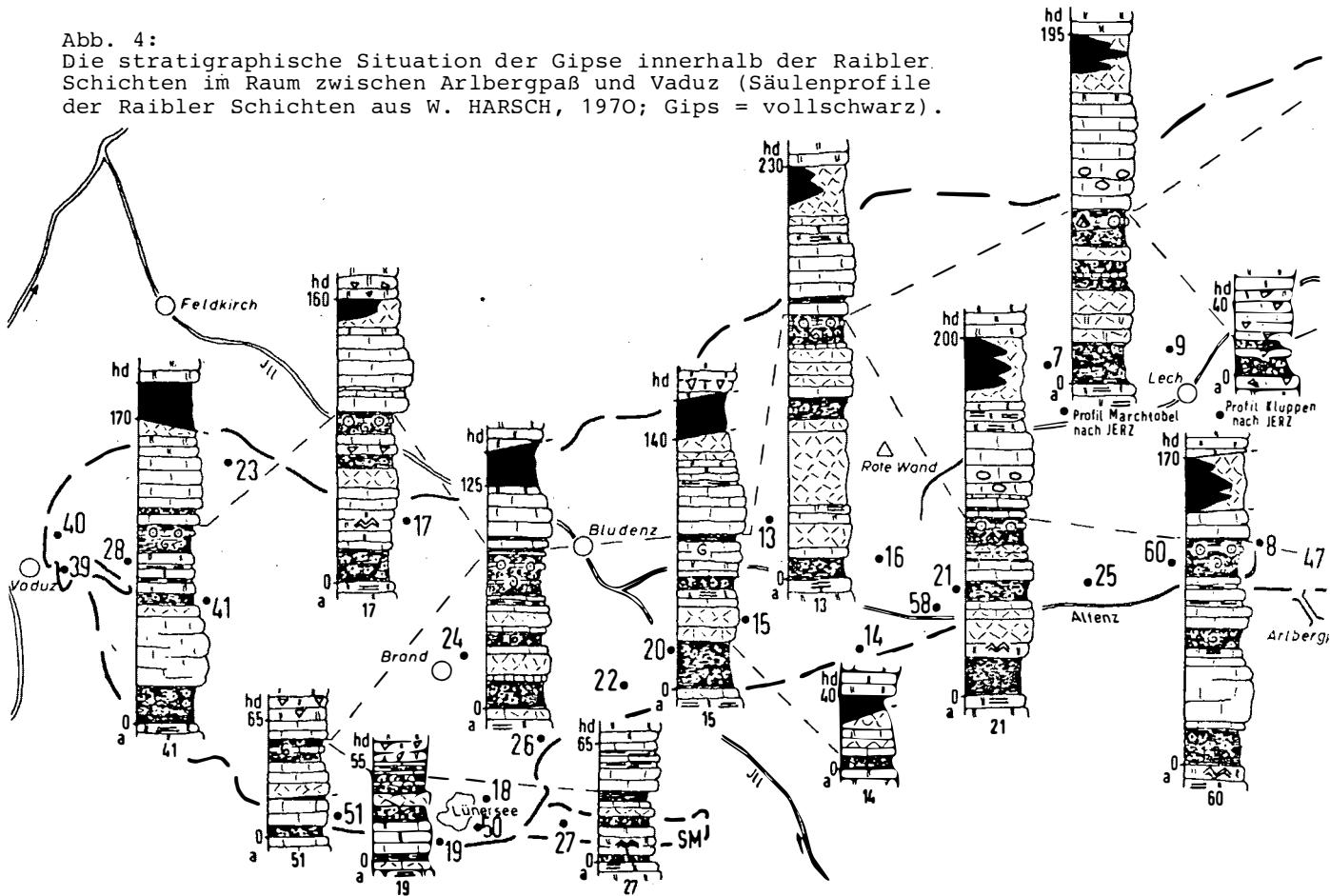
Im höheren Karn (Tuval) bestand in diesem Raum allerdings generell die Tendenz einer Verflachung, zumal zu dieser Zeit auch innerhalb der Zentralfazies stromatolithenführende Dolomite und Rauhwacken vorherrschen: Der tidal-flat-Bereich schob sich weit nach Süden vor, ohne daß es dabei in der Zentralfazies zur Gips- bzw. Steinsalzbildung kam.

Aus den von W. HARSCH (1970) dargestellten Profilen (Abb. 4) geht eindeutig hervor, daß der Gips dem Hangendabschnitt der Raibler angehört. In den meisten Vorkommen des Montafons ist aber die stratigraphische Position der Gipse innerhalb der Raibler Schichten heute nicht mehr oder nur sehr schlecht zu erfassen. Das Vorkommen an der Lüner Krinne ist, wie schon früher erwähnt, sowohl im Hangenden als auch im Liegenden gestört; der Gips ist hier überhaupt der einzige Vertreter des Karns. Infolge des diapirischen Verhaltens der Evaporite fehlen, abgesehen von den im Gips schwimmenden Dolomiten, Rauhwacken und Breccienkomponenten alle anderen Vertreter der Raibler Schichten. Das in der geologischen Karte (HEISSEL et al. 1965) eingezeichnete Raibler Vorkommen im Kammberich

⁺) In der Bohrung Vorderriß 1 in Bayern, nahe der österreichischen Staatsgrenze, wurde das Karn mit einer Gesamtmächtigkeit von 2000 m durchfahren, wobei die Hangendserie besonders durch die 1500 m mächtigen Anhydrite in Wechsellagerung mit Dolomiten herausfiel (G.H. BACHMANN et al. 1979)

Abb. 4:

Die stratigraphische Situation der Gipse innerhalb der Raibler Schichten im Raum zwischen Arlbergpaß und Vaduz (Säulenprofile der Raibler Schichten aus W. HARSCH, 1970; Gips = vollschwarz).



Frescalot-Lüner Krinne muß den Oberen Arlbergschichten zuge-rechnet werden. Im Norden ist es das Permoskyth, welches den Gips tektonisch begrenzt.

Dem Gipsköpfle fehlt die Basis, während der Hangendanteil von untypischen Raibler Schichten gestellt wird, die in den Haupt-dolomit überleiten. Möglicherweise ist sogar eine Verbindung zum nächsten Vorkommen (im Sacktobel) gegeben, wo im Liegenden noch geringmächtige Raibler Schichten auftreten (in der Geo-logischen Karte des Rätikons zu mächtig gezeichnet, da der Großteil den Oberen Arlbergschichten angehört). Der Hangend-kontakt ist nicht erschlossen; erst die Gipsvorkommen südlich und östlich des Montafoner Jöchles zeigen etwas klarer die stratigraphische Position, was zum Teil auch für das Vorkommen von St. Anton im Montafon gilt; jenes der Wetterböden steht in tektonischem Kontakt mit dem Hauptdolomit.

Bemerkungen zur Liegend- und Hangengrenze der Raibler Schichten

Im Montafon werden die Raibler Schichten von den Arlbergkalken unterlagert. Die von M. KOBEL (1969) in drei Schichtfolgen untergliederte "Arlbergformation" interessiert insoweit, als die Oberen Arlbergschichten reich an Rauhwacken, Breccien und kalkigen bzw. dolomitischen Mergeln sind. Eine derartige Gesteinsfolge wurde aber auf der Geologischen Karte des Rätikons bereits zu den Raibler Schichten gestellt und auch so aus-kartiert, d.h. die Grenze wurde etwa über den Mittleren Arlbergschichten sensu KOBEL 1969 gezogen, bei welchen es sich mehr um eine geschlossene Kalkfolge handelt, die früher unter dem Begriff "Arlbergkalk sensu stricto" lief, allerdings in einigen Profilen doch auch ein bis zwei klastische Einschal-tungen aufweisen kann. Probleme gibt es ebenso, wenn man mit W. HARSCH (1968) das Einsetzen der Raibler Schichten mit dem ersten klastischen Horizont festlegt, und beispielsweise die Sandsteine und/oder Tonschiefer innerhalb der Raibler Schich-ten ausfallen.

Studiert man die von HARSCH 1970 erstellten Profile, so gewinnt man, von wenigen Ausnahmen abgesehen, den Eindruck, der Haupt-dolomit würde völlig konform die Gipse bzw. die damit verge-sellschafteten Rauhwacken überlagern. Dem ist aber nicht so, denn der Gips tritt mit dem Hauptdolomit in tektonischen Kon-takt und dies ist in den meisten Fällen auch im Kontakt mit den Rauhwacken der Fall.

Nur dort, wo zwischen Gips und Hauptdolomit noch eine Dolomit-folge auftritt, scheint es sich um einen sedimentären Kontakt zwischen Raibler Schichten und Hauptdolomit zu handeln; es sei jedoch nur angedeutet, daß es sich in diesem Fall bereits um Dolomite des Hauptdolomits handeln könnte, und damit wiederum der Raibler Dolomit fehlen würde. In ungestörten Profilen verläuft die Grenze innerhalb einer Dolomitabfolge, d.h. man hat es in diesen Fällen mit einem Übergang zu tun, so daß eine scharfe Grenze nicht zu ziehen ist. K. CZURDA & L. NICKLAS (1970: 229) haben versucht, Unterschiede zwischen dem Raibler Dolomit und

dem Hauptdolomit herauszuarbeiten, zeigten aber selbst am Beispiel des Ochsenbodenprofils (eine 50 m-Dolomitfolge unter einem Tonschiefer-Sandsteinhorizont), daß dieser Weg nicht gangbar ist. So kam man überein, die Grenze zwischen Raibler Schichten und Hauptdolomit über dem letzten Tonschieferhorizont zu ziehen, was aber gerade in Vorarlberg auf große Schwierigkeiten stößt, zumal in vielen Profilen, wohl tektonisch bedingt, klastische Einschaltungen fehlen. Die von W. HARSCH (1978: 7) geforderte Grenzziehung (geschlossene Dolomitfolge über dem Raibler Horizont 2 c) ist insofern nicht möglich, als in dem Horizont 2 c auch feingeschichtete Dolomite, stromatolithenführende Dolomite, sedimentäre Breccien und Rauhwacken verschiedenster Art inkludiert sind, die in gleicher Weise auch im Hauptdolomit auftreten.

Sedimentologische Untersuchungen

Um den Bildungsbedingungen der Anhydrite bzw. Gipse nachzuspüren, wurden zunächst einmal Profile aus dem Randbereich von Gipslagern untersucht. Die Profilabschnitte wurden so ausgewählt, daß auch die von der Evaporitisation völlig unbeeinflußten Karbonatgesteine miterfaßt werden konnten, was nur im Bereich des Sacktobels (siehe Taf. 3) einigermaßen möglich war, da infolge des diapirischen Verhaltens der Gipse einerseits und des mobilen Verhaltens während der alpinen Gebirgsbildung andererseits, auf weite Strecken das normalstratigraphisch Liegende sehr stark reduziert ist oder sogar fehlt, wie z.B. an der Lüner Krinne (siehe Taf. 4).

Im Sacktobel wurden also zwei Profile systematisch bemustert, um vor allem das Anhalten der einzelnen Schichtfolgen in lateraler Richtung studieren zu können. Als Bezugshorizonte wurden im Liegenden eine sehr charakteristische geringmächtige Dolomit-Gips-Wechselfolge, im Hangenden das Einsetzen der Lagengipse ausgewählt.

Es hat sich herausgestellt, daß sich die Schichtfolgen zwischen den beiden Bezugshorizonten von der rein megaskopischen Betrachtung her sehr gut korrelieren lassen, von der mikrofaziellen Warte aus gesehen jedoch eine Korrelation nicht direkt möglich ist, was auf die für die Genese so entscheidenden Faziesverzahnungen zurückzuführen ist. Daß dies nicht schon von den Aufschlußverhältnissen her festzustellen war, hängt mit der durch die Evaporitisation ausgelösten Dolomitisierung und mit der im interstitutionellen Wasser ablaufenden Anhydritbildung in z.T. meist schon präexistenten Hohlräumen zusammen. So sind z.B. die zu korrelierenden Zellendolomite nichts anderes als Dolomite, die von einer starken Evaporitisation befallen wurden, obwohl sich mikrofaziell auf der einen Seite in ihnen Oosparite verbergen, während es sich auf der anderen Seite ursprünglich um Peloidschlammkalke handelt.

Das Profil Sacktobel 1 (Taf. 3) baut sich im Liegenden (gemeint ist der in diesem Gebiet überhaupt zugängliche Liegendanteil) des ersten geringmächtigen Gipsvorkommens aus dünn(cm-)bankigen

dunklen Dolomiten auf. Die einzelnen Bänke setzen sich aus Oolithen (Oospariten) zusammen.

Darüber folgt eine Sequenz aus alternierenden Lagen von Gipsen und Dolomiten, wobei die Gipslager eher einen knolligen als schichtigen Bau aufweisen. Die einzelnen Dolomitbänke zeigen einen Lagenbau, der vor allem durch ss-parallele Stylolithen hervorgerufen wird. Ursprünglich hat es sich wohl um mehr oder minder gut ausgewaschene peloidführende Kalke gehandelt; lagenweise sind, wenn auch stark untergeordnet, sterile Dolomikrite zwischengeschaltet.

Überlagert wird diese, als Leithorizont fungierende, Gips-Dolomit-Wechselfolge von ca. 8 m mächtigen, dunklen, vorwiegend dünnbankigen Dolomiten. Nur ein Teil davon weist eine Laminierung auf (laminierte Peloidkalke); der andere Teil jedoch zeigt keine bankinterne Gliederung. Bei letzteren handelt es sich um Peloidkalke mit einem hohen Anteil an einfach umkrusteten Körnern (coated grains).

Die wenig über 3 m mächtigen Zellendolomite, welche die zuvor besprochenen Dolomite ablösen, sind eher dickbankig entwickelt (bis 50 cm Bankdicke) und fallen durch ihr löcheriges Gefüge ("Messerstiche") besonders heraus. Mikrofaziell sind es vorwiegend peloidführende Dolomite mit z.T. primären Hohlraumgefügen (LF-Gefügen).

Darüber folgt ein nahezu 3 m mächtiges Paket, völlig analog wie die Zellendolomite zuvor entwickelt, die nun aber mit Gipslagen, z.T. knolliger Natur (tektonisch überformte "chicken-wire"-Gipse), alternieren. In den Zellendolomiten verbergen sich durchgehend Oosparite. Der Abschluß bilden die mehrere Meter mächtigen, durch deutlichen Lagenbau gekennzeichneten Gipse, deren Basis als hangender Leithorizont dient.

Die tiefste im Sacktobelprofil 2 erfaßbare Schichtfolge besteht aus dünnbankigen laminierten Dolomiten, wobei dicke Bänke die Basis bilden. Unabhängig von der Bankmächtigkeit setzen sich diese ausschließlich aus eintönigen peloidführenden Karbonaten zusammen.

Ebenso wie im Parallelprofil (Sacktobel 1) ist die erste Abfolge mit Gipseinschaltungen geringmächtig. Bei den einzelnen Dolomitbänken handelt es sich um ursprüngliche Peloidkalke. Die in der Bankmächtigkeit stark schwankenden, darüber einsetzenden, ca. 4 m mächtigen Dolomite weisen hinsichtlich der mikrofaziellen Zusammensetzung keinen Unterschied zur unterlagernden Sequenz auf.

Ein Fazieswechsel findet erst mit dem Einsetzen der Zellendolomite statt, die sich aus Oospariten zusammensetzen. Analog zu Profil 1 folgen darüber Dolomite, die mit Gipsen wechseln, nur mit dem Unterschied, daß anstelle von Oospariten Peloidkalke mit Hohlraumgefügen auftreten. Sie bilden den Abschluß der bis dahin durchlaufenden Karbonatgesteinsfolge und werden von mächtigen Gipsen überlagert, denen nach einigen Metern hier und da noch sehr dünne Dolomitbänkchen zwischengeschaltet sind.

Bemerkungen zur Mikrofazies

In den beiden Profilabschnitten des Sacktobels lassen sich vier Mikrofaziestypen, die genetisch eng miteinander verbunden sind, auseinanderhalten.

Oosparite (Dolomite),
Peloid-, (faecal) Pellet-Dolomite (ursprünglich Kalke),
sterile Dolomikrite,
Dolomite mit LF-Gefügen.

Oosparite

Sie werden, neben der sparitischen Matrix, aus Einfachooiden, die gegenüber den vielschaligen Normalooiden vorherrschen, zusammengesetzt, wenn auch örtlich gerade in den höheren Profilabschnitten Bänke mit ausschließlich vielschaligen Ooiden auftreten. Mehrfachooide wurden insgesamt nur zweimal beobachtet. Die Größe der Ooide liegt durchwegs zwischen 0.2 und 1 mm, wobei die Normalooide in den meisten Fällen größer als die Einfachooide sind.

Als Kerne dienten vorwiegend Peloide, während nicht mehr bestimmbar Schalenreste seltener als Kerne in Erscheinung treten. Es darf hier allerdings nicht übersehen werden, daß gut 60% der Kerne umkristallisiert sind, wodurch über den Großteil des Kernaufbaus keine weiteren Aussagen gemacht werden können.

Die Schalendicke ist bei den Einfachooiden weitaus geringer als der Kerndurchmesser, bei jenen der Normalooide dagegen wesentlich dicker. Die Sortierung ist besonders im hangenden Profilabschnitt sehr gut.

Was die Form der Ooide betrifft, so sind die Normalooide sphärisch ausgebildet, die Einfachooide vielgestaltig, d.h. mehr oder minder der Kerngestalt angepaßt. Infolge der Dolomitisierung sind die Mikrostrukturen verwischt, z.T. sogar völlig ausgelöscht. Während sich der Schalenbau noch einigermaßen gut durchpaust, fehlen Hinweise auf Radialstrukturen. Die immer wieder, wenn auch spärlich auftretenden angebrochenen Ooide entstanden wohl durch Drucklösung, wie die vielen Mikrostylolithen, die die Ooidkalke durchziehen, belegen. Die direkte Verbindung der Oosparite mit Gips hat ursprünglich den Verdacht erweckt, es könnte sich bei den Ooiden um solche des niedrigerenergetischen Ablagerungsbereiches handeln; die oben angeführten Untersuchungsergebnisse jedoch zeigen deutlich, daß es sich um solche des stärkerenergetischen Bereiches handelt.

Peloid-, (faecal) Pellet-Dolomite (ursprünglich Kalke)

Innerhalb einiger Dolomitbänke ließen sich Bereiche ausscheiden, die sich durch die Anwesenheit von ausschließlich faecal pellets in lutitischer Matrix auszeichnen. Aus diesem Grund wurden sie als Pellet-Dolomite bezeichnet. Die anderen Komponenten lassen kaum ihre ursprüngliche Natur erkennen, z.T.

sind es wohl Algenpeloids, die sich von den Schlammpeloiden einigermaßen gut auseinanderhalten lassen. Mit den Peloiden treten aber nicht selten auch Rindenkörner auf (jedoch nicht zusammen mit den faecal-pellet-Lagen), deren Ausgangsmaterial nur in seltenen Fällen noch erfaßt werden kann: z.T. sind es Ostracodenschälchen, schalenähnliche Reste, meist handelt es sich um einen homogen aufgebauten Kern. Die faecal pellets sowie Peloids und Rindenkörner schwimmen in einer lutitischen Matrix, die mehr oder minder stark ausgewaschen sein kann. Dort, wo noch der gesamte Lutit vorhanden ist, kann man eine bescheidene Bioturbation feststellen. Auffallend ist die Häufung von Ostracodenschalen in den lutitreichen Typen. In den stärker ausgewaschenen Partien sind Spirorbis-Fragmente und sehr selten Bruchstücke von Dasycladaceen beobachtbar.

Sterile Dolomikrite

Diese treten in jenen Dolomiten auf, die mit Gipslagen in Verbindung stehen bzw. dort, wo Gipsknollen innerhalb der Dolomite vorliegen. Sie stehen in engem Konnex mit den lutitreichen peloidführenden Dolomiten, mit denen sie wechselseitig. Die völlig homogen aufgebauten Lagen zeigen nur eine sekundäre Veränderung, die durch das Aufsprossen von kleinen Gipskristallen hervorgerufen wird.

Dolomite mit LF-Gefügen

Im hangendsten Abschnitt der Profile, also knapp unter den mächtigen Gipslagen, sind es Dolomite, die durch laminare Fenstergefüge hervortreten, die dem LF-B II-Typus entsprechen. Die Hohlräume sind sekundär durch Anhydrit, der zum Teil randlich wieder in Gips umgewandelt ist, ausgefüllt.

Interpretation der sedimentologischen Untersuchungsergebnisse

Ein wesentliches Hilfsmittel bei der Interpretation der Ablagerungsbedingungen der Karbonatgesteine und der damit verbundenen Anhydrit-Gips-Lager stellt die Korrelation beider Profile im Sacktobel dar (siehe Taf. 3). Aus ihr wird nun eindeutig erkennbar, warum zwar das äußere Erscheinungsbild des Gesteins eine sehr gute Korrelation zuläßt, während eine solche mit Hilfe der Mikrofazies nicht möglich ist. Bei den Oolithen handelt es sich um relativ rasch auskeilende, d.h. linsenartig bzw. keilartig aufgebaute Körper, die sich mit den Peloidkalken verzahnen, d.h. lateral von diesen abgelöst werden (Abb. 5).

Die Ooide sind, wie bereits angeführt, solche des hochenergetischen Bereiches, die im flachmarinen Areal (Intertidal) entstanden. Sie wurden verfrachtet (einen Hinweis für die Allochthonie der Ooide findet man im höheren Profilabschnitt), z.T. trugen Trockenfallen, aber auch Windfracht, zum Aufbau von Ooiddünen bzw. Ooidbarrieren bei. Hinter den Ooidbarrieren entwickelten sich über schmale Zugänge (Bereiche der Zufuhr von frischem Meerwasser) allmählich über ein kurzes Sabkha-

Lagunengipse

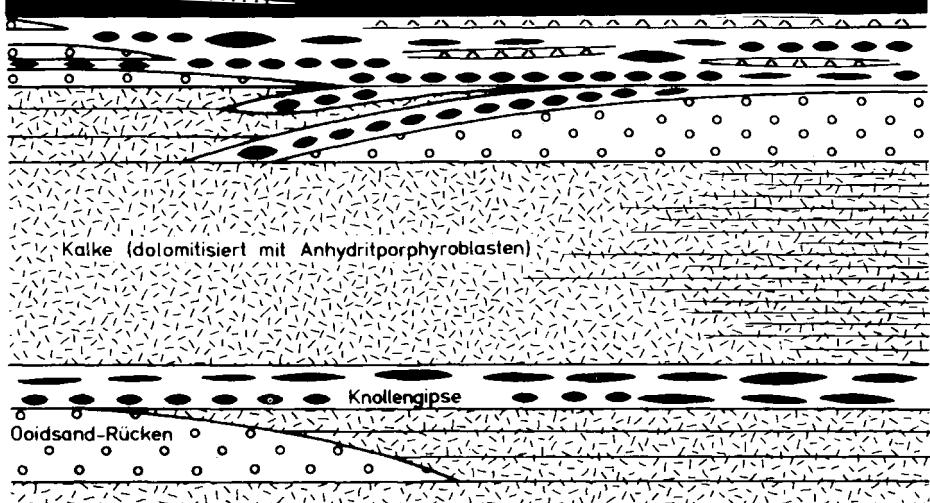
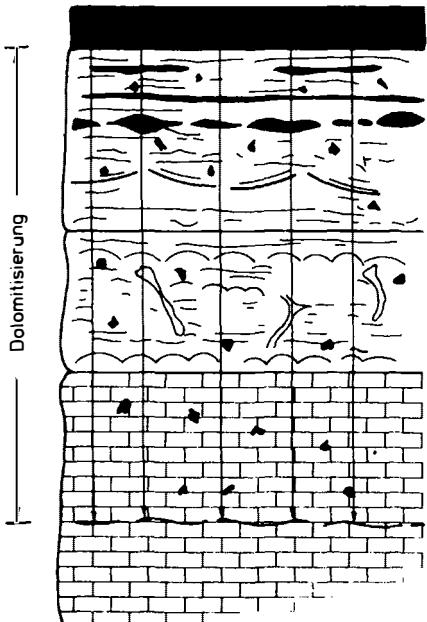


Abb. 5:
Ooidsandrücken bilden Barrieren, hinter denen sich Sabkhaareale entwickeln.

Zwischenstadium Gipslagunen heraus. Abb. 5 zeigt klar, daß die Gipseinschaltungen lagiger-knölliger Natur in Verbindung mit den Oolithen auftreten. Das relativ spärliche Vorkommen von Gips in Lagen innerhalb der Dolomite sowie die in allen Dolomiten auftretenden Anhydritsprossungen, die z.T. porenlösend auftreten und auch auf Kosten anderer Minerale wachsen, zeigen eindeutig, daß es sich hier im wesentlichen um eine Gips- und Anhydritbildung aus interstitutionellem hypersalinarem Wasser handelt, was mit anderen Worten bedeutet, daß im Intertidalbereich örtlich Sabkhabedingungen infolge der Ooidbarrieren geherrscht haben müssen. Geht man von einer tidal-flat-Ablagerung aus, die sich gegen das Meer hinausschiebt, so kann man, ähnlich wie dies F.J. LUCIA (1972: 163) für den Persischen Golf beschrieb, folgende vertikale Gliederung feststellen:

Abb. 6.

Vergleicht man diese Abfolge mit den Untersuchungsergebnissen, so scheint der im Sacktobel entwickelte Intertidalbereich bestens mit der in der Abb. 6 kurz charakterisierten Sabkhabildung übereinzustimmen. Der eigentliche Supratidalbereich fehlt im Sacktobel oder ist nur unmittelbar unter den ersten mächtigen Gipslagen in Form von Dolomiten mit LF-B II-Gefügen erkennbar. Es handelt sich dabei um jenes Gebiet, in dem bereits über den eben genannten Dolomiten mächtige Lagengipse auftreten, deren Entstehung nicht mit interstitutionellem hypersalinarem Wasser in Verbindung gebracht werden kann. Auf jeden Fall hängt hier die Genese mit dem der Verdunstung ausgesetzten Meerwasser zusammen. Die Lagengipse müssen daher als Eindampfungs-sedimente gedeutet werden, wogegen die in ihnen auftretenden sehr geringmächtigen Dolomite eindeutige Sedimente des Supratidals darstellen.



Lagunengipse (Verdunstungs - Sedimente)

Supratidal

Unregelmässige Lamination
Austrocknungsmerkmale
Fehlen von Organismen

Intertidal

Pelletkalke mit Bioturbation
Ostrakoden
Stromatolithen

Subtidal

Marine Kalke

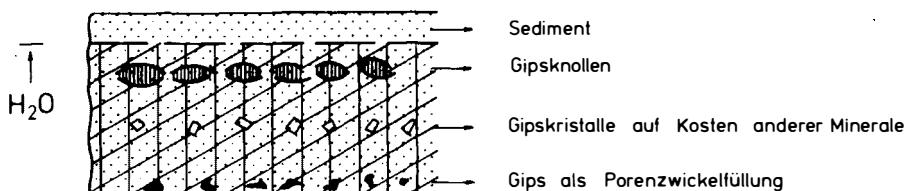


Abb. 6:

Sabkhaentwicklung mit der einhergehenden Dolomitisierung, die auch noch die subtidalen Kalke erfaßt (schwarze Signatur = Gips).

Der Ausfall eines gut entwickelten supratidalen Ablagerungsreiches mit Sabkhabedingungen kann vielleicht damit erklärt werden, daß es sich im Sacktobel um den Randbereich einer gewaltigen Evaporitfolge handelt und somit der Intertidalbereich von der kräftigen Evaporitisation miterfaßt wurde. Auf der anderen Seite sprechen jedoch die knolligen Gipse im Liegenden sowie eine über alle Dolomitfolgen hinweggreifende Gipsabscheidung in den Porenwickeln und von diesen ausgehende Metasomatosen auf Kosten der Calcite für Sabkhabedingungen. Es waren wahrscheinlich Ooidsandbarren, die innerhalb des Intertidals zunehmend zu einer Einschnürung der Frischwasserzuflöhr aus dem Flachmeerbereich führten, bis richtige Gipslagen ent-

standen. Dadurch wurde der intertidale Bereich der Lagune allmählich in einen supratidalen übergeführt, in dem es schließlich zur Entwicklung von Eindampfungssedimenten kam.

Da dem Profil der Lüner Krinne (Taf. 4) die normale karbonatische Basis, bedingt durch tektonische Äußerungen, fehlt, kann also nicht dazu Stellung bezogen werden, ob der Sacktobel eine Ausnahme darstellt. Aufgrund der Studien von W. HARSCH (1970) und H. JERZ (1965) scheinen die in der Nordfazies die Gipse unterlagernden Dolomite dem Supratidal anzugehören. Versucht man, diesen Anschauungen zu folgen, so könnte ein paläogeographisches Bild des Oberkarns (Tuval) entsprechend der Abb. 7 aussehen.

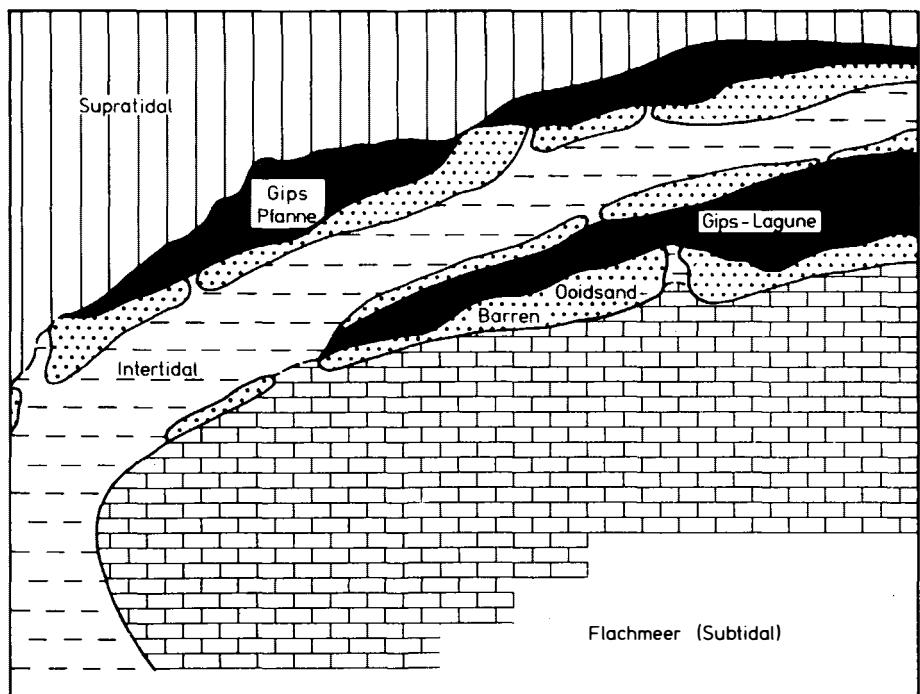


Abb. 7:
Versuch einer paläogeographischen Rekonstruktion zur Zeit des Oberkarns (Tuval) zwischen Reutte im Osten und Liechtenstein im Westen.

Die Abfolge der Lüner Krinne beginnt im Liegenden mit einer tektonischen Breccie, welche die Dolomite der Oberen Arlberg-schichten überlagert (Taf. 4). Dieser tektonische Kontakt ist auf der Taf. 5 detaillierter festgehalten, vor allem auch, um aufzuzeigen, daß die unter der Störung liegenden Oberen Arlberg-

schichten faziell ähnlich ausgebildet sein können wie die Karbonatabfolgen der Raibler Schichten.

Die oben genannte tektonische Breccie setzt sich aus Silt-, Sandstein- und Dolomitkomponenten zusammen und stellt somit den tektonisch verbliebenen Rest der Raibler Schichten dar. Die über 200 m mächtige, im wesentlichen aus Gips aufgebaute Folge ist durch das örtliche Auftreten von Dolomit-Boudins gekennzeichnet. Bei weitem herrscht ein schwarzer, völlig steriler Dolomikrit, der einen typischen Vertreter für die Evaporitabfolge darstellt, vor. Untergeordnet treten ostracodenführende Dolomikrite auf, die auch in evaporitfreien Gebieten in das stratigraphisch Liegende der Gipsfolgen zu stellen sind. Diese Dolomikrite können sowohl aus dem subtidalen als auch inter- bis supratidalen Bereich stammen (und damit z.T. auch aus dem Sabkhabereich). Da die Ablagerungen der Lüner Krinne zwischen der Störung im Liegenden und dem Hauptdolomit im Hangenden als Eindampfungssemente gedeutet werden, müssen die ostracodenführenden Dolomikrite dieser Serie im Zuge des Diapirismus in die sulfatischen Evaporite gelangt sein.

Gefügetypen von Evaporiten des Montafons

Im Montafon konnten nachstehend angeführte primäre und sekundäre Gefüge von Evaporiten nachgewiesen werden:

A) Primäre Gefüge der

- 1) Küstensabkha (coastal sabkha im Sinne von D.J.J. KINSMAN 1966, fig. 1),
 - a) Lagunensabkha,
 - b) Salzwannensabkha,
- 2) Flachwasserevaporite (diese Gefügetypen wurden bereits früher kurz erwähnt).

B) Sekundäre Gefüge

- 1) Schollengips
- 2) Schlierengips

Nach der typischen Küstensabkhaabfolge handelt es sich um Knollenlengipse ("nodular"- und "chicken-wire"-Gipse; Phototaf. 1, Fig. 4), Gips- bzw. Anhydritporphyroblasten nach dolomitischem Altbestand (Phototaf. 1, Fig. 3; Phototaf. 2, Fig. 2-4), zwickelfüllende Gipskristalle innerhalb einer dolomitisierten Kalkabfolge (Phototaf. 2, Fig. 1) und bioturbate Dolomite, die schon z.T. durch Gips verdrängt wurden, wobei aber die Wühlgefüge erhalten blieben (Phototaf. 1, Fig. 2).

Unter den Flachwasserevaporittypen treten helle laminierte Dolomite, helle Dolomite, die mit einer Mächtigkeit von 2-5 cm mit Gipsen wechsellaagern, und Dolomitaugen von ca. 3 cm Größe, die in feinstgeschichtetem Gips schwimmen, auf (Phototaf. 1, Fig. 1, 5). Weitere primäre Typen dieser Lagerstätten sind Krümelgipse, aus durch eisenreiche Karbonate durchsetzten und daher rotgefärbten fleckigen Gipsen bestehend (Phototaf. 3, Fig. 5), feinstschichtige Gipse, die eine Wechsells Lagerung verschieden gefärbter Gipse mit Lagenabständen zwischen wenigen mm und 1 cm (z.B. 9 Lagen auf 1.5 cm) aufweisen, und einzelne feine und zerrissene Mergellagen führen. Schließlich zählen auch die Lagengipse hierher, bei denen die Lagen aus Gips mit (mikrosko-

pisch feinen) eisenreichen Karbonatporphyroblasten aufgebaut werden (Phototaf. 3, Fig. 1).

Unter den sekundären Gefügetypen fallen besonders die Schollen- und Schlierengipse auf. Bei der zuerst genannten Art handelt es sich um stark tektonisierte (d.h. zuerst gefaltete und dann zerbrochene) Gipse, deren Faltenfragmente infolge der hohen Mobilität des Gipses wieder verschweißt wurden (Phototaf. 3, Fig. 2). Die Schlierengipse stellen im Gegensatz dazu offenbar weniger tektonisch beanspruchte, d.h. in sich zwar stark gefaltete, aber nicht oder kaum zerrissene Schlieren innerhalb anders texturierter Gipse dar. Diese Schlierengipse können schwarze, eckige Dolomitbruchstücke führen (Phototaf. 3, Fig. 3, 4).

Die primären und sekundären Gefügetypen wurden auch durchlichtmikroskopisch erfaßt.

An Mikrogefügen entsprechend der von R. LANGBEIN (1979: 924) vorgeschlagenen Klassifikation konnten tafelig-leistenförmige, schichtungsparallele, gestört-sperrige, normal-fibröse, büschelige, amöboide und kristalloblastische Wachstumsformen nachgewiesen werden (siehe Abb. 8).

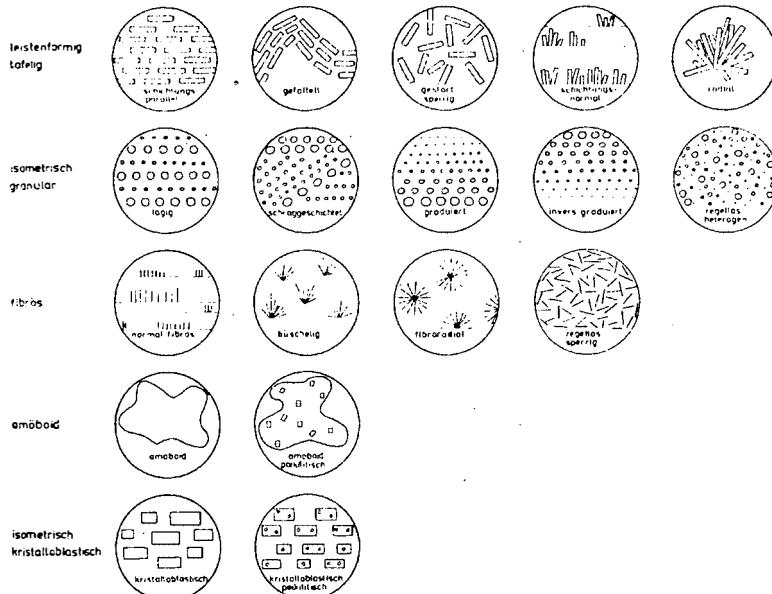
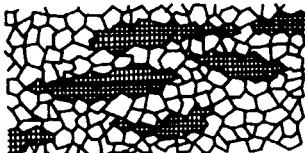


Abb. 8:

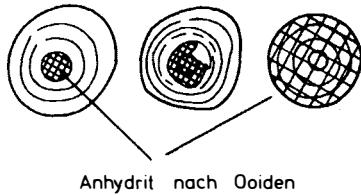
Schema zur Klassifizierung und Nomenklatur von Anhydrit-Mikrogefügen nach R. LANGBEIN, 1979.

In zwei Richtungen wachsende Leistchen (Phototaf. 5, Fig. 2) stellen einen neuen, bisher nicht beschriebenen Typus dar. Unter dem leistenförmig-tafeligen Typus wäre als weiterer neuer Typ noch eine garbenförmige Art anzuführen (Abb. 9). Die verschiedenen Typen sind aus den Tafeln 4-14 bzw. den Erläuterungen dazu zu entnehmen.

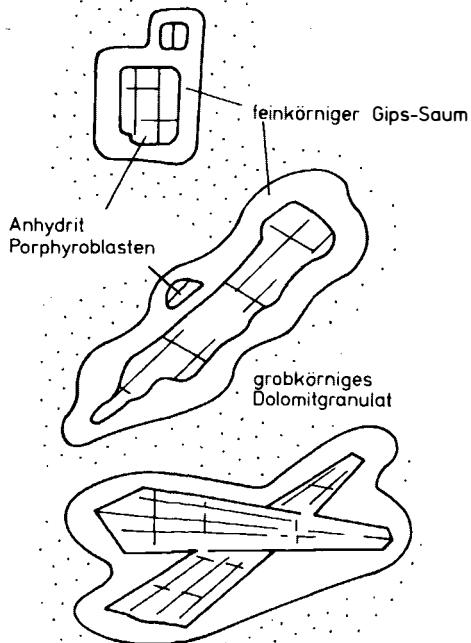
In den auf LF-Gefügen zurückgehenden Hohlräumen kristallisierte Anhydrit (jetzt in Gips umgewandelt) aus. Im Zuge der Gipsbildung wurden die Hohlräume auf Kosten des angrenzenden Dolomits etwas erweitert.



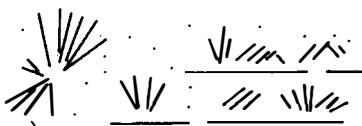
LF-Hohlräume von Gips ausgefüllt



Anhydrit nach Ooiden



Anhydrit verdrängt nicht nur den Kern der Ooide, sondern greift auf die einzelnen Schalen über, um schließlich ein ganzes Ooid unter Wahrung der Korngestalt zu verdrängen.



strahlig aufspressende Gipskristalle

Aufsporren von Anhydritporphyroblasten in den von der Dolomitisierung erfaßten subtidalen Kalken. Einmal in Form von großen Einzelkristallen, zum anderen in Form von Anhydritgarben

Büschenig-strahlig, sehr jung aufsporrende Gipskristalle, z.T. an Schichtflächen aufwachsend.

Abb. 9

Minerogenetischer Ablauf der Evaporitabfolge

1)

Es ließ sich eindeutig nachweisen, daß Raibler Tonsteine (jetzt: Tonschiefer) und Sandsteine das Liegende der Karbonat-Evaporit-Folge darstellen und im Zuge der alpidischen Gebirgsbildung in das sich bereits diapirisch verhaltende Salinar gelangten. Die gleiche tektonische Geschichte haben z.T. auch die Peloidkalke und Oolithe erfahren. Im Gegensatz dazu sind andere Oolithe und Peloidkalke in Verbindung mit Dolomiten (mit LF-Gefügen) weder vom Diapirismus, noch von anderen tektonischen Ereignissen in einer solchen Weise erfaßt worden, daß sie in die Salinarablagerungen verschleppt werden konnten. Diese Gesteine bilden vielmehr heute noch das Liegende der Flachwasserevaporite.

2)

Die Küstensabkha-Entwicklung begann mit einer frühdiagenetischen Dolomitisierung der oben genannten Kalke in Form einer erhaltenen Metasomatose im Sinne von RAGUIN (1958). Die Dolomitisierung griff, wie dies auch aus der Abb. 6 ersichtlich ist, weit in die unterlagernden marinen Kalke (des subtidalen Bereiches) hinab. Bei der fast gleichzeitigen Bildung von Anhydrit- oder Gipsknollen (chicken wire) kam es zu einer weitgehenden Gefügezerstörung. Die einzelnen Knollenlagen erreichten dabei eine Mächtigkeit von höchstens 20 cm, wobei eine Abfolge von Sulfatknoten und zwischengeschalteten Dolomiten bis zu 3 m erreichen kann.

Am besten ist die Bildung von Anhydrit als Zwickelfüller in den Hohlräumen der laminierten Fenstergefüge nachzuweisen. Etwas schwieriger erfaßbar sind die in Intergranularen abgesetzten Anhydrite, weil diese nicht nur die erwähnten Hohlräume füllen, sondern von diesen aus auch den umgebenden Dolomit teilweise verdrängen. Diese Bildungen leiten bereits zu den eigentlichen Sulfatmetasomatosen über, welche größere Räume erfaßten. Die eben erwähnte Sulfatmetasomatose setzte im wesentlichen, entsprechend den vorgegebenen Wegsamkeiten, den frühgenetisch gebildeten Dolomit, im speziellen Fall die Ooide (siehe Abb. 9) um. Alle bisher festgestellten dolomitisierten Bereiche wurden auch von der Sulfatmetasomatose erfaßt. Der Anhydrit lag dabei zumindest ursprünglich in idioblastischer, teilweise in isometrischer Form vor. Die garbenförmige Ausbildung stellt eine Sonderform der Idioblastese dar. Mit einem deutlichen zeitlichen Hiatus folgte in der Entwicklung der Küstensabkha eine Vergipsung, d.h. ein Umsatz des vorbestandenen Anhydrits und eine teilweise Verdrängung des Dolomits. Auch die Vergipsung erfaßte den gesamten obertägig aufgeschlossenen karbonatischen (und sulfatischen) Schichtstoß.

3)

Die Entwicklung der Flachwasserevaporite begann, wie schon oben erwähnt, im Liegenden mit durchgehenden Karbonatlagen. Auch innerhalb der sulfatischen Evaporitabfolge treten dunkle, feinkörnige, bituminöse Dolomitlagen auf, die zwar im Zuge des späteren Diapirismus boudiniert wurden, aber ihre Lagenkonstanz beibehalten konnten.

Abgesehen von den † durchgehenden Karbonatlagen gibt es in reinen Sulfatgesteinen Karbonatidioblasten, die aufgrund von Anhydriteinschlüssen als nach diesem Anhydrit, möglicherweise aber noch vordiapirisch gebildet angesehen werden müssen. Ein Teil dieser Karbonatidioblasten ist zonar aufgebaut und stellt aufgrund der Kornformen Pseudomorphosen nach Anhydrit des "würfeligen" Typus dar. Die nicht zonaren Karbonate unterscheiden sich von dem eben beschriebenen Typ durch ihre spindelige Form und ihre weitgehende Einschlußfreiheit. Sie erinnern an Gipsblasten, wie sie P.H. MASSON (1955) beschrieb.

Der Anhydrit stellt ein kristalloblastisches Gefüge mit hypidiomorphen bis idiomorphen Körnern dar, dessen Komponenten eine Regelung andeuten. Nach Deutungen von R. LANGBEIN (1979) könnte es sich um sekundäre, durch Dehydrierung aus Gips entstandene, Anhydrite handeln.

Als Besonderheit konnten vereinzelt zonare, völlig isolierte Anhydritidioblasten festgestellt werden.

Auch diese Anhydrite unterliegen einer späteren Vergipsung, die in den meisten Fällen von den Spaltrissen ausgeht. Manche Anhydritblasten wurden vollständig durch leistenförmigen Gips pseudomorphosiert.

4)

Unter den oben angeführten mit den Evaporiten aufgedrungenen siliciklastischen Gesteinen der Raibler Schichten herrschen Tonsteine und mergelige Gesteine bei weitem vor. Sandsteine sind dabei nur selten vorhanden. Dies erscheint deshalb durchaus verständlich, weil Sandsteine von vornehmerein nur in geringerem Ausmaß am Aufbau der Raibler Schichten beteiligt sind, und zudem ein Großteil der unterlagernden Raibler Schichten tektonisch amputiert wurde (z.B. fehlt im Profil der Lüner Krinne der gesamte untere Teil der Raibler Schichten).

Schwieriger ist es, den Anteil der außerhalb der Evaporite entstandenen Karbonatgesteine, die vom Diapirismus erfaßt wurden, abzuschätzen. Sicher können die dunklen bituminösen Dolomitlagen bzw. -boudins dem Salinarzyklus zugezählt werden, während die ostracodenführenden Dolomikrite und Oolithe eher den unterlagernden Raibler Karbonatgesteinen angehören dürften.

Die Umsetzung der Karbonatgesteine in Sulfate ging zunächst von vorgegebenen mechanischen Schwachstellen aus. Dabei kam es in der Folge neben der mechanischen Verdrängung auch zu metasomatischen Umsetzungen, die z.T. bis zu einer völligen Auflösung des ursprünglichen Gefüges führten. Reliktische Dolomitgranulate, reich an Pigmenten, wirkten als Ansatzpunkte für eine fleckenhafte Sammelkristallisation und für die Neuspröfung von Karbonatporphyroblasten.

Im Gegensatz zu den Karbonatgesteinen konnten metasomatische Erscheinungen bei den siliciklastischen Komponenten nur selten festgestellt werden. Hierher gehört z.B. die Bildung von Opal (Phototaf. 13, Fig. 1, 2). Bei den feinkörnigen Gesteinsvarianten (d.h. bei den Tonsteinen und mergeligen Gesteinen) bewirkte der Diapirismus nur eine Zurundung der Gesteinsfragmente und eine weitere mchenische Zerkleinerung längs des flächigen Gefüges.

Karnische Gipse des Montafon

	G 21	G 22	G 23	G 24	G 25	G 26	G 27	G 28	G 29	G 32	G 33	G 36	G 37	Gi23	Gi25	Gi26	Gi27
H ₂ O (40°)	0.11	0.11	0.26	0.09	0.13	0.11	0.30	0.25	0.19	0.40	0.65	0.73	0.57	0.40	0.29	0.41	0.36
xH ₂ O (250°)	17.80	19.14	13.22	18.16	16.18	18.92	19.25	17.64	8.10	10.91	18.01	16.05	18.06	18.12	18.84	18.31	17.50
CO ₂ (1000°)	4.47	2.74	4.50	1.64	8.89	2.19	1.52	3.54	26.47	10.09	2.32	6.15	2.38	2.67	2.59	2.65	3.57
SO ₃	40.30	43-61	30.25	46.00	38.19	42.62	44.50	40.89	19.35	38.89	44.16	39.36	43.85	44.57	43.65	43.53	42.17
CaO	32.81	32.65	26.08	33.20	32.78	31.41	33.19	30.68	15.00	34.05	33.55	31.25	33.10	33.35	33.50	33.50	33.25
MgO	0.81	1.01	0.60	0.81	3.63	0.91	0.40	1.81	23.18	4.33	0.30	3.03	0.50	0.91	0.30	0.30	0.61
unsl.R ₂ O ₃	1.07	0.34	17.15	0.17	0.24	2.78	0.53	3.23	4.34	0.06	0.13	1.63	0.12	0.58	0.70	0.86	1.60
SiO ₂	2.26	0.16	5.83	0.06	0.17	1.04	0.02	1.86	2.02	1.14	0.85	1.55	0.86	0.10	0.03	0.09	0.55
lsl.Fe ₂ O ₃	0.16	0.04	1.72	0.04	0.04	0.28	--	0.18	1.23	--	0.06	0.04	0.08	0.14	0.12	0.12	0.26
	99.79	99.76	99.61	100.17	100.25	100.26	99.71	100.08	99.88	99.87	100.03	99.79	99.52	100.84	99.72	99.77	99.87

Oberpermischer Gips von Kuchl bei Salzburg

H ₂ O	20.8
SO ₃	45.4
CaO	31.8
MgO	0.8
SiO ₂	1.7

(nach W. & W.E. PETRASCHECK 1950: 260)

Oberpermischer Anhydrit von Wienern am Grundlsee

CaSO ₄ · 2 H ₂ O	8.82	(15 Proben)
CaSO ₄	73.19	
MgCO ₃	5.44	
CaCO ₃	2.29	

(modifiziert nach J.G. HADITSCH 1968: 62)

	G 21	G 22	G 23	G 24	G 25	G 26	G 27	G 28	G 29	G 32	G 33	G 36	G 37	Gi23	Gi25	Gi26	Gi27	
% TO T	Gips	84.5	91.2	78.9	84.7	76.7	93.9	91.9	88.3	27.5	49.9	83.6	78.5	84.9	84.5	87.6	85.1	82.0
	Anhydrit	1.5	2.4	2.4	11.9	4.8	1.3	3.8	3.8	2.1	30.2	8.7	8.3	8.0	9.1	3.7	6.0	6.9
	Karbonat	14.0	6.4	18.7	3.4	18.5	4.8	4.3	7.9	70.4	19.9	7.7	13.2	7.1	6.4	8.7	8.9	11.1
Gew.-%	CaCO ₃	82.93	63.68	87.36	50.15	58.75	58.19	74.85	49.25	4.90	57.31	88.63	50.74	80.61	66.20	89.91	89.98	83.99
	MgCO ₃	17.07	36.32	12.64	49.85	41.25	41.81	25.15	50.75	95.10	42.69	11.37	49.26	19.39	33.80	10.19	10.02	16.01
Mol.-%	CaCO ₃	80.4	59.7	85.3	45.9	54.5	54.0	71.4	45.0	4.2	53.1	86.79	46.4	77.8	62.3	88.1	88.3	81.5
	MgCO ₃	19.6	40.3	14.7	54.1	45.5	46.0	28.6	55.0	95.8	46.9	13.21	53.6	22.2	37.7	11.9	11.7	18.5

Tabelle 4

Gips/Anhydrit/Karbonat-Verhältnis und Zusammensetzung der Karbonate

Die tonigen Komponenten dienen als Unterlage für die Ausbildung orientiert gewachsener Gipssäume.

5)

Zu den rezenten bis subrezenten Bildungen zählen randständig in Kleinhöhlen aufgewachsene Gipse, Gips- und Karbonatausheilungen von Klüften und büschelig-fibröse Gipse in den Sabkha-bildungen.

Chemische Untersuchung ausgewählter Evaporitproben

Von allen Gipslagerstätten des Montafons mit Ausnahme des aus den verschiedensten Gründen nicht weiter in Betracht zu ziehenden Vorkommens auf dem Montafoner Jöchle wurden Handproben gezogen und einer chemischen und röntgenographischen Analyse unterworfen. Die Probenahmepunkte sind der Tafel 2 zu entnehmen.

Die chemische Analyse ergab die in der Tabelle 3 aufgelisteten Werte. Vergleicht man die Analysen der Montafoner Gipse mit der des ostalpinen "Normgipses" von Kuchl bei Salzburg, so fällt auf, daß jene in der Regel weniger Kristallwasser zeigen, was auf eine stärkere Anhydritführung hindeutet.

Berechnet man aus den vorliegenden Analysen das Gips/Anhydrit/Karbonat-Verhältnis, wie dies für die Bewertung derartiger Rohstoffe üblich ist, so ergibt sich das Bild der Tabelle 4 bzw. der Abb. 10, aus welchen Darstellungen erkenntlich ist, daß es sich bei einem Großteil der Montafoner Evaporite um solche von über 80 Mol.-% Gips handelt.

Zur Feststellung der Art des Magnesiaträgers wurden aus den Analysen auch die gewichtsmäßigen Anteile bzw. Mol.-% des CaCO_3 und MgCO_3 berechnet, wie dies in der Tabelle 4 angegeben ist. Die graphische Darstellung der Verhältnisse wurde in der Abb. 11 wiedergegeben, der aus der chemischen Analyse berechnete Mineralbestand findet sich in der Tabelle 5. Aus der zuletzt genannten Tabelle geht hervor, daß in allen Proben allein aufgrund der chemischen Analyse Dolomit vorhanden sein müßte. Daneben müßte in verschiedenen Proben noch Magnesit bzw. Calcit auftreten.

Um diesen Befund zu bestätigen, wurden die Proben auch mit dem Röntgendiffraktometer untersucht. Diese röntgenographische Bearbeitung ergab eindeutig, daß in etlichen Proben kein Dolomit vorhanden war, und die auf den ersten Blick überraschende Erkenntnis, daß Magnesit neben Calcit auftreten kann. Dieser Befund kann damit erklärt werden, daß zumindest der Magnesit primär mit der Sulfatabscheidung zusammenhängt. Auch für jene Fälle, in denen keine Magnesitbildung nachgewiesen werden konnte, kann mit einer synsedimentären Dolomitgenese gerechnet werden. Der Calcit kann, wie dies auch F.J. LUCIA (1972) zeigt, auf eine epigenetische Calcitisierung bezogen werden.

Für jene Fälle, in denen zwar aus der chemischen Analyse Dolomit resultierte (z.B. Proben G 23, Gi 23, Gi 25), die aber

Abbildung 10

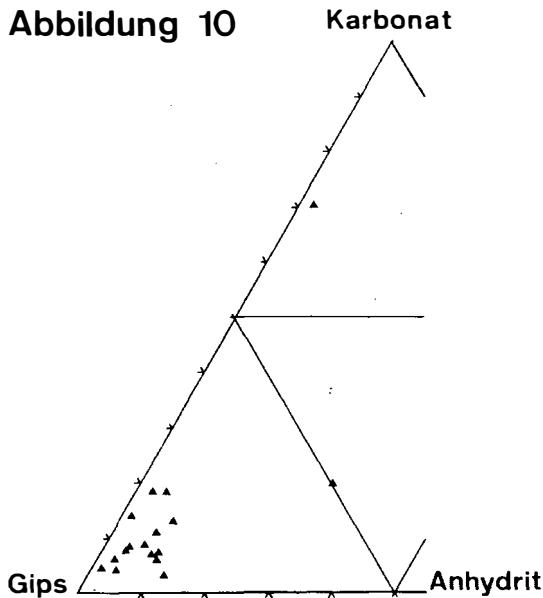
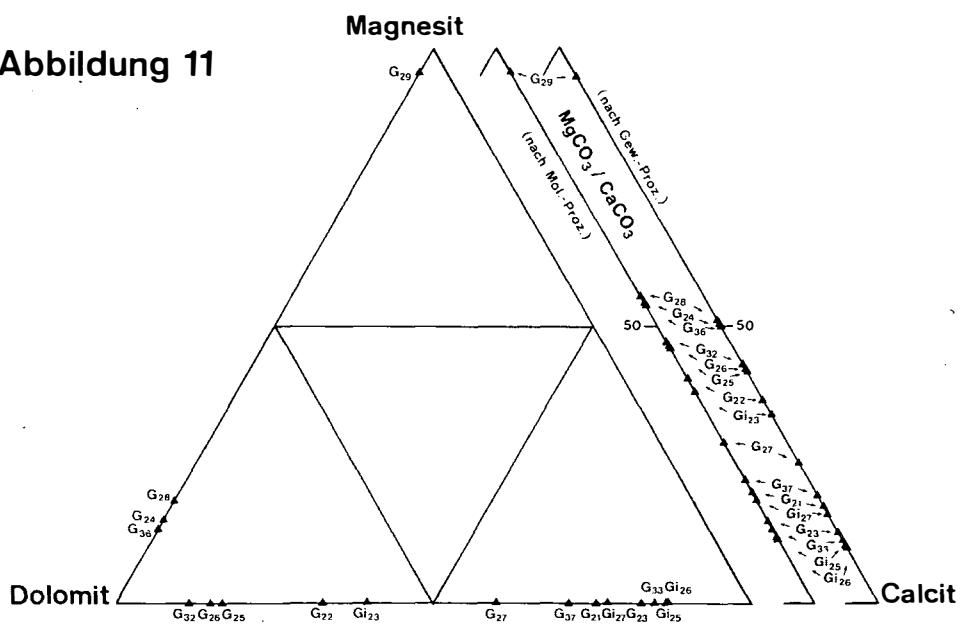


Abbildung 11



röntgenographisch keine Magnesiaträger zeigten, muß mit einer Verschleppung dolomitischen Materials im Zuge des Diapirismus gerechnet werden. Analoges trifft auch höchstwahrscheinlich für die Proben G 25 und G 26 zu, die nach der chemischen Analyse Kalkspat enthalten müßten, der sich aber röntgenographisch nicht identifizieren ließ (Tabelle 5). Grundsätzlich ist eine derartige auf den Diapirismus zurückgehende Verschleppung von Kalken denkbar, weil die Raibler Schichten außerhalb der Sabkhaentwicklung reich an kalkigen Sedimenten sind.

Zehn Gipsproben wurden zum Zweck einer röntgenographischen Tonmineralbestimmung in der bekannten Art aufbereitet. Lediglich zwei Proben zeigten im Texturpräparat geringe Mengen von Chlorit und Illit. Dieser Befund stimmt völlig mit den Ergebnissen der Untersuchungen von S. BERTHA (1979) an Raibler Gesteinen des Montafons bzw. von G. PETRIDIS (1978) an gleichen Gesteinen des Klostertales überein.

Mineralbestand Probe	aus chemischer Analyse berechnet			röntgenographisch nachgewiesen		
	Magnesit	Dolomit	Calcit	Magnesit	Dolomit	Calcit
Lüner G 21		+	+	+		+
Krinne G 22		+	+	+		
G 23		+	+			+
Gips- G 24	+	+		+		
köpfle G 25		+	+		+	
G 26	+	+			+	
E Gips- G 28	+	+		+		
köpfle						
Vilifau- G 29	+	+		+		
Alpe G 36	+	+		+		
Sack- G 32		+	+		+	
tobel G 33		+	+		+	+
Wetter- Gi23		+	+			+
boden Gi25		+	+			+
Gi27	+	+			+	+

Tabelle 5

Schlußfolgerungen und Empfehlungen

Aufgrund der gegenwärtigen und prognostizierten Marktsituation kommt den Evaporitlagerstätten Österreichs und in besonderem Maß den verkehrs- und wirtschaftsgeographisch günstig gelegenen Gipsvorkommen eine besondere Bedeutung zu. Unter diesen Gesichtspunkten wurden die Evaporitlagerstätten des Montafons, über welche bisher jegliche geowissenschaftlichen Studien fehlten, untersucht.

Unter Berücksichtigung der derzeit an derartige Lagerstätten zu stellenden Anforderungen können nach der nunmehr vorliegenden ersten, orientierenden Untersuchung die Vorkommen im oberen Rellstal, namentlich die des Gipsköpfles, der Vilifau-Alpe und des Sacktobelns für eine weitere Erkundung empfohlen werden. Künftige geowissenschaftliche Arbeiten hätten vor allem eine Feststellung der Lagerstättenform und der Qualität des Lagerstätteninhalts (über eine Verdichtung des Probenahmenetzes), eine Bestimmung der Mächtigkeit und Form des Gipshutes und eine Vorratsberechnung zur Aufgabe. An die Geotechnik stellt sich vor allem die Frage nach der Gestaltung eines umweltschonenden Abbaues in einem landschaftlich reizvollen und daher schutzwürdigen Gebiet.

Sieht man von wenigen, die heimischen Steinsalzlagerstätten betreffenden Arbeiten ab, so fehlen bisher eingehende petrographische Abhandlungen unserer Salinarvorkommen. Wie die nunmehr vorliegende Arbeit zeigt, sind derartige Studien auch durchaus geeignet, wichtige Hinweise auf die Genese, Tektonik und Paläogeographie zu geben. Es erscheint daher auch in diesem Zusammenhang sinnvoll, eine umfassende petrographisch-geochemische Untersuchung der ostalpinen Evaporitvorkommen anzuregen.

Danksagung

Die vorliegende Arbeit wurde im Rahmen des Projektes Nr. 2145 des Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (Minerallagerstätten im Montafon) durchgeführt. Der fördernden Institution sei für die Bereitstellung der finanziellen Mittel für die Sach- und Geländekosten bestens gedankt. Für einen Druckkostenzuschuß sei dem Amt der Vorarlberger Landesregierung der Dank ausgesprochen.

Literatur

- ANGERER, H. (1978): Postvariszische Sedimente im Montafon (Vorarlberg). - Diss., Univ. Innsbruck.
- BERTHA, S. (1979): Rohstoffkartierung und Gefahrenzonenplanung im Außermontafon und Silbertal (Vorarlberg). - Unveröff. Diss., Univ. Innsbruck, 90 S.
- BRANDNER, R. (1978): Tektonisch kontrollierter Sedimentationsablauf im Ladin und Unterkarn der westlichen Nördlichen Kalkalpen. - Geol.Paläont.Mitt.Innsbruck, Bd. 8 (Festschrift W. HEISSEL), S. 317-354, Innsbruck.
- CZURDA, K. & L. NICKLAS (1970): Zur Mikrofazies und Mikrostratigraphie des Hauptdolomites und Plattenkalk-Niveaus der Klostertaler Alpen und des Rhätikon (Nördliche Kalkalpen, Vorarlberg). - Festbd.d.Geol.Inst., 300-Jahr-Feier Univ. Innsbruck, S. 165-253, Innsbruck.
- DIN 1168 (1975): Baugipse. Begriff, Sorten und Verwendung, Lieferung und Kennzeichnung. Anforderungen, Prüfung, Überwachung. - Blatt 1 (Mai 1975), Teil 2 (Juli 1975) 2 + 8 S.
- DUFF, P. McL.D.; HALLAM, A. & E.K. WALTON (1967): Cyclic sedimentation. - Developments in Sedimentology, 10, Elsevier Publishing Comp., Amsterdam, London, New York.
- FLÜGEL, E. (1978): Mikrofazielle Untersuchungsmethoden von Kalken. - 454 S., 33 Taf., 68 Textabb., 57 Tab., Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York.
- HARSCH, W. (1968): Lithofazielle, sedimentologische und paläogeographische Untersuchungen in den Raibler Schichten der Nördlichen Kalkalpen zwischen Fernpaß und Rhein sowie verschiedener Vorkommen in Graubünden. - Diss., Technische Hochschule München.
- HARSCH, W. (1970): Zur Sedimentologie und Paläogeographie der Raibler Schichten (Ober-Trias) im Westteil der Nördlichen Kalkalpen. - Z.deutsch.geol.Ges., Jg. 1969, 121, S. 253-272, Hannover.
- HEISSEL, W.; OBERHAUSER, R.; REITHOFER, O. & O. SCHMIDEGG (1965): Geologische Karte des Rätikon. - 1:25 000, Wien.
- JERZ, H. (1965): Zur Paläogeographie der Raibler Schichten in den westlichen Nordalpen. - Z.deutsch.Geol.Ges., 116, S. 427-439, Hannover.
- KINSMAN, D.J.J. (1966): Gypsum and anhydrite of recent age, Trucial Coast, Persian Gulf. - In: Second Symposium on Salt: N. Ohio geol. Soc., 1, S. 302-326.
- KINSMAN, D.J.J. (1969): Modes of Formation, Sedimentary Associations, and Diagenetic Features of Shallow-Water and Supratidal Evaporites. - Amer.Assoc.Petroleum Geologists Bull., 53, 830-840.
- KOBEL, M. (1969): Lithostratigraphische und sedimentologische Untersuchungen in der kalkalpinen Mitteltrias (Anisian und Ladinian) des Rätikon (Österreich und Fürstentum Liechtenstein). - Mitt. aus dem Geol. Inst. ETH Zürich, N.F. 118.
- LANGBEIN, R. (1979): Petrologische Aspekte der Anhydritbildung. - Z.geol.Wiss. Berlin, 7, S. 913-926.
- LEICHTFRIED, W. (1978): Feinstratigraphische Untersuchungen im Permoskyth des Montafon (Vorarlberg). - Diss.Univ.Innsbruck.

- LUCIA, F.J. (1972): Recognition of evaporite-carbonate shore-line sedimentations. - Soc.Econ.Pal.Min.Spec.Publ., 16.
- MASSON, P.H. (1955): An Occurrence of Gypsum in Southwest Texas. - Journ.Sed.Petrol. 25, 72-77.
- MOSTLER, H. (1972): Zur Gliederung der Permoskyth-Schichtfolge im Raume zwischen Wörgl und Hochfilzen (Tirol). - Verh.Geol. B.A., Wien.
- MOSTLER, H. (1968): Anhydrite and Gypsum in Low-Grade Metamorphic Rocks along the Northern Margin of the Grauwackenzone (Tyrol, Salzburg). - Symposium on the Geology of Saline Deposits, Hannover 1968.
- MOSTLER, H. & R. ROSSNER (1976): Stratigraphisch-fazielle und tektonische Betrachtungen zu den Aufschlüssen in skyth-anischen Grenzschichten im Bereich der Annaberger Senke (Salzburg, Österreich). - Geol.Paläont.Mitt.Innsbruck, Bd.6, 2, S. 1-42, Innsbruck.
- NACHTMANN, W. (1975): Zur Sedimentologie des alpinen Muschelkalkes in den östlichen Gailtaler Alpen (Kärnten). - Car. II, 165/85, S. 37-60, Klagenfurt.
- PETRASCHECK, W. & W.E. PETRASCHECK (1950): Lagerstättenlehre. - 410 S., Springer-Verlag, Wien.
- PETRASCHECK, W.E. (1976): Österreichs Potential an Gipslagerstätten. - Univ.Ber.für das Bundesministerium für Handel, Gewerbe und Industrie, 1 + 8 S., März 1976, Leoben.
- PETRIDIS, G. (1978): Rohstoffkartierung und Gefahrenzonenplanung im Klostertal (Vorarlberg). - Unveröff.Diss., Univ.Innsbruck.
- PLÖCHINGER, B. (1967): Erläuterungen zur Geologischen Karte des Hohe-Wand-Gebietes (Niederösterreich). - 142 S., 20 Abb., 4 Taf., Geol.B.-A., Wien.
- RAGUIN, E. (1958): Erscheinungen der Siderit-Metasomatose. - BHM, 103, 12, S. 240-243.
- RICHTER-BERNBURG, G. (1955): Über saline Sedimentation. - T.dtsch.GeoL.Ges., 105, S. 539-645, Hannover.
- TOLLMÄNN, A. (1976): Analyse des klassischen nordalpinen Mesozoikums. - 580 S., 256 Abb., 3 Taf., Franz Deuticke, Wien.

Tafelerläuterungen

Phototafel 1

(außer Fig. 1, 5 alles Original-Dünnschliffgröße, der Rest = 1/3 der Handstückgröße)

- Fig. 1, 5 "Dolomitaugen" schwimmen im geschichteten, z.T. schon entschichteten Gips; die Proben stammen aus Eindampfungswannen.
- Fig. 2 Gips, alternierend mit schwarzen Dolomitlagen; ein Teil des Gipses wächst auf Kosten des Dolomitaltbestandes, wobei die Grabgänge des ehemaligen Dolomits noch erhalten geblieben sind (Grabgänge siehe links oben).
- Fig. 3 Laminierter poröser Dolomit; die hellgrauen bis nahezu weißen Areale bestehen aus Anhydrit- bzw. Gipsporphyroblasten; sie sind zumindest z.T. auf Kosten des dolomitischen Altbestandes gewachsen.
- Fig. 4 Knollengipse aus dem Sabkhabereich die Knollen im Hangenden der Dolomitlage (schwarz) sind etwas deformiert.

Phototafel 2

(alles Original-Dünnschliffgröße)

- Fig. 1 Zwickelfüllende Gips- bzw. Anhydritkristalle im laminierten Dolomit.
- Fig. 2 Anhydritporphyroblasten im laminierten Dolomit, quer aufsprossend; der Rand der sehr großen Anhydritidioblasten ist stets in ein feinkörniges Gemenge, aus Gips bestehend, umgesetzt.
- Fig. 3-4 Anhydrit verdrängt, zum Teil von vorgegebenen Hohlräumen ausgehend, den Dolomit; bis zu 40% werden von Anhydrit bzw. von Gips eingenommen.

Phototafel 3

(alles Handstücke, 1/3 der natürlichen Größe)

- Fig. 1 Lagengipse: die unterschiedliche Färbung der Lagen ergibt sich aus einem Wechsel von sehr reinen, völlig weißen Gipslagen und solchen, die eisenreiche Karbonatporphyroblasten führen.
- Fig. 2 Schollengips: gefaltete bzw. zerscherte und zerbrochene Gipse, die infolge der hohen Mobilität wieder miteinander verschweißt wurden, wodurch der ursprüngliche brecciose Charakter sehr stark verwischt wird.
- Fig. 3, 4 Schlierengips: stark gefalteter bis gefältelter Gips, dessen Lagen in einem rekristallisierten Gipsgranulat als Schlieren erhalten sind.
- Fig. 5 Krümelgips: rotfleckige krümelige Gipse, in

denen kleine, regellos verteilte Gipspartien auftreten (helle Flecken = reiner Gips, dunkle Flecken = Gipse, etwas karbonatführend).

Phototafel 4

- Fig. 1 Gestört-sperriges Gefüge mit wolkiger Aggregatbildung. (Probe G 26); + Pol.; 28,7 x; Gipsköpfle.
- Fig. 2 Gipsschwaden (z.T. gestört-sperrig) mit Karbonatblasten, über größere Bereiche polykristalline Aggregatbildung. (Probe Gi 27); + Pol.; 28,7 x; Wetterboden.
- Fig. 3 Gewebestruktur (normal-fibrös) mit Klüften verschiedenem Alters. Klüfte diskordant in einer Richtung. (Probe LK 8); + Pol.; 24 x; Lüner Krinne.
- Fig. 4 Schlieriger Gips ohne erkennliche Kornregelung, ungefähr gleichkörnig. (Probe G 27); + Pol.; 28,7 x; E Gipsköpfle.

Phototafel 5

- Fig. 1 Schwach geregeltes Bändergefuge aus Gips. (Probe G 27); + Pol.; 28,7 x; E Gipsköpfle.
- Fig. 2 Schilfige Gipsaggregate mit nach zwei Richtungen entwickelten Leistchen. (Probe G 27); + Pol.; 28,7 x; E Gipsköpfle.
- Fig. 3 Jüngere amöboide Wolken von Gipsaggregaten in kaum geregelter Gipsmatrix. (Probe G 33); + Pol.; 28,7 x; Sacktobel.
- Fig. 4 Grobes Anhydritpflaster (kristalloblastisch) mit unregelmäßig verteiltem Pigment, vereinzelt Karbonatblasten und einer Fasergipsbildung in den Klüften. (Probe G 24); 1 Pol.; 115 x; Gipsköpfle.

Phototafel 6

- Fig. 1 Zonarer Karbonatidioblast, randlich von Gips verdrängt, mit Hof von feinkörnigem Gips mit Gewebestruktur. (Probe G 33); 1 Pol.; 115 x; Gipsköpfle.
- Fig. 2 Karbonatidioblast, zonar, in Gips mit Gewebestruktur. (Probe G 33); 1 Pol.; 115 x; Sacktobel.
- Fig. 3 Karbonatspindel, durch Gips randlich korrodiert. (Probe Gi 27); 1 Pol.; 115 x; Wetterböden.
- Fig. 4 Aufsprossen von spindelförmigen Karbonatblasten, z.T. wieder resorbiert (ss : senkrecht). (Probe Gi 27); 1 Pol.; 28,7 x; Wetterböden.

Phototafel 7

- Fig. 1 Zonarer Karbonatidioblast in tafeligem, leistenförmigem, teilweise resorbiertem Anhydrit

- bzw. Gipsseudomorphosen nach Anhydrit.
(Probe G 24); + Pol.; 115 x; Gipsköpfle.
- Fig. 2** Karbonatidioblast mit Zonarbau; der Kern setzt sich aus einem resorbierten Anhydritkriställchen in der Art der Lagunen-Atoll-Struktur zusammen. (Probe G 24); + Pol.; 287 x; Gipsköpfle.
- Fig. 3** Karbonatidioblast mit noch zusammenhängenden Anhydritfragmenten im Kern. (Probe G 24); + Pol.; 28,7 x; Gipsköpfle.
- Fig. 4** Vergrößerung voriger Aufnahme. Fasergipsssaum deutlich erkennbar. (Probe G 24); 1 Pol.; 287 x; Gipsköpfle.

Phototafel 8

- Fig. 1** Zonarer Karbonatidioblast mit einem unregelmäßig geformten Kern aus feinkörnigem Karbonat und einzelnen größeren Anhydritkörnern. (Probe G 24); 1 Pol.; 115 x; Gipsköpfle.
- Fig. 2** Schichtungsparallel angeordnete tafelige Anhydrite. (Probe G 24); 1 Pol.; 28,7 x; Gipsköpfle.
- Fig. 3** Zonarer Anhydrit, mit dunklem Pigment durchstäubt; teilweise getrübter Innen- und klarer Außensaum; (Probe G 28); 1 Pol.; 97,5 x; E Gipsköpfle.
- Fig. 4** Sandsteinresediment mit in Sandstein später aufgesproßten kleinen hypidiomorphen bis idiomorphen Karbonatkristallen in krümeligem Gips, der z.T. aus feinsten pigmentierten Lagen (in dér Abbildung: grau) und darin aufgesproßten hellen Gipskristallen besteht. (Probe G 23); 1 Pol.; 28,7 x; Lüner Krinne.

Phototafel 9

- Fig. 1** Dunkle tonige Klasten mit Lagengefüge und Gipsssaum mit Pyrit. (Probe G 21); 1 Pol.; 115 x; Lüner Krinne.
- Fig. 2** Dunkel gefärbte, länglich struierte Lithoklasten mit Gipssäumen. (Probe G 26); 1 Pol.; 28,7 x; Gipsköpfle.
- Fig. 3** Resediment in Gips, nur randlich resorbiert und mit Fasergipsssaum. Links fast völlig umgesetztes Resediment unter Erhaltung des Internengefüges. (Probe G 21); 1 Pol.; 115 x; Lüner Krinne.
- Fig. 4** Wie Fig. 3, aber bei gekreuzten Polarisatoren. (Probe G 21); + Pol.; 115 x; Lüner Krinne.

Phototafel 10

- Fig. 1** Tonklümpchen mit Fasergipsrändern an der Oberseite. Geopetales Gefüge. (Probe LK 30); 1 Pol.; 24 x; Lüner Krinne.

- Fig. 2 Tonscherben in einer \pm homogenen Gipsmasse, in der vereinzelt Karbonatblasten aufsprossen. (Probe LK 30); 1 Pol.; 24 x; Lüner Krinne.
- Fig. 3 Randlich pigmentierte Dolomitkomponente, innen mit reliktischem Ooid. (Probe G 20); + Pol.; 115 x; Lüner Krinne.
- Fig. 4 Oosparit mit auffallenden opazitischen Pigmentsäumen um einzelne Ooide. (Probe G 20); 1 Pol.; 115 x; Lüner Krinne.

Phototafel 11

- Fig. 1 Peloiddolosparitlage in Gips, beide von einer Kluft durchschlagen, die mit randständigem Calcit ausgefüllt ist. (Probe G 29); + Pol.; 28,7 x; Vilifau-Alpe.
- Fig. 2 Dolomitlage mit Kluftfüllungen aus Gips unterschiedlichen Alters. (Probe Gi 22); + Pol.; 115 x; Wetterböden.
- Fig. 3 Von Gips teilweise resorbierte Dolomitlage (feinkörnig). In teilweise geregeltem Gips treten Karbonatblasten (hypidiomorph bis idiomorph) auf. (Probe G 29); + Pol.; 28,7; Vilifau-Alpe.
- Fig. 4 Dolomit-Lithoklast, randlich von Gips angefressen. (Probe G 29); 1 Pol.; 115 x; Vilifau-Alpe.

Phototafel 12

- Fig. 1 Teilweise durch Gips resorbierte Dolomitlage. (Probe Sa 15); 1 Pol.; 24 x; Profil Sacktobel 2.
- Fig. 2 Unregelmäßig entwickelter Kern aus feinem, pigmentiertem Karbonat in einem hypidiomorphen Karbonatblasten. Bedeutsam sind einzelne kleine Karbonatkörper entlang der Intergranularen im umgebenden Karbonatpflaster, die als Reste vorbestandener resorbiert Karbonatlagen gedeutet werden. (Probe G 24); 1 Pol.; 115 x; Gipsköpfle.
- Fig. 3 Anhydritpflaster mit Resten einer fast völlig aufgezehrten feinkörnigen Dolomitlage. (Probe G 24); + Pol.; 28,7 x; Gipsköpfle.
- Fig. 4 Der gleiche Dünnschliffausschnitt, aber nur unter einem Polarisator. (Probe G 24); 1 Pol.; 28,7 x; Gipsköpfle.

Phototafel 13

- Fig. 1 Zwickelfüllung aus schwach anisotropem Opal. (Probe LK 30); + Pol.; 97,5 x; Lüner Krinne.
- Fig. 2 Dunkle Fuge aus schwach anisotropem Opal. (Probe LK 30); + Pol.; 97,5 x; Lüner Krinne.
- Fig. 3 Karbonatblasten, zu rundlichen Körnern durch Gips korrodiert. Die Blasten sind auf Kosten von feinkörnigen Dolomitlagen durch Sammellektion unter teilweiser Aufzehrung

des Dolomitaltbestandes gesproßt (siehe dunkle Matrix). (Probe G 22); + Pol.; 115 x; Lüner Krinne.

Fig. 4. Wie Fig. 3, aber bei nur einem Polarisator.
(Probe G 22); 1 Pol.; 115 x; Lüner Krinne.

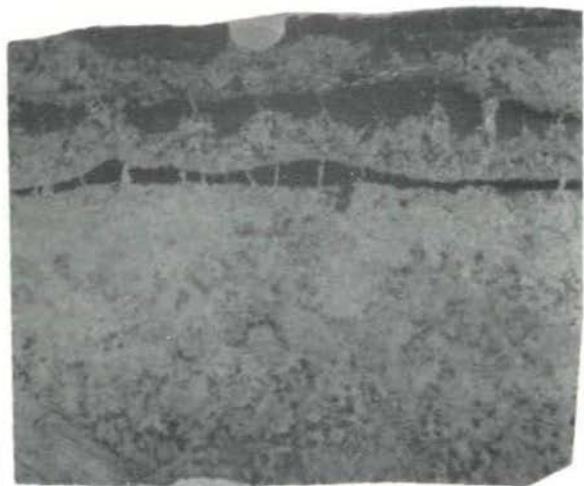
Phototafel 14

- Fig. 1 Karbonatpflaster mit pigmentfreien Anwachs-säumen. (Probe F 25); 1 Pol.; 28,7 x; Gips-köpfle.
- Fig. 2 Kleinhöhle mit wandständigem Gipszement.
(Probe G 28); + Pol.; 28,7 x; E Gipsköpfle.
- Fig. 3 Feinkörniger Gips, auf dem größere Gipsidio-blasten aufwachsen, die das Pigment vor sich her schieben bzw. an den Kristallgrenzen anreichern. Links bleibt ein Restlumen erhalten. (Probe LK 8); 1 Pol.; 97,5 x; Lüner Krinne.
- Fig. 4 Wie Fig. 3, aber bei gekreuzten Polarisatoren.
(Probe LK 8); + Pol.; 97,5 x; Lüner Krinne.

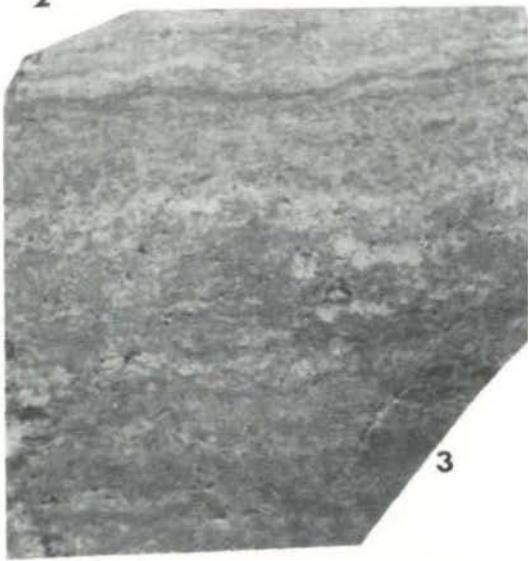
Fototafel 1



1



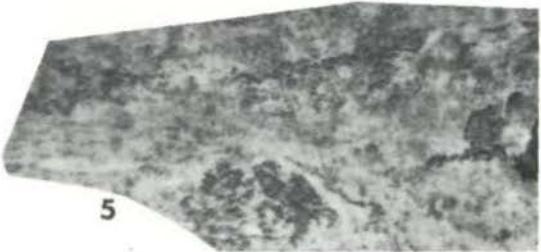
2



3

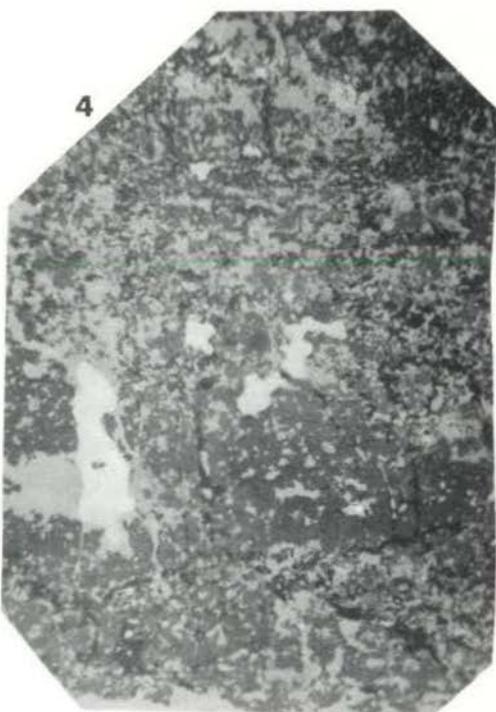
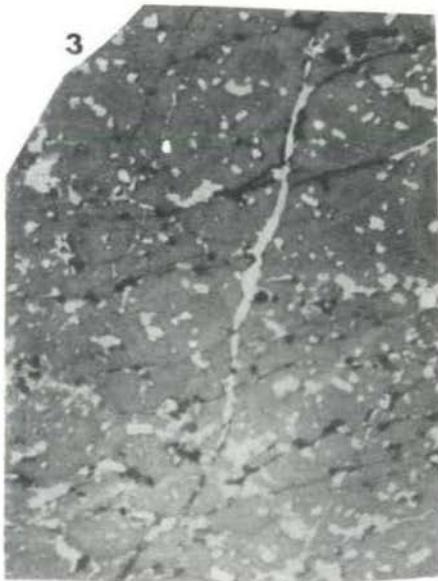
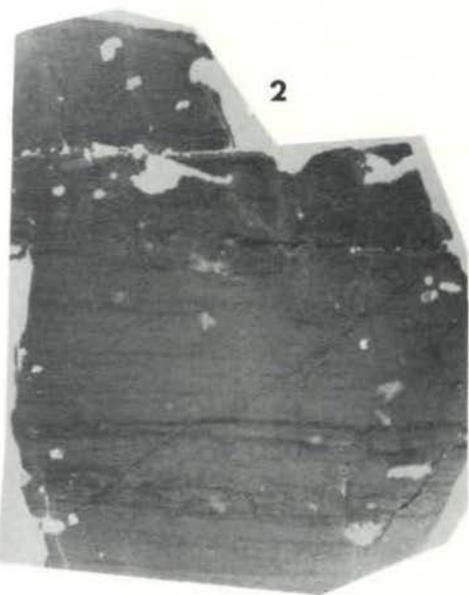


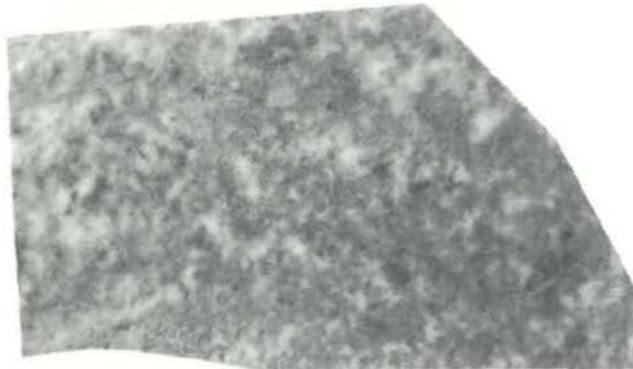
4



5

Fototafel 2

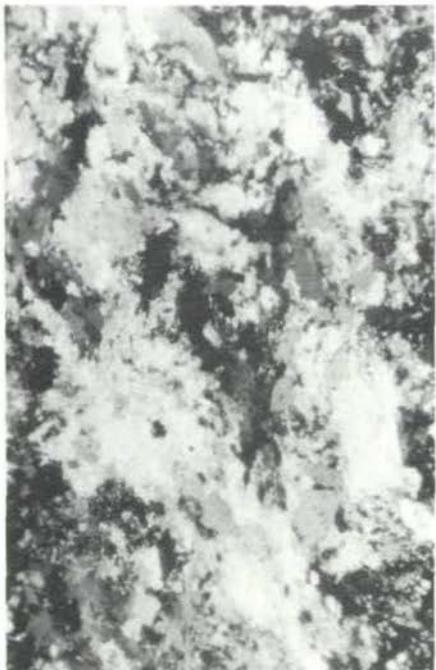




Fototafel 4

1

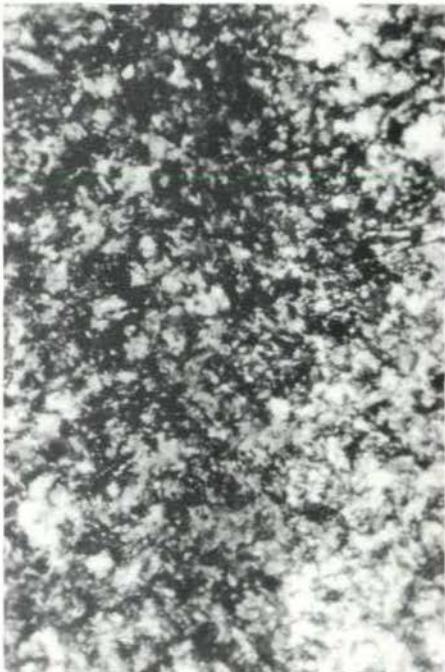
2



3

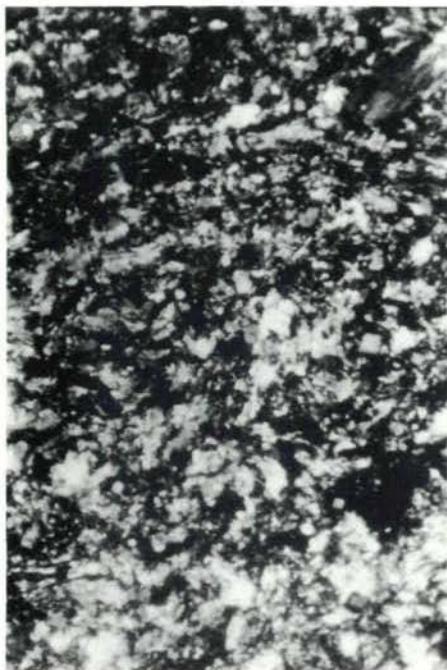


4

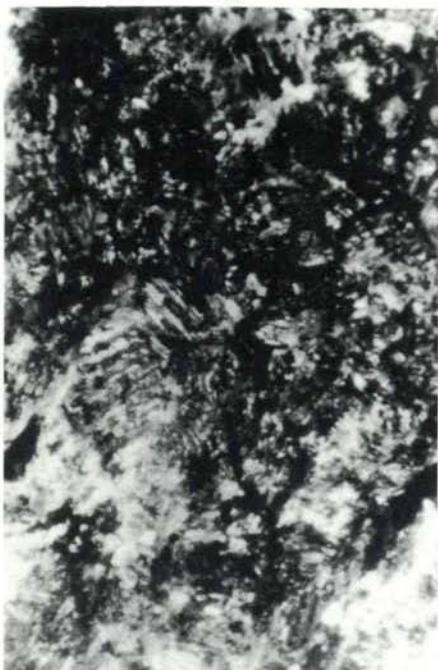


Fototafel 5

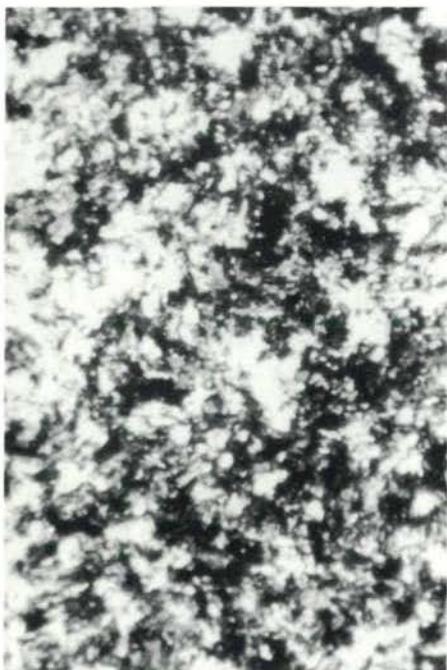
1



2



3

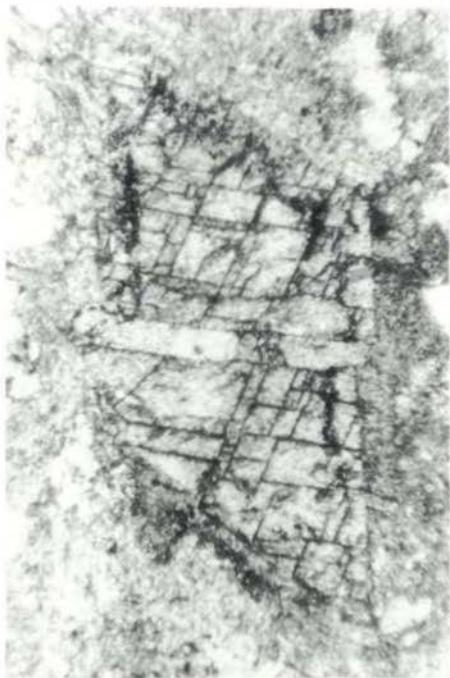


4



Fototafel 6

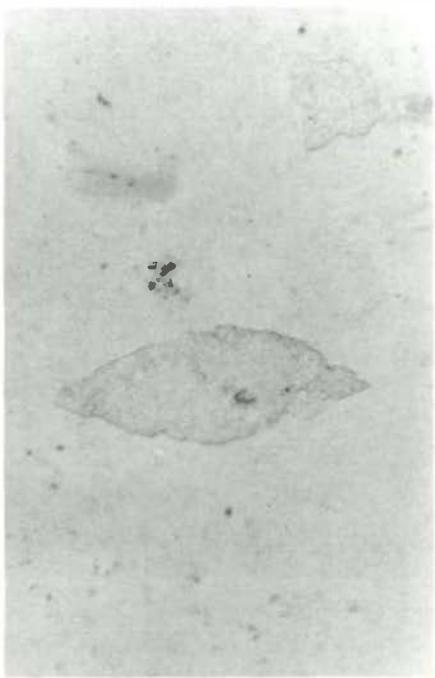
1



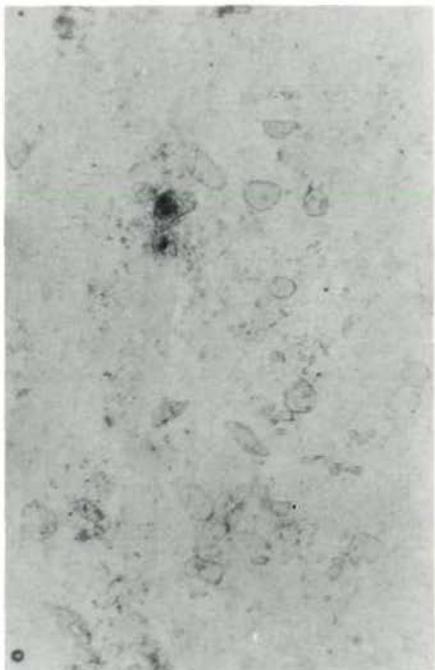
2



3



4



Fototafel 7

1



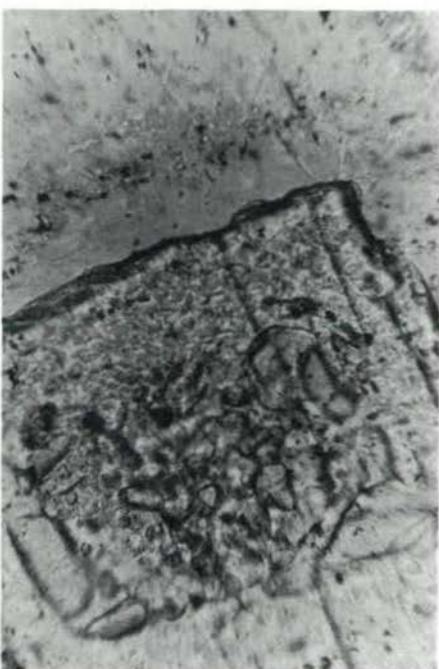
3



2

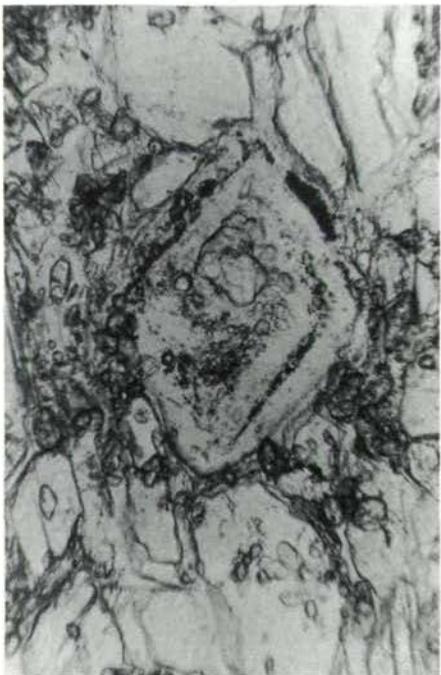


4



Fototafel 8

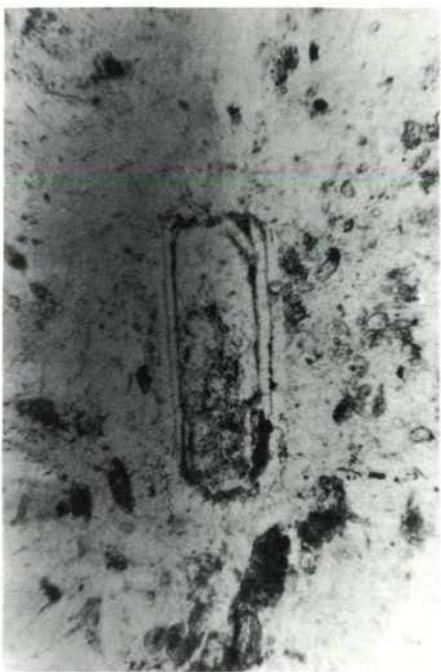
1



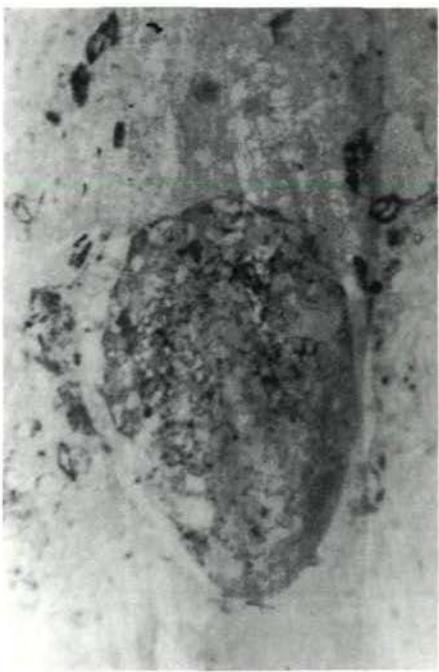
2



3

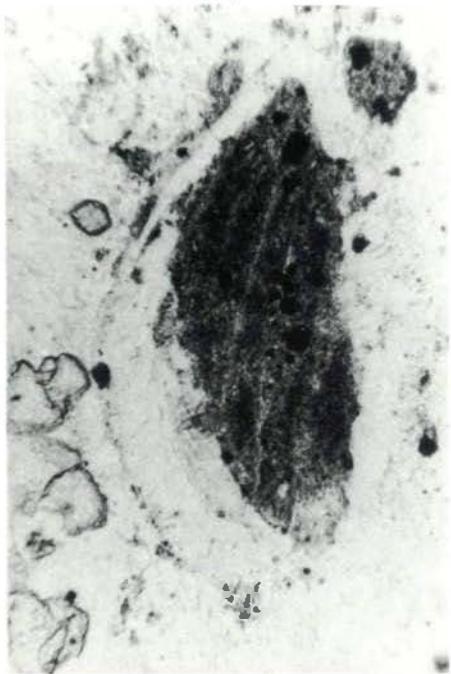


4



Fototafel 9

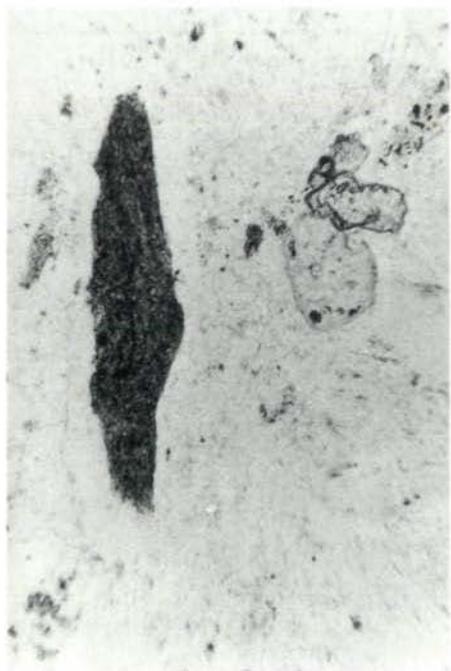
1



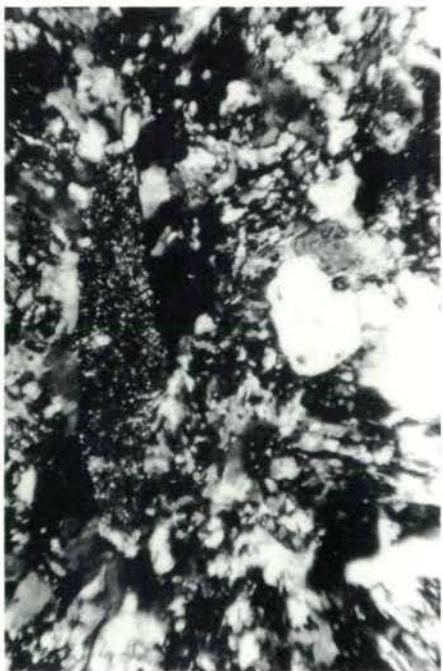
2



3

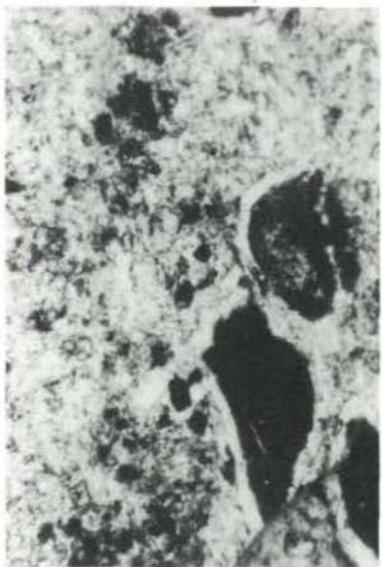


4

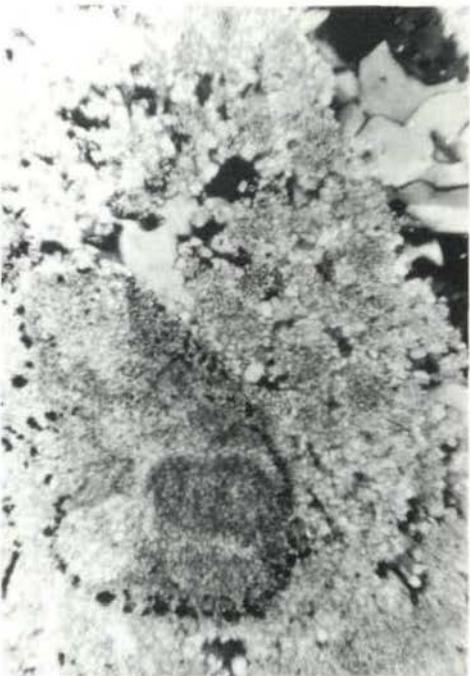


Fototafel 10

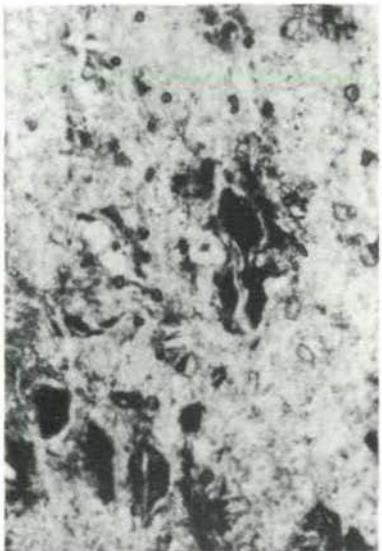
1



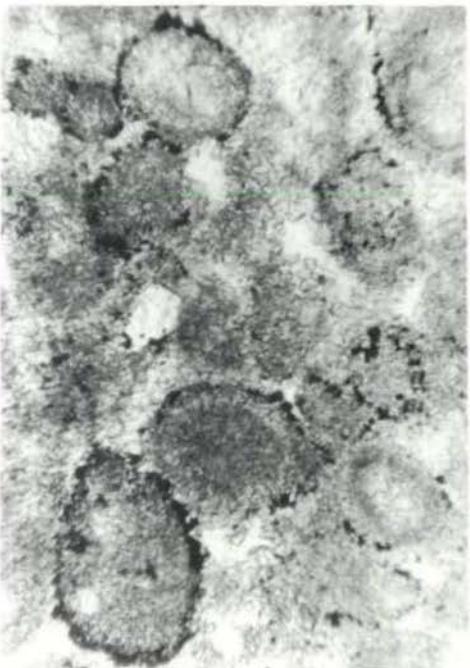
3



2



4

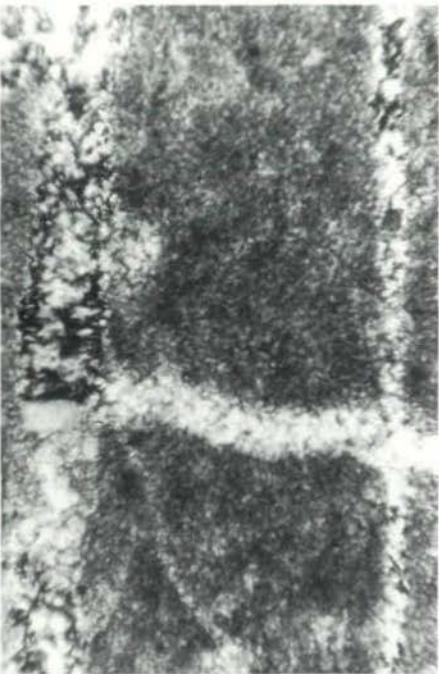


Fototafel 11

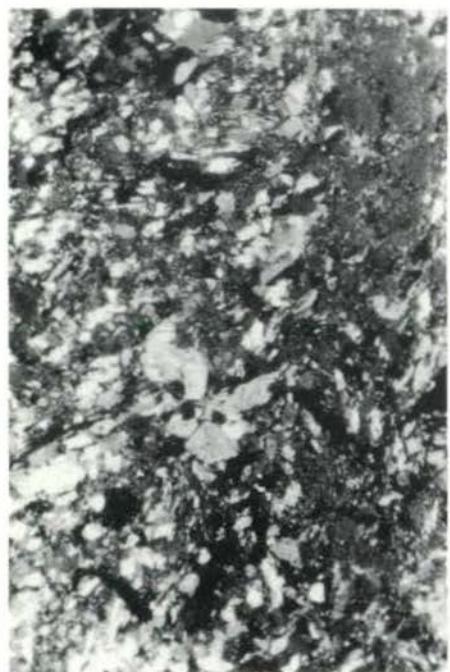
1



2



3

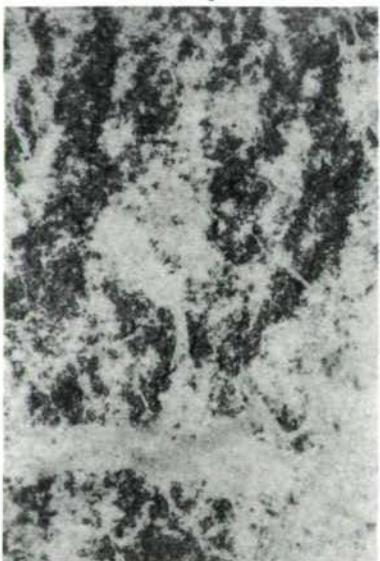


4

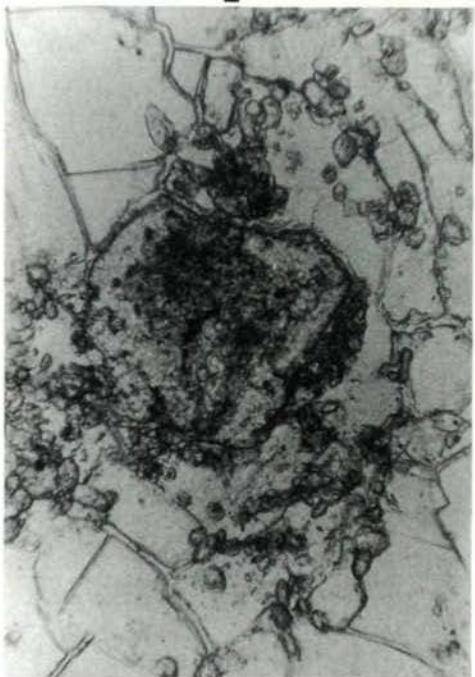


Fototafel 12

1



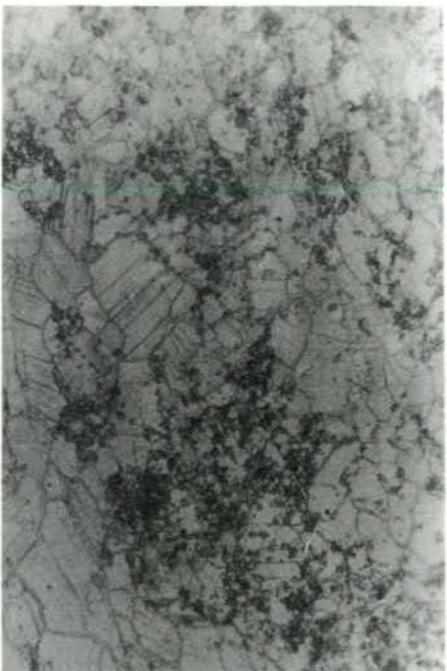
2



3



4



Fototafel 13

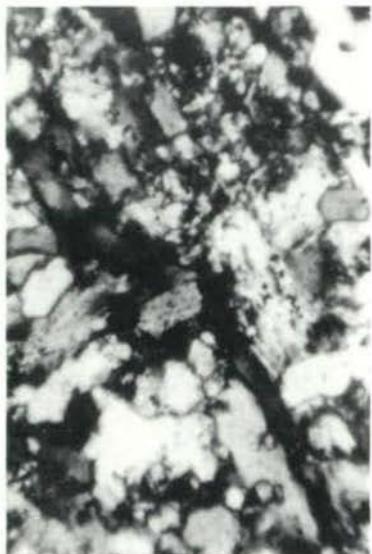
1



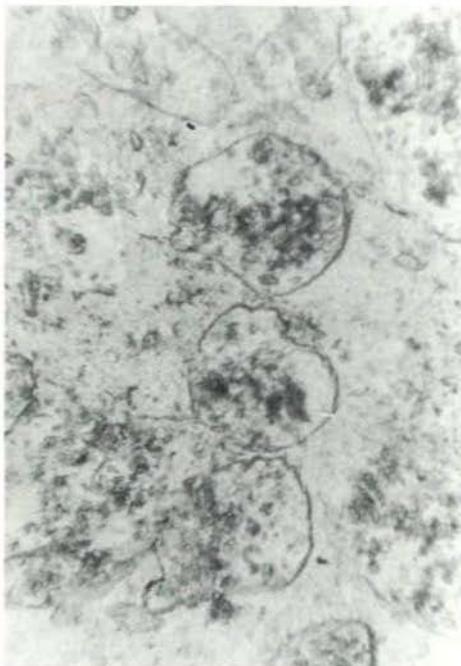
3



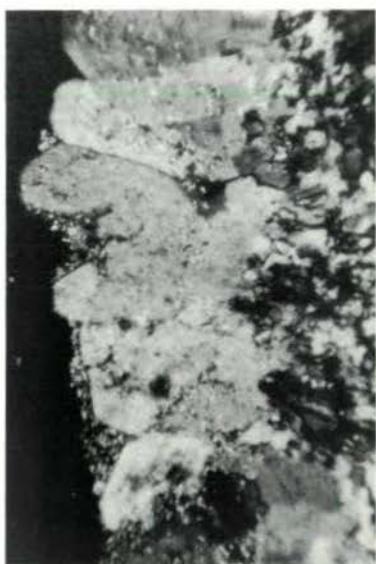
2



4



Fototafel 14



Gips- und Anhydrit- Lagerstätten Österreichs



TAFEL 1



TAFEL 2

0 1 2 KM

G20 - G37 }
Gi 21 - Gi 27 }



ST. ANTON

Gi 28
Gi 29

VANDANS

Rodund

SCHRUNS

Sacktobel

G30, G31, G32,
G33, G34, G35

G36,
G37

G29,
G24,
G25,
G26

Gipkofte

G27
G28

Lünner Krinne
G23
G22
G21
G20



DIE GIPSLAGERSTÄTTEN DES MONTAFON



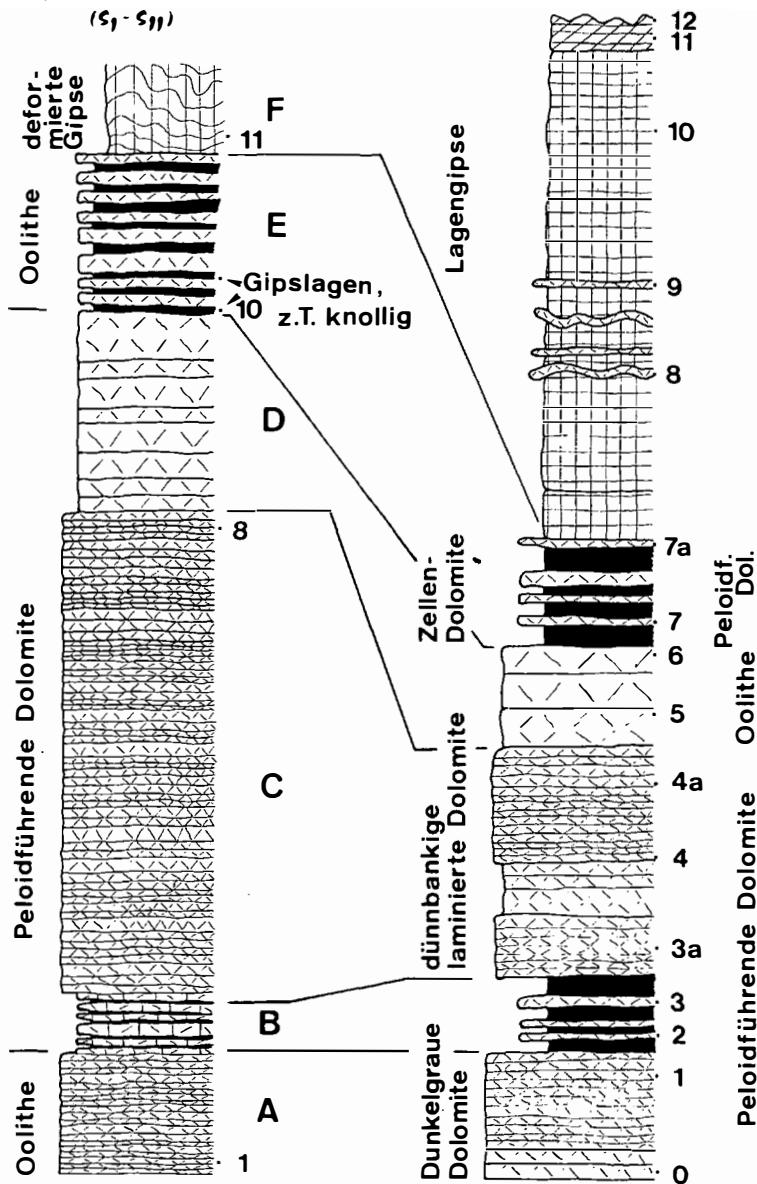
TAFEL 3

Profil Sacktobel 2

(1-12)

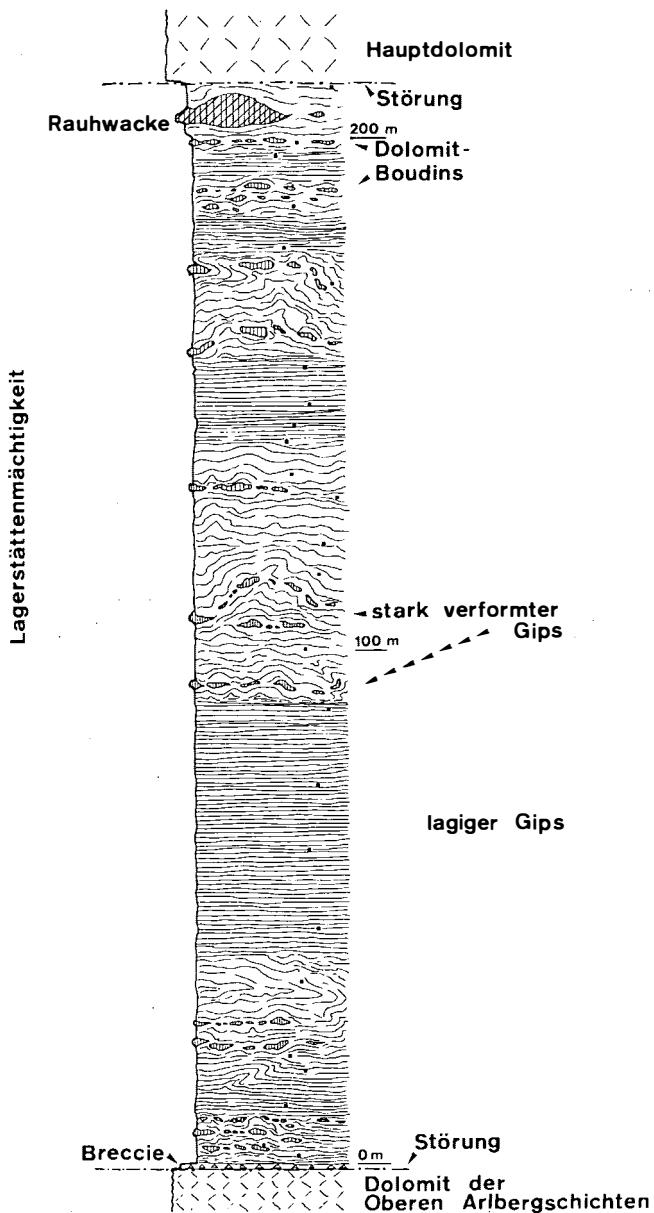
Profil Sacktobel 1

(S₁-S₁₁)

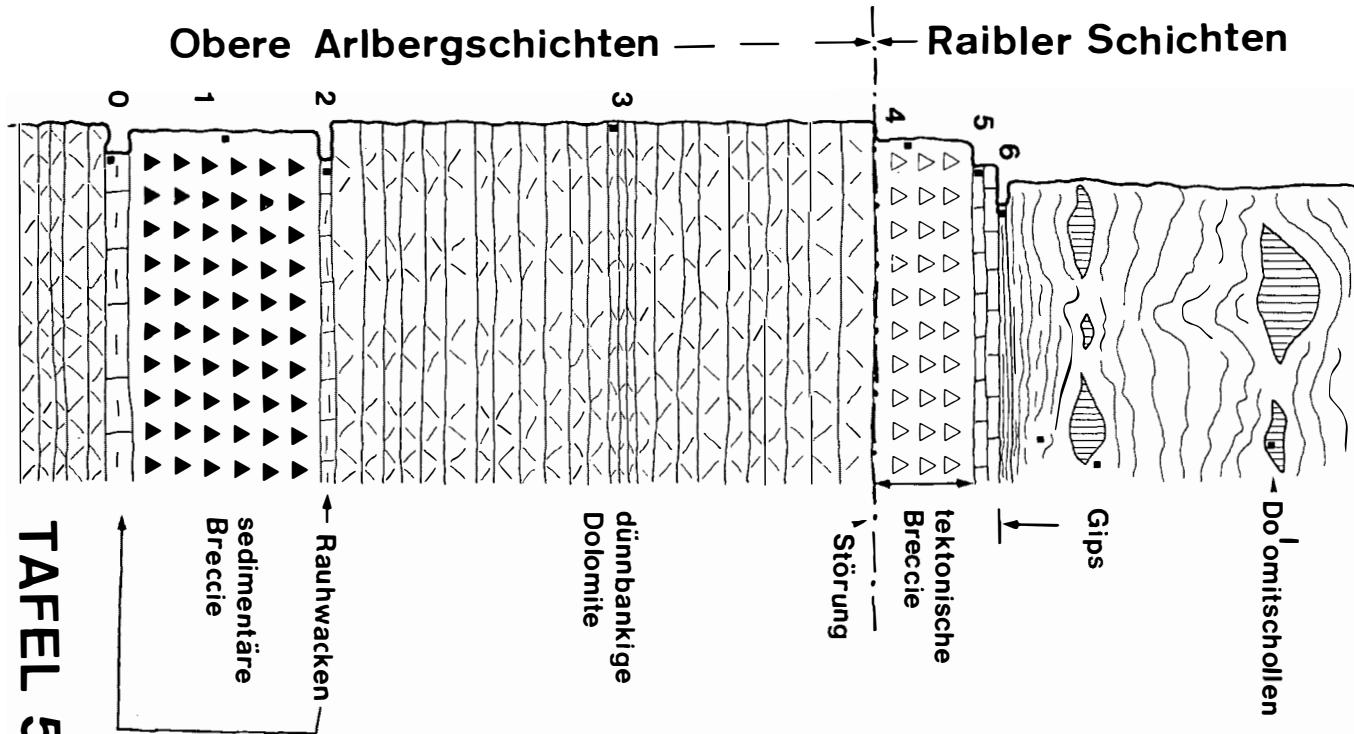


TAFEL 4

Profil Lünerkrinne



Detailprofil Lünerkrinne (Basis der Gipsalfolge)



TAFEL 5