Zeitschrift: Eclogae Geologicae Helvetiae
Herausgeber: Schweizerische Geologische Gesellschaft
Band: 34 (1941)
Heft: 1

Artikel: Über die Entstehung der Rauhwacken und Zellendolomite
Autor: Brückner, Werner
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-160139

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Über die Entstehung der Rauhwacken und Zellendolomite.

Von **Werner Brückner**, Basel.

Mit 4 Tafeln (IV—VII).

Inhalt: Auf Grund umfangreichen Untersuchungsmaterials aus Alpen und Jura wird der Nachweis geführt, dass die Rauhwacken und Zellendolomite ein junges Verwitterungsprodukt sind, welches sich unter dem Einfluss des Grundwassers auf dem Wege über Dolomit-Gips-Gesteine und unter Wahrung der Struktur derselben aus Dolomit-Anhydrit-Gesteinen bildet, indem Calcit an die Stelle des Gipses tritt und der Dolomit weitgehend zersetzt wird. Die Calcitausscheidung kommt wegen starker Löslichkeitserniedrigung des Calciumcarbonats durch den Überschuss an Calciumsulfat in der im Gestein zirkulierenden Gips-Dolomit-Lösung zustande.

Einleitung.

In der Trias der Alpen treten in vielen Gebieten löcherig anwitternde, brecciöse, teils recht kompakte, meist aber bröckelige bis zerreibliche, dolomitische Gesteine auf, die als Rauhwacken (franz. cargneules oder cornieules) bezeichnet werden. Nahe verwandt mit ihnen, aber weniger mannigfaltig in der Ausbildung sind die sog. Zellendolomite in der Trias des Juragebirges[1]).

Über diese Gesteine finden sich in der Literatur zwar zahlreiche Notizen, doch sind Zusammensetzung und Entstehung noch kaum genauer untersucht worden. Eine Übersicht der bisherigen Kenntnisse über die alpinen Rauhwacken gibt J. Cadisch (1934, 5, p. 131—133). Aus den bisherigen Arbeiten[2]) ergibt sich etwa folgendes Bild: Rauhwacken und Zellendolomite sind stratigraphisch horizontierte Gesteine und treten in unmittelbarer stratigraphischer Verbindung mit Dolomit einerseits und mit Gips (bzw. Anhydrit) andererseits auf. Die Ansichten über die Entstehung sind geteilt; die einen Forscher (z. B. H. P. Cornelius, 1925, 6, p. 366—367; 1935, 7, p. 175) führen die brecciöse Struktur auf sedimentäre Vorgänge, die anderen (z. B. M. de Raaf, 1934, 9, p. 35—36) auf tektonische Zertrümmerung zurück, wieder andere halten beide Entstehungsarten für möglich. Für die zerreibliche und löcherige Struktur werden Lösungsvorgänge (besonders Auflösung von Gips oder Salz), sei es schon während der Sedimentation, sei es während tektonischer Vorgänge, sei es bei der rezenten Verwitterung verantwortlich gemacht. Eine ausführliche Diskussion dieser Ansichten findet sich bei E. Scherf (1928, 10).

---

[1]) Diese Unterscheidung von Rauhwacken und Zellendolomiten nach geographischen Gesichtspunkten entspricht etwa dem vorherrschenden Sprachgebrauch, beruht aber durchaus nicht auf einem wesentlichen Unterschied und wird auch nicht strikt durchgeführt. Am Schluss der Zusammenfassung auf S. 127 wird der Versuch gemacht, die beiden Begriffe eindeutig zu definieren.

[2]) Eine spezielle Besprechung der einzelnen Arbeiten würde hier zu weit führen.

Die Rauhwacken aus dem Lötschbergtunnel.

Durch Arbeiten an der Lötschbergtunnel-Sammlung des Basler Naturhistorischen Museums und besonders beim Studium der nördlich und südlich vom Gasternmassiv durchfahrenen Triaszonen wurde ich dazu geführt, der Frage der Bildung der Rauhwacken ausführlicher nachzugehen[3]).

Zunächst fiel es auf, dass in der Zone des Lötschentaler Sedimentkeils (Jungfraukeils) im Tunnel keine Spur von Rauhwacken anzutreffen war, während diese Gesteine an der Oberfläche in grosser Mächtigkeit anstehen. An ihrer Stelle fanden sich aus Dolomit und Anhydrit zusammengesetzte Gesteine, die ihrerseits an der Oberfläche nirgends vorkommen. Es bestätigte sich also die oben erwähnte Ansicht, dass Rauhwacken genetisch an primär Anhydrit-führende Gesteine gebunden sein müssen.

Dann aber zeigte sich ferner, dass in dem Triaskomplex auf der Nordseite des Gasternmassivs (zwischen diesem und der Doldenhorn-Decke) Rauhwacken und Gips- bzw. Anhydrit-führende Gesteine nebeneinander vorkommen. In der Annahme, hier könne vielleicht der Entstehungsvorgang der Rauhwacken schrittweise verfolgt werden, verwandte ich auf die Untersuchung der Proben aus diesem Tunnelabschnitt besondere Aufmerksamkeit.

Die Lagerungsverhältnisse

auf der betreffenden Tunnelstrecke sind von A. Buxtorf (1910, 4) und von E. Hugi und E. Truninger (2, 3) bereits beschrieben worden. Die Details konnte ich an einem von A. Buxtorf, H. Preiswerk und C. Schmidt aufgenommenen Profil 1 : 200 dieser Tunnelstrecke und an einem von E. Hugi und E. Truninger stammenden Gesamttunnelprofil 1 : 2000 studieren, die mir von Herrn Prof. A. Buxtorf und von Herrn Prof. H. Huttenlocher in entgegenkommender Weise zur Verfügung gestellt wurden.

Der Tunnel durchfährt zwei Triaskomplexe. Der nördliche von ihnen (km 3.483—3.550) besteht aus zwei übereinanderliegenden Triasserien; in der oberen finden sich u. a. Rauhwacken (mit einer kleinen Einschaltung von Gips), in der unteren Dolomit und Gips mit Dolomitbrocken und Spuren von Anhydrit. Der südliche Triaskomplex (km 3.740—3.960), der sehr wahrscheinlich in drei tektonische Unterabschnitte gegliedert ist, besteht überwiegend aus Anhydrit mit mehr oder weniger reichlichen Dolomitbrocken, z. T. auch aus einer Wechsellagerung von Anhydrit mit feinen Dolomit- und Tonlagen.

Die Wasserführung

war im Bereich der obersten, Rauhwacke enthaltenden Triasschuppe stellenweise beträchtlich. In den tieferen Gips- oder Anhydrit-führenden Teilen des Profils gab es dagegen nur wenig oder gar kein Wasser. Es ist dies ein deutlicher Hinweis

---

[3]) Diese Studien wurden z. T. im Naturhistorischen Museum, z. T. im Mineralogischen und z. T. im Geologischen Institut der Universität Basel durchgeführt. Ich möchte nicht verfehlen, den Herren der Museumskommission, insbesondere Herrn Dr. H. G. Stehlin, Herrn Dr. W. Bernoulli und Herrn Dr. A. Erni meinen Dank dafür aussprechen, dass sie mir die Durchführung der vorliegenden Arbeit (aus den Mitteln des Tobler-Fonds) ermöglichten. Ferner möchte ich den Institutsvorstehern Herrn Prof. M. Reinhard und Herrn Prof. A. Buxtorf für ihr Entgegenkommen und ihr Interesse bestens danken.

darauf, dass die Auslaugung des Calciumsulfates durch zirkulierendes Grundwasser ein wesentlicher Faktor für die Bildung der Rauhwacken ist.

Die makro- und mikroskopische Untersuchung

der (von A. Buxtorf, H. Preiswerk und C. Schmidt gesammelten) Gesteinsproben ergab folgendes:

a) Die Dolomit-Anhydrit-Gesteine.

Man konstatiert folgende Typenreihe mit allen Übergängen:

1. Dichter, dunkler oder heller grauer Dolomit, gelegentlich etwas kalkhaltig, meist tektonisch zertrümmert und von Dolomitspatadern durchzogen;
2. Dolomit wie 1, Adern jedoch ausser von Dolomitspat auch von Anhydrit in wechselnder Menge erfüllt;
3. Eckige Dolomitbrocken verschiedenster Grösse, mengenmässig vorherrschend, mit oder ohne Dolomitspatadern, in Anhydrit-Grundmasse eingebettet;
4. Anhydrit, mengenmässig vorherrschend, mit einzelnen Dolomitbrocken verschiedener Grösse;
5. Reiner Anhydrit.

Ausser Dolomit und Anhydrit beobachtet man oft auch kleine Schiefertonfetzen. In manchen Proben ist deutlich zu sehen, dass Dolomit- und Schiefertonbrocken noch schichtartig angeordnet sind und zuweilen sogar ganz intakte Schichtchen bilden. Aus dieser Beobachtung darf man wohl folgern, dass auch die grösseren, jetzt unregelmässig im Anhydrit eingestreuten Dolomitbrocken ursprünglich mit Anhydrit wechsellagernde Schichten bildeten, die erst durch die starke tektonische Beanspruchung der Gesteinsserie zertrümmert und mit dem Anhydrit vermengt wurden.

Man gelangt also zum gleichen Resultat wie H. P. Cornelius, dass ursprünglich eine Wechsellagerung von Dolomitbänken und -bänkchen mit feinen Schiefertonlagen und mehr oder weniger dicken Anhydritschichten vorlag. (Die Photographien auf Tafel IV, Fig. 1 und 2 geben zwei der hier beschriebenen Gesteine wieder.)

In mikroskopischen Präparaten erwies sich der Dolomit als homogenes, fein- bis gröberkörniges Gestein, das zuweilen etwas grössere, rundliche Calcitkörner (Fossilreste?) enthält (Taf. VI, Fig. 1). Die Adern bestehen aus stets etwas trüben Dolomitspatkristallen, die oft mehr oder weniger senkrecht zur Aderrichtung gestellte Lamellen bilden (Taf. IV, Fig. 3), oft aber auch richtungslos körnige Anordnung besitzen. Der Anhydrit bildet einesteils richtungslos körnig struierte grössere Massen oder Adern für sich, andernteils ist er mit dem Dolomitspat innig vermischt. In diesen gemischten Adern kann an einer gleichzeitigen Bildung von Dolomitspat und Anhydrit nicht gezweifelt werden (Taf. IV, Fig. 4). Häufig ist feinverteilter Pyrit in den Adern; er kommt übrigens auch sonst im Dolomit eingesprengt vor. Nicht selten trifft man in den Dolomitspatadern (sowie gelegentlich im Dolomit) Quarzkristalle, in einer Probe auch Feldspäte mit Zwillingslamellen (Albit?) an. Vereinzelt konnten zwischen den Dolomitspatlamellen (mit Salzsäure) auch Calcitkristalle nachgewiesen werden.

In einem Schliff beobachtet man auch im Innern der dichten Dolomitbrocken grosse Anhydritkristalle, die durch feine Karbonateinschlüsse getrübt und randlich ganz unscharf begrenzt sind. In ihrem Innern liegen zuweilen kleinere, klare Anhydritkristalle. Diese trüben Anhydriteinschlüsse sind wahrscheinlich bereits bald nach Ablagerung der Dolomit-Anhydrit-Wechsellagerung infolge diagenetischen Stoffaustauschs entstanden (Taf. IV, Fig. 5).

b) Die Dolomit-Gips-Gesteine.

Zwischen Anhydrit- und Gips-führenden Gesteinen gibt es alle Übergänge. Ist der Gehalt an Gips nicht allzu gross, so unterscheiden sich die Gesteine makroskopisch kaum von den nur Anhydrit-führenden. Die Gesteine mit vorherrschendem Gips zeigen dagegen eine viel stärkere Durchaderung der Dolomitbrocken und werden dadurch ausgesprochen bröckelig. Meist ist der Gips richtungslos feinfaserig oder -körnig, in einigen Proben scheint aber der gesamte Gips infolge von Umkristallisierung einen grossen, einheitlichen Kristall zu bilden, in dem die Dolomitbrocken gleichsam „poikilitisch" eingeschlossen sind.

In Dünnschliffen ist sehr deutlich zu erkennen, dass der Gips sekundär aus dem Anhydrit hervorgeht und ihn ersetzt (Taf. V, Fig. 1, 2). Dabei bilden sich wegen der Volumenzunahme bei der Umwandlung zahlreiche neue Risse im Gestein, die mit Gips ausgefüllt werden. Ein Bild von einheitlich kristallisiertem Adergips gibt Taf. V, Fig. 4.

Die bröckeligen „poikilitischen" Proben zeigen nun aber noch eine weitere Eigenschaft, die sich bei den Anhydrit-reichen Stücken nicht vorfindet und die, wie wir unten sehen werden, für das Verständnis der Genese der Rauhwacken von grosser Bedeutung ist. Behandelt man diese Gips-führenden Proben mit Salzsäure, so tritt an den Grenzen bzw. den Fugen zwischen Dolomit und Gips heftiges Aufbrausen ein, ein sicheres Zeichen, dass sich hier Calcit gebildet haben muss. Auch in Dünnschliffen ist dieser neugebildete Calcit gut zu erkennen. Er sitzt meist am Rande der Gipsadern in klaren Kriställchen den Dolomitbrocken auf, kommt zuweilen aber auch im Innern des Gipses vor (Taf. V, Fig. 4; Taf. VI, Fig. 1).

c) Die Rauhwacken

bestehen im wesentlichen aus zwei Komponenten:

1. aus eckigen Dolomitbrocken verschiedenster Form und Grösse,
2. aus einem gröberen oder feineren Calcitnetzwerk, welches die Dolomitbrocken verkittet.

Die Dolomittrümmer sind gelegentlich noch relativ kompakt und dunkler grau, zur Hauptsache sind sie aber von feinpulveriger Beschaffenheit und von weisslicher bis gelblicher Farbe. Das Calcitnetzwerk ist dagegen hart und widerstandsfähig; es ist hellgrau bis gelblich- oder rostiggrau gefärbt. Das Mengenverhältnis Dolomit zu Calcit ist veränderlich. Partien von Dolomit mit feinsten Calcitadern wechseln mit Zonen, in welchen sich das Calcitnetzwerk zu kompakteren Massen zusammenschliesst, die nur wenig kleine Dolomiteinschlüsse haben. In der Struktur stimmen diese „Dolomit-Calcit-Gesteine" völlig mit den oben beschriebenen Dolomit-Gips-Gesteinen überein; nur findet sich Calcit an Stelle von Gips, und die Dolomitbrocken haben ihren innern Zusammenhalt verloren.

Wegen der pulverigen Beschaffenheit sind die Dolomitbrocken sehr leicht zerstörbar und hinterlassen charakteristische, unregelmässig eckige Hohlräume. Diese sind nicht selten mit rostigen Überzügen ausgekleidet und zeigen manchmal auch feine warzenförmige Calcitauswüchse.

Bei genauerem Studium findet man in einem Teil der Proben neben diesen eckigen Hohlräumen mehr rundlich begrenzte, die sich an die Mitte der Calcitadern halten und deren Wände mit feinen, klaren Calcitkriställchen drusenartig bedeckt sind. Die Adern erhalten dadurch oft eine charakteristische Mittellinie.

Ausser den Dolomitbrocken kommen als Einschlüsse im Calcitnetzwerk gelegentlich noch Dolomitspatbrocken (z. T. auch in Verbindung mit dichtem

Dolomitgestein) und kleine Schiefertonstückchen vor, welch letztere mit den in den Dolomit-Anhydrit- bzw. -Gips-Gesteinen eingeschlossenen identisch sind. Ausserdem findet man (z. T. drusenartig eingelagert) kleinere und grössere Nester von Quarz.

In Dünnschliffen zeigt sich, dass die Dolomitbrocken und die Dolomitspatadern völlig mit denjenigen der Dolomit-Gips- bzw. -Anhydrit-Gesteine übereinstimmen. Erst bei den schon nahezu in Pulver zerfallenen Trümmern ist die Lockerung der winzigen Körnchen deutlich zu sehen. Die Calcitadern sind z. T. kryptokristallin, besonders in den Einschluss-armen Partien; z. T. sind sie aber aus deutlichen, klaren Kriställchen zusammengesetzt, die gegen die Calcitdrusen-Hohlräume zu grösser werden. In diesem Falle stimmen sie im Aussehen völlig mit jenen überein, die sich bei den untersuchten Dolomit-Gips-Gesteinen als Neubildungen an den Aderrändern fanden. Im Calcit sind zahlreiche kleinere und grössere Quarzkörnchen oder -Kornaggregate, z. T. mit Kristallumrissen, eingebettet. Die Photos auf Taf. VII geben ein Bild vom mikroskopischen Aussehen der beschriebenen Rauhwacken.

Aus diesem Befund scheint mir eindeutig hervorzugehen, dass die untersuchten Rauhwacken aus Dolomit-Gips-Gesteinen infolge von Ersetzung des Gipses durch Calcit (und etwas Quarz) und unter Zersetzung des Dolomits entstanden sind.

Rauhwacken und Zellendolomite aus anderen Gebieten.

Um zu prüfen, ob das an den Lötschbergtunnel-Gesteinen erhaltene Resultat für die übrigen Rauhwacken der Alpen und die Zellendolomite des Juras ebenfalls Gültigkeit besitzt, untersuchte ich eine grössere Zahl von solchen Gesteinen. Die Mehrzahl dieser Proben fanden sich in den Sammlungen des Naturhistorischen Museums Basel; die mit * bezeichneten Stücke wurden mir von Herrn Prof. A. Buxtorf (unter Mithilfe von Herrn Dr. L. Vonderschmitt) aus der Lehrsammlung des geologischen Instituts Basel freundlichst zur Verfügung gestellt.

I. Rauhwacken aus den nichtmetamorphen Gebieten der Nordalpen.

1. Helvetische Zone.

a) Passhöhe zwischen Leukerbad und Lötschental (= Ferdenpass?). — leg. P. Merian.
b*) Schild bei Glarus, zwischen P. 2286 und P. 2302. — leg. A. Buxtorf 1914.

2. Ultrahelvetische Zone.

a) Les Cavouez, Treveneusaz, NW Monthey. — leg. W. T. Keller 1917. — 2 Stücke.
b) Trittlisbergpass, zwischen Lauenen und Lenk, — leg. A. Tobler 1899.
c) Farnital bei Kiental. — leg. A. Buxtorf 1900.

3. Préalpes Médianes.

a) Greffazschlucht W Vionnaz (beim verschütteten Gipsstollen). — leg. W. T. Keller 1917.
b) L'Alliaz. — 3 Stücke.
c*) Rothornsattel, Spielgerten. — leg. Studentenexkursion.
d*) Nünenen, S Gurnigelbad. — leg. V. Gilliéron.

4. Klippen der Zentralschweiz.

α. Giswilerstöcke.

a) Am Weg von Rübihütten nach Jänzimatt. — leg. E. GREPPIN 1902.
b) Ostseite des Gipstrichters bei der Jänzimattkapelle. — leg. L. VONDERSCHMITT 1919.
c) Aus dem Gips zwischen Möhrliegg und Alpboglerberg, S P. 1646. — leg. L. VONDERSCHMITT 1918.
d) P. 1674 W Alpboglen („Jänzimattberg"). — leg. E. GREPPIN 1901.

β. Stanserhorn.

a) Gipsbruch Rohren. — leg. P. CHRIST.
b) Am Weg von Gross-Ebnet nach Klein-Ebnet. — leg. P. CHRIST.
c) Graben westlich der Stanserhornbahn („Wasserplattengraben"), auf 768 m Höhe. — leg. P. CHRIST.

γ. Arvigrat.

a) Vordere Eggalp, E Arvigrat. — leg. A. TOBLER 1897. — 2 Proben.
b*) Gleiche Lokalität.— leg. A. BUXTORF 1898.

δ. Buochserhorn-Musenalp.

a) Oberes Hüetlerentobel (Buochserhorn). — leg. A. TOBLER 1906. — 2 Proben.
b*) Musenalp. — leg. A. TOBLER.

ε. Mythen-Ibergerklippen.

a) Holzweid, S Gr. Mythen. — leg. V. GILLIÉRON.
b) Zwecken, NW Ibergeregg. — leg. M. KAECH 1899.
c) Zwischen Laucheren und Steinboden (Mördergrube). — leg. A. TOBLER und A. BUXTORF 1897.

Alle diese Proben zeigen im Prinzip das gleiche Bild, wie die Rauhwacken des Lötschbergtunnels: Ein Calcitnetzwerk mit mehr oder weniger stark zersetzten Dolomitbrocken, mit Dolomitspat, Schiefertonstückchen und neugebildetem Quarz als accessorischen Einschlüssen, mit eckigen, rostig überzogenen Löchern anstelle der herausgewitterten Dolomittrümmer und häufig mit von Calcitrasen drusenartig überzogenen Hohlräumen im Innern der Calcitsepten. Innerhalb dieses Rahmens gibt es allerdings mannigfaltige Variationen: in der Grösse und Wanddicke der Calcitkammern, in der Kristallgrösse des Calcits dieser Wände, im Vorkommen oder Fehlen von Calcitdrusenräumen, im Zersetzungszustand und in der Färbung der Dolomitbrocken, im Aussehen der Schieferstückchen etc. Zu diesen Variationen ist auch das Auftreten weiterer Gesteinstypen als Einschlüsse (z. B. dolomitische Mergelstücke, schwarze Schiefertone) und das gelegentliche Vorkommen von nicht in kleine Stücke zersprengten, relativ kalkreichen dolomitischen Zwischenschichten zu rechnen.

Ich untersuchte auch einige Proben von Dolomit-Gips-Gesteinen aus den besprochenen Zonen, und zwar von folgenden Fundorten:

1. Helvetische Zone.

a) Weissmeilen. — leg. P. MERIAN.

2. Ultrahelvetische Zone.

a) Krattigenhalden, Thunersee. — leg. A. TOBLER. — Mehrere Proben.

3. Préalpes Médianes und Klippen.

a) 250 m SW Proz Pethoux bei Vionnaz. — leg. W. T. KELLER 1917.
b) Möhrliegg und Kratzern (Giswilerstöcke). — leg. E. GREPPIN 1901.
c) Zwischen Mehlbach und Feltschiloch (Arvigrat). — leg. A. TOBLER 1905. — 2 Proben.
d) Mythen. — leg. C. SCHMIDT.

Auch diese Proben zeigen ein den Beobachtungen im Lötschbergtunnel völlig entsprechendes Bild: Feinfaseriger oder feinkörniger Gips als Einbettungsmittel von Dolomitbrocken in wechselndem Mengenverhältnis; untergeordnet kommen Schiefertoneinschlüsse vor. Die Dolomitbrocken lassen stets deutlich die Sprengwirkung von der Gipsbildung aus Anhydrit erkennen. Anhydrit selbst liess sich in diesen an der Oberfläche gesammelten Stücken nicht mehr nachweisen.

Versuche mit Salzsäure und Dünnschliffe ergaben deutlich, dass sich auch bei diesen Proben auf den Grenzflächen zwischen Dolomitbrocken und Gipsadern und z. T. auch im Innern der letzteren bereits mehr oder weniger weitgehend feinere oder gröbere Calcitkriställchen ausgeschieden haben, dass also auch diese Proben das Anfangsstadium der Rauhwackebildung zeigen und dass die Beobachtungen aus dem Lötschbergtunnel nicht vereinzelt dastehen. Die Abbildungen auf Taf. VI, Fig. 2—4, zeigen Dünnschliffbilder von diesen Proben.

Die Probe vom Arvigrat zeigt überdies auch rundliche, mehr oder weniger trübe, völlig isolierte Einschlüsse von feinfaserigem Gips im Innern der Dolomitbrocken. Zweifellos sind diese aus diagenetischen Anhydritkristallen hervorgegangen, wie sie oben aus dem Lötschbergtunnel beschrieben wurden (Taf. VI, Fig. 4).

II. Rauhwacken aus den mehr oder weniger stark metamorphen Gebieten der zentralen Alpen.

1. Mont Chetif-Massiv.

a) Montagne de la Saxe. — Slg. H. Minod: Mont Blanc-Gesteine, 1902.

2. Gotthard-Massiv.

α. Nordseite (Furkamulde).

a) Oberbach, Ulrichen. — leg. C. Schmidt 1893.
b) Furkatunnel. — Mehrere Proben.

β. Südseite.

a) Gotthardtunnel, 0—80 m vom Südportal. — Zahlreiche Proben.
b) Riale di Berri, NE Airolo, P. 1340 östlich des Baches. — leg. W. Steuer 1916.

3. Penninische Decken.

α. Wallis.

a) Am Hérémencebach auf 853 m Höhe, E Hérémence. — leg. F. P. Müller 1915.
b) Mont Dolin-Nordgrat. — leg. F. Moeschlin. — 2 Proben.
c) Mont Dolin-Ostgrat. — leg. F. Moeschlin.
d*) NW P. 1684 bei Barma S Zinal. — leg. A. Buxtorf 1932.
e*) Gornergrat. — leg. C. Schmidt 1907.
f) Findelengletscher E Zermatt. — leg. C. Schmidt.
g) Klein Allalin. — leg. R. Eichenberger.
h) Furgge zwischen Gals und Zwischbergen, Simplon. — leg. H. Preiswerk.
i) Tunnel von Varzo. — 3 Proben.

β. Tessin[4]).

a) Val di Prada, E Carena, Val Morobbia. — leg. J. Stauffacher 1914.

---

[4]) Eine grössere Zahl von Rauhwackeproben aus dem Gebiet des Val Bedretto und südlich davon wurde von den Herren A. Günthert und C. E. Burckhardt gesammelt. Die Untersuchung dieser Gesteine durch C. E. Burckhardt, über die er in seiner Dissertation berichten wird, ergab im wesentlichen völlige Übereinstimmung mit meinen Resultaten.

γ. Graubünden.

a*) Löchli bei Vallatsch, S Vals. — leg. C. SCHMIDT.
b*) SE Casa Vignone, N San Bernardino. — leg. H. J. FICHTER 1932.
c) Pra di Bone bei San Giacomo, S San Bernardino. — leg. R. HELBLING.
d) Perfilsbach bei Sufers, auf 1660 m Höhe. — leg. F. ZYNDEL.
e) SW Clugin bei Andeer. — leg. F. ZYNDEL.
f) Nezza-Alp, E Andeer. — Slg. B. STUDER: Gebirgsarten aus Graubünden.
g) Ferreratal. — Slg. B. STUDER: Gebirgsarten aus Graubünden.
h) Ausser-Ferrera. — leg. F. ZYNDEL.
i) Am Weg von Inner-Ferrera nach Alp Emet. — leg. W. H(OTZ?).
k) Passo della Duana, Bregaglatal, Avers. — leg. H. PREISWERK 1907.
l) Solisbrücke. — leg. F. ZYNDEL.

4. Ostalpine Decken.

a*) N Vairana, auf 2580 m Höhe, 3 km WNW Julierpass. — leg. H. J. FICHTER 1933.
b) Albulatunnel, 1100 m vom Portal Preda.
c) Albulapass. — Slg. B. STUDER: Gebirgsarten aus Graubünden.

Die hier aufgeführten Proben weichen in mancher Beziehung von den Rauhwacken der nichtmetamorphen Zonen der Alpen ab. Man kann zwei Ausbildungsarten unterscheiden, die in einander übergehen.

Die Gesteine der einen Art bestehen aus einem Calcitnetzwerk mit denselben Variationen der Ausbildung und den gleichen meist idiomorphen Quarz-„Einsprenglingen" wie bei den Rauhwacken aus den nichtmetamorphen Gebieten. Die Einschlüsse sind jedoch von deutlich metamorpher Struktur und mannigfaltiger als in den nichtmetamorphen Gegenden. Die vorherrschenden (manchmal ziemlich kalkreichen) Dolomittrümmer sind grobkörnig (gröber als das Calcitnetzwerk), allerdings wie in den nichtmetamorphen Gebieten nur selten noch frisch und kompakt, sondern meist pulverig zersetzt. Statt der Schiefertone findet man meistens Serizit- oder Glimmerschiefer, überdies treten mehr oder weniger reichlich auch isolierte Glimmerblättchen als Einschlüsse auf. Als gelegentlich häufige „Accessoria" findet man Dolomitspatstücke, Marmore verschiedener Ausbildung (auch eisenschüssige, schwach dolomitische oder quarzführende), eine dolomitische Echinodermenbreccie (Probe vom Passo della Duana), Gneise etc.

Die Gesteine der zweiten Art sind von mehr oder weniger gleichmässigem Aussehen, feinporös, sehr zerreiblich, glimmerreich und meist stark rostig gefärbt. Die genauere Untersuchung dieser Proben zeigt aber, dass sie im Prinzip wie diejenigen der ersten Art aufgebaut sind, nur sind die in der Calcitgrundmasse eingebetteten Dolomiteinschlüsse so klein, dass makroskopisch kein Zellenbau zu erkennen ist, und auch die Glimmerschiefer-Einschlüsse sind mikroskopisch klein. Diese Gesteine lassen oft noch deutlich eine Art Schichtung erkennen, einen Wechsel von dolomitreichen, kalkreichen und glimmerreichen Lagen, der aber in den dickeren kalkreichen Lagen meist deutlich in regellose Anordnung übergeht.

Dass auch die Rauhwacken der metamorphen Gebiete aus Dolomit-Gips- oder -Anhydrit-Gesteinen hervorgehen dürften, zeigen die Funde im Gotthard- und im Simplontunnel. Im Gotthardtunnel fand man in der Furkamulde Gips mit (relativ kalkreichen) Dolomitbrocken. Bei der mir vorliegenden Probe konnte allerdings noch keine Calcitausscheidung zwischen Gips und Dolomit festgestellt werden. Im Simplontunnel traf man ferner in den Triaszonen statt Rauhwacken Anhydrit-führende Gesteine (vgl. H. PREISWERK 1913, 8). Die zahlreichen von hier stammenden Proben des Basler Museums (zumeist aufge-

sammelt von C. SCHMIDT und H. PREISWERK) sind besonders für die Erklärung des speziellen Aussehens der Rauhwacken der zweiten oben beschriebenen Art aufschlussreich. Diese Proben zeigen nämlich häufig eine feine Wechsellagerung von Anhydrit mit Dolomit- und Glimmerschieferlagen (auch mit Marmor), oft auch eine sehr weitgehende Durchmischung von Anhydrit, Dolomit, Glimmer und Quarz in einzelnen Kristallen, d. h. die genau gleiche Struktur wie die Rauhwacken mit dem einzigen Unterschied, dass Anhydrit die Stelle des Calcits einnimmt und dass der innere Zusammenhalt der Dolomitpartien noch nicht gelöst ist.

In einem Schliff der Simplontunnel-Sammlung (von km 4.511 ab Südportal) ist der Anhydrit bereits in Umwandlung zu Gips begriffen, und an einigen Stellen, wo solche Gipsäderchen an Dolomitkristall-Aggregate grenzen, sind krümelige Häufchen von kleinen Carbonatkriställchen zu erkennen, die sehr wahrscheinlich als neugebildeter Calcit zu deuten sind. Ist dies richtig, so wäre auch hier das Zwischenstadium zwischen Dolomit-Anhydrit-Gesteinen und Rauhwacken belegt.

Die Unterschiede im Aussehen der Rauhwacken der metamorphen und der nichtmetamorphen Gebiete sind nach diesen Befunden ausschliesslich durch die abweichende Zusammensetzung und Struktur der Ausgangsgesteine zu erklären.

III. Zellendolomite aus dem Juragebirge.

1. Anhydritgruppe.

a) Linkes Rheinufer bei Kaiseraugst. — leg. K. STRÜBIN 1900.
b*) Muren, S. Läufelfingen. — leg. ALBR. MÜLLER.

2. Trigonodusdolomit.

a) W P. 470 an der Strasse Schupfart-Eiken. — leg. L. BRAUN.
b) Schwanden, N Dottenberg (E Läufelfingen). — leg. E. GREPPIN 1918.

3. Keuper.

a) Neue Welt. — leg. E. GREPPIN 1905.
b) Rechtes Ufer der Ergolz, W P. 288 bei Riedacker, Kaiseraugst. — leg. C. DISLER.

4. Unbekannte Schichthöhe.

a) Schlosshügel von Wehr. — leg. P. MERIAN. — 2 Proben.
b) Schafmatt. — leg. P. MERIAN. — 2 Proben.

Die Untersuchung dieser Zellendolomite ergab wiederum dasselbe Bild: Ein Netzwerk aus Calcit, bald dicht, bald gröber kristallisiert, oft mit deutlich doppelwandigen Septen und grösseren von klaren Calcitrasen überzogenen Drusenräumen; die Zellen teils erfüllt von meist pulverigem, selten noch ziemlich kompaktem Dolomit, teils leer und dann mit rostigen Krusten überzogen. Diese Zellendolomite sind gelegentlich verknüpft mit kalkreichen Dolomit- oder dolomitfreien Kalklagen, die entweder nur randlich oder gar keine Zellenbildung zeigen.

Die Wahrscheinlichkeit ist sehr gross, dass auch die jurassischen Zellendolomite aus Dolomit-Gips- oder -Anhydrit-Gesteinen hervorgegangen sind. Dafür spricht allein schon ihr Vorkommen in Gips- bzw. Anhydrit-führenden Niveaux der Trias. Aus der Anhydrit-Gruppe fand sich in der Museumssammlung ferner ein Stück (leider ohne Fundortsangabe), das einen Wechsel von Gipslagen und dolomitischen Kalkschichten und eine partielle Ersetzung des Gipses durch Calcit zeigt. Eine Zertrümmerung der dolomitischen Lagen und eine Zellenbildung ist an diesem Stück allerdings nicht zu sehen.

Zusammenfassung und Folgerungen.

Die Untersuchung der zahlreichen oben aufgeführten Rauhwacken und Zellendolomite, sowie der begleitenden Gips- oder Anhydrit-führenden Gesteine ergibt folgende Resultate und Folgerungen:

1. Charakteristisch für die Rauhwacken und Zellendolomite ist der Aufbau aus einem Netzwerk von Calcit (mit mannigfaltigen Strukturvarianten), in welchem mehr oder weniger stark zersetzte Dolomittrümmer eingeschlossen sind. Accessorisch kommen Einschlüsse verschiedener anderer Gesteine (vorwiegend Schiefertone, bzw. Sericit- oder Glimmerschiefer) und Ausscheidungen von Quarz vor.

2. Rauhwacken und Zellendolomite bilden sich aus Dolomit-Gips-Gesteinen infolge von Ersetzung des Gipses durch Calcit und unter gleichzeitiger Zersetzung des Dolomits.

3. Die Hohlräume der Rauhwacken und Zellendolomite kommen auf zwei Arten zustande.

a) Die vorherrschenden, rostig überkrusteten Löcher entstehen durch mechanische Auswaschung der zersetzten pulverigen Dolomitbrocken.

b) Die selteneren und meist viel kleineren drusenartig von klaren Calcitkriställchen austapezierten Hohlräume im Innern der Calcitadern und -Komplexe sind durch unvollkommene Ersetzung des Gipses durch Calcit zu erklären.

4. Im übrigen ist die Struktur der Rauhwacken und Zellendolomite ein Abbild der Struktur der umgewandelten Dolomit-Gips-Gesteine. Eine nennenswerte Veränderung dieser Struktur dürfte bei der Umwandlung nicht stattfinden. Die Dolomit-Gips-Gesteine sind (infolge von Wasseraufnahme) aus Dolomit-Anhydrit-Gesteinen hervorgegangen. Die Struktur der Dolomit-Gips-Gesteine (und damit auch diejenige der Rauhwacken) ist daher auf drei Faktoren zurückzuführen:

a) Zertrümmerung des im Anhydrit eingebetteten Fremdmaterials (Dolomit und accessorische Gesteine) und Ausfüllung der Spalten mit Gips als Folge des Quellungsprozesses bei der Umwandlung von Anhydrit in Gips.

b) Primäre Verteilung der Schichten von Anhydrit, Dolomit und accessorischen Gesteinsarten bei der Ablagerung der Anhydrit-führenden Triasserien.

c) Sekundäre Umgestaltung dieser Gesteinsserien infolge tektonischer Bewegungen und/oder durch Metamorphose.

Die beiden ersten Faktoren sind in jedem Fall von Bedeutung, der dritte fällt in ungestörten Gebieten (Tafeljura) ausser Betracht. Für die Entstehung der charakteristischen eckigen Zellen der meisten Rauhwacken und Zellendolomite ist im wesentlichen der erste Faktor verantwortlich.

5. Die Umwandlung von Dolomit-Gips-Gesteinen in Rauhwacken (bzw. Zellendolomite) ist wie die Umwandlung des Anhydrits in Gips an Wasserzirkulation bei relativ niedriger Temperatur gebunden. Beide Prozesse sind von der Grundwasserführung abhängig und gehen zwischen der Erdoberfläche und einigen hundert Meter Tiefe (wohl selten noch tiefer) vor sich. Die Rauhwackebildung ist also ein junger Verwitterungsprozess, der auch gegenwärtig in allen Rauhwacke- bzw. Dolomit-Gips-Gesteinszonen andauert.

6. Da die Rauhwacken rezente, oberflächennahe Bildungen sind, kommt eine tektonische Beeinflussung derselben nicht in Frage. Die von vielen Autoren beschriebene vermeintliche tektonische Beanspruchung ist das Abbild der Be-

anspruchung der Dolomit-Anhydrit-Gesteinszonen, aus denen sich die Rauhwacken gebildet haben; die scheinbare grosse tektonische Beweglichkeit der Rauhwacken ist die des Anhydrits; die Fremdeinschlüsse der sog. tektonischen Rauhwacken sind in Anhydrit hineingewalzt worden etc.

Ein Gestein von der porösen Beschaffenheit der Rauhwacken wäre übrigens bei starken tektonischen Bewegungen zweifellos vollständig mylonitisiert worden, ja es ist sogar unwahrscheinlich, dass es auch nur höhere Belastungsdrucke unzerstört auszuhalten vermöchte.

7. Auf Grund der vorliegenden Ergebnisse möchte ich die Rauhwacken und Zellendolomite folgendermassen definieren: Rauhwacken sind poröse Dolomit-Calcit-Gesteine (mit verschiedenen accessorischen Beimengungen), welche im Bereich des Grundwassers unter Lösungs- und Umsetzungsprozessen auf dem Wege über Dolomit-Gips-Gesteine und unter Wahrung der Struktur derselben aus Dolomit-Anhydrit-Gesteinen hervorgegangen sind und noch hervorgehen. Die Zellendolomite sind Rauhwacken, deren Calcitanteil die Wände eckiger Zellen bildet, die von Dolomit erfüllt sind oder waren; dies ist der vorherrschende Strukturtyp der Rauhwacken.

Um Verwechslungen auszuschliessen, möchte ich vorschlagen, andere dolomitische brecciöse und löcherige Bildungen, die gelegentlich als „Rauhwacken" oder „tektonische Rauhwacken" bezeichnet werden, z. B. tektonische Reibungsbreccien oder durch quartäre Lockerung oder Umlagerung entstandene Breccien (in Bergsturz- und Sackungsgebieten; Gehängeschuttbreccien) etc., tunlichst anders zu benennen.

Anhang.

Im Zusammenhang mit den Rauhwacken möchte ich noch kurz auf zwei andere Gesteinsarten zu sprechen kommen.

1. In den Gebieten von Gips-führender Trias findet man gelegentlich „Gesteine", die im wesentlichen aus einem lockeren Tonstaub mit kleineren und grösseren Trümmern von Schieferton (bzw. Sericitschieferstaub und -Stücken) bestehen und wenig oder gar nicht kalkführend und dolomitfrei sind. Solche Gesteine fanden sich in der Museumssammlung:

a) aus dem Furkatunnel;

b) aus dem Gotthardttunnel, 2790,2 m vom Nordportal (Furkamulde). — Kalkfrei;

c) aus dem Simplontunnel, 3720 m vom Nordportal. — leg. H. Preiswerk. — Relativ kalkreich.

Es dürfte sich hierbei um zusammengesackte, vielleicht z. T. auch zusammengeschwemmte Lösungsrückstände aus Anhydrit-Schieferton- (bzw. -Sericitschiefer-) Gesteinen ohne Dolomit handeln, mit fehlender oder nur relativ schwacher Calcitausscheidung nach Rauhwackeart.

2. In den Dolomitkomplexen der ostalpinen Trias und im oberen Malm der helvetischen Gebiete treten oft sog. „Primärbreccien" auf, die durch Zertrümmerung frisch abgelagerter, aber bereits verfestigter Dolomit- oder dolomitischer Kalkschichten und Wiederverkittung der Trümmer mit feinst- bis gröberkörnigem Calcit entstanden sind. Für das Zustandekommen dieser Bildungen sind verschiedene Ursachen angenommen worden, und sehr wahrscheinlich sind diese Gesteine auch auf verschiedene Weise entstanden. Ich möchte hier nur darauf hinweisen, dass auch ein der Rauhwackebildung verwandter Prozess, jedoch in marinem Milieu, zu solchen Bildungen geführt haben könnte. Durch zeitweilige Abschnürung von einzelnen Teilen des im Bildungsbereich der fraglichen Gesteine sicherlich sehr flachen Meeres wären dünne Anhydritschichtchen zwischen den Dolomit- oder den dolomitischen Kalkbänken gebildet worden. Bei folgender Zufuhr von normalem Meerwasser wäre dann der Anhydrit zuerst in Gips übergeführt worden, wodurch die hangenden karbonatischen Schichten zertrümmert wurden, und schliesslich wäre der Gips weggelöst worden, wobei die Verkittung der Trümmer möglicherweise durch ähnliche Ersetzung des Gipses durch Calcit wie bei den Rauhwacken eingetreten wäre. Ob diese Hypothese allerdings (wenigstens für einen Teil der Fälle) zutrifft, müsste noch geprüft werden.

Physikalisch-chemische Erklärung der Bildung der Rauhwacken.

Wie oben ausgeführt wurde, beruht die Entstehung der Rauhwacken im wesentlichen auf einer Ersetzung von Gips durch Calcit und gleichzeitiger Zersetzung von Dolomit unter der Einwirkung des Grundwassers. Dieser Vorgang scheint auf den ersten Blick paradox, weil nach den bisherigen Löslichkeitsuntersuchungen unter gleichen Bedingungen Calcit in Wasser leichter löslich ist als Dolomit. Aus diesem Grund werden z. B. calcitische Schalenreste aus dolomitischen Gesteinen bei der Verwitterung herausgelöst und hinterlassen Steinkerne und Abdrücke. Warum wird daher bei der Rauhwackebildung Calcit ausgeschieden und bleibt unversehrt, während der schwerer lösliche Dolomit zerstört wird? Und woher stammt das ausgeschiedene Calciumcarbonat?

Die Beobachtungen zeigen, dass die Entstehung der Rauhwacken an das Zusammenvorkommen von Gips und Dolomit gebunden ist. Aus kompakten Dolomitmassen ohne Gips bilden sich ebensowenig Rauhwacken, wie aus Gips-Kalk- oder Gips-Ton-Wechsellagerungen. Man darf wohl hieraus folgern, dass die Umkehrung des Löslichkeitsverhältnisses der beiden Carbonate mit der Anwesenheit des Gipses zusammenhängt, und dass sich der Calcit ferner aus der Lösung der beiden Ausgangsstoffe Gips und Dolomit bildet und nicht etwa von weiterher herbeigeführt worden ist.

Unter diesen Voraussetzungen stellt sich das Problem der Rauhwackebildung vom physikalisch-chemischen Gesichtspunkt aus folgendermassen dar:

In Wasser von ca. 10° C, unter einem Druck von ca. 1 Atm. oder nur wenig mehr und mit einem CO_2-Gehalt von ca. 55—60 mg/l (Mittelwert aus den Analysen der Schweiz. Mineral- und Heilquellen, ohne Säuerlinge, vgl. 11) lösen sich Dolomit ($CaMg(CO_3)_2$) und Gips ($CaSO_4 \cdot 2\ H_2O$). Die Lösung enthält die Ionen $Ca^{\cdot\cdot}$, $Mg^{\cdot\cdot}$, SO_4'' und CO_3''[5]).

Bei Verdunstung einer Lösung mit diesen 4 Ionen können sich folgende vier Stoffe ausscheiden: Calcit ($CaCO_3$), Nesquehonit ($MgCO_3 \cdot 3\ H_2O$), Gips ($CaSO_4 \cdot 2\ H_2O$) und Bittersalz ($MgSO_4 \cdot 7\ H_2O$). Dolomit kann sich unter den genannten Bedingungen nicht bilden. Die Reihenfolge der Ausscheidung ist von der Löslichkeit der Stoffe und von den Ausgangskonzentrationen abhängig. Unter den zur Diskussion stehenden Bedingungen sind die Löslichkeiten folgende:

Dolomit[6]):	ca.	0,29 g/l,	bzw.	je	3,1	Milliäquivalente	$Ca^{\cdot\cdot}$	u. $Mg^{\cdot\cdot}$
			und		6,2	,,	CO_3''	
Calcit:	,,	0,32 ,,	bzw.	je	6,4	,,	$Ca^{\cdot\cdot}$	,, CO_3''
Gips:	,,	1,93 ,,	,,	,,	28,4	,,	$Ca^{\cdot\cdot}$	,, SO_4''
Nesquehonit:	,,	8,2 ,,	,,	,,	195	,,	$Mg^{\cdot\cdot}$	,, CO_3''
Bittersalz:	,,	305 ,,	,,	,,	5080	,,	$Mg^{\cdot\cdot}$	,, SO_4''

[5]) In Wirklichkeit bilden sich bei der Auflösung der Carbonate vorwiegend HCO_3'-Ionen unter Aufnahme von CO_2 aus der Luft. Diesen Vorgang brauchen wir aber hier nicht zu berücksichtigen.

[6]) Die Löslichkeitsangaben für Dolomit sind sehr verschieden. Die obenstehende Zahl ist berechnet ausgehend von der grössten bisher gemessenen Löslichkeit (0,725 g/l CO_2-gesättigten Wassers, nach LINCK) unter der Annahme, die Löslichkeit des Dolomits in CO_2-freiem Wasser sei gleich wie die seiner Komponenten Calcit und Magnesit (ca. 0,03 g/l) und die Löslichkeitsveränderung in Abhängigkeit vom CO_2-Gehalt des Wassers sei derjenigen des Calcits und des Nesquehonits proportional.

Wegen der äusserst langsamen Zirkulation des Grundwassers in den feinen Gesteinskapillaren kann sich sicherlich eine gesättigte Gips-Dolomit-Lösung bilden. Diese würde nach den angeführten Zahlen enthalten:

31,5	Milliäquivalente	$Ca^{\cdot\cdot}$
28,4	,,	SO_4''
6,2	,,	CO_3''
3,1	,,	$Mg^{\cdot\cdot}$

Bei Einengung dieser Lösung würde fast gleichzeitig mit dem Gips wegen der Anwesenheit der $Ca^{\cdot\cdot}$-Ionen des Gipses und der CO_3''-Ionen aus dem $MgCO_3$ des Dolomits auch Calcit auskristallisieren, während Nesquehonit erst sehr viel später und Bittersalz ganz zuletzt ausgeschieden würde. Nehmen wir eine geringere Gipskonzentration an, so würde zunächst ausschliesslich Calcit ausgefällt werden.

Hiermit scheint eine Möglichkeit der Calcitausscheidung gefunden zu sein; jedoch erklärt sie nicht, warum der ausgeschiedene Calcit nicht wie der Dolomit der Auflösung anheimfällt. Dies liegt daran, dass wir das Massenwirkungsgesetz noch nicht berücksichtigt haben. Nach diesem Gesetz setzen Stoffe mit einem oder mehreren gemeinschaftlichen Ionen gegenseitig ihre Löslichkeit herab, solche mit verschiedenen Ionen beeinflussen sich im ungekehrten Sinne.

Für unseren Fall ergibt sich hieraus, dass der grosse Überschuss an $Ca^{\cdot\cdot}$-Ionen des Gipses die Löslichkeit des Calcits stark herabsetzen muss. Die gesättigte Gips-Dolomit-Lösung ist also an $CaCO_3$ stark übersättigt. Es müssen sich daraus ca. 4,7 Milliäquivalente $Ca^{\cdot\cdot}$ und CO_3'' als Calcit ausscheiden, und in der Lösung bleiben zurück:

28,4	Milliäquivalente	SO_4''
26,8	,,	$Ca^{\cdot\cdot}$
3,1	,,	$Mg^{\cdot\cdot}$
1,5	,,	CO_3''

Der Calcit wäre also in dieser Lösung etwa viermal weniger löslich als Dolomit, und dies dürfte das beobachtete Verhalten zur Genüge erklären.

Der natürliche Prozess der Rauhwackebildung verläuft nun allerdings kaum exakt nach diesem Rezept. Eine Übersättigung vom angegebenen Ausmass dürfte kaum vorkommen, sondern die Calcitausscheidung dürfte eintreten, sobald der Sättigungspunkt der Lösung für $CaCO_3$ überschritten wird, und anhalten, solange diese Übersättigung durch Nachlieferung von $Ca^{\cdot\cdot}$- und CO_3''-Ionen aus dem festen Dolomit und Gips in die Lösung aufrecht erhalten bleibt, und die Veränderung der Zusammensetzung der Restlösung dürfte sich erst allmählich einstellen. Auch sind die angegebenen Zahlen sicherlich nicht genau, da sie auch noch durch andere Einflüsse modifiziert werden. So wirkt wahrscheinlich Gips auf Dolomit etwas löslichkeitserhöhend ein; auch die reduzierte Löslichkeit des Calcits ist wahrscheinlich wegen des Einflusses der anderen Ionen nicht ganz so niedrig. Anwesenheit anderer Salze, z. B. Steinsalz (NaCl) oder Glaubersalz ($Na_2SO_4 \cdot 10\ H_2O$), erhöht die Löslichkeiten ebenfalls beträchtlich etc.

Dass der Entstehungsprozess der Rauhwacken aber trotz aller Abweichungen nach den angeführten Leitlinien vor sich geht, lässt sich an den aus den Rauhwacke- und Dolomit-Gips-Zonen entspringenden Mineralquellen nachprüfen und bestätigen. Die folgende Liste gibt eine Übersicht über die Mengenverhältnisse der vier wichtigen Ionen $Ca^{\cdot\cdot}$, $Mg^{\cdot\cdot}$, SO_4'' und CO_3'' in Milliäquivalenten in einer Anzahl solcher Quellwässer. Die aus anderen Sulfaten herrührenden SO_4''-Mengen sind abgezogen, die eingeklammerten CO_3''-Werte sind als Differenz

Quelle	SO_4''	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	CO_3''	Grössere Beimengungen anderer Salze
A. Alpen					
1. Lötschbergtunnel . . . . . Km 4,030 v. N-Portal (März 1910)	32,4	24,7	9,5	(1,8)	+11,0 $Na^{\cdot}$ u. Cl' +12,8 $Na^{\cdot}$ u. SO_4''
2. Lötschbergtunnel . . . . . Km 4,042 v. N-Portal (März 1910)	24,9	20,7	6,7	(2,5)	+ 6,2 $Na^{\cdot}$ u. Cl' +17,0 $Na^{\cdot}$ u. SO_4''
3. Lötschbergtunnel . . . . . Km 4,095 v. N-Portal (März 1910)	24,7	18,4	7,2	(0,9)	+ 8,8 $Na^{\cdot}$ u. Cl' +16,7 $Na^{\cdot}$ u. SO_4''
4. Lötschbergtunnel . . . . . Km 3,410 v. S-Portal (Sept. 1909)	31,1	26,5	6,6	(2,0)	
5. Simplontunnel . . . . . „Dammtürprobe" (Durchschnitt Sept. 1904—März 1905)	18,6	17,0	2,4	(0,8)	
6. Simplontunnel . . . . . Km 9,142 v. S(?)-Portal (Durchschnitt 16. Juli—1. Aug. 1905)	25,2	23,7	4,2	(2,7)	
7. Simplontunnel . . . . . Km 9,150 v. S(?)-Portal (Durchschnitt 16. Juli—1. Aug. 1905)	25,1	23,1	3,8	(1,8)	
8. Bains de l'Alliaz	26,5	27,5	3,9	4,9	
9. Alvaneu-Bad . . . . . (untere Quelle)	14,1	11,7	5,4	3,0	
10. Alvaneu-Bad . . . . . (obere Quelle)	12,1	10,4	4,9	3,2	
11. Andeer	30,3	28,8	4,8	3,3	
12. Bergün . . . . . (Quelle „Ova cotschna")	18,8	15,6	5,5	2,3	
13. Bergün . . . . . (Quelle „Albula")	18,5	14,7	6,3	2,5	
14. L'Etivaz . . . . . (Source de gauche)	28,4	29,4	5,0	6,0	
15. L'Etivaz . . . . . (Source de droite)	28,9	31,2	6,2	8,5	
16. Leukerbad	25,5	22,9	5,0	2,4	
17. Tenigerbad . . . . . (alte Quelle)	33,1	29,9	5,7	2,5	
18. Tenigerbad . . . . . (neue Quelle)	32,4	29,3	5,8	2,7	
19. Vals . . . . . (obere Quelle)	21,0	23,6	4,9	7,5	
20. Vals . . . . . (untere Quelle)	21,4	24,0	5,1	7,7	
21. Weissenburg-Bad	21,3	17,0	6,3	2,0	
22. St. Gingolph	20,3	21,3	4,7	5,7	

Quelle	SO_4''	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	CO_3''	Grössere Beimengungen anderer Salze
B. Jura					
1. Baden	26,2	25,8	8,3	7,9	+ ca. 34 $Na^{\cdot}$ u. Cl'
2. Meltingen (alte Quelle)	22,3	21,8	6,5	(6,0)	
3. Meltingen (neu gefasste Quelle)	28,6	29,4	8,3	(9,1)	
4. Schenkenberg	22,4	24,2	5,3	7,1	
5. Schinznach-Bad	20,2	18,2	7,3	4,8	+ ca. 17 $Na^{\cdot}$ u. Cl'
6. Sissach (Alpbad-Quelle)	31,4	30,9	6,0	5,5	

($Ca^{\cdot\cdot} + Mg^{\cdot\cdot} - SO_4''$) berechnet. Die Analysen aus dem Lötschberg- und dem Simplontunnel (A. 1—7) wurden seinerzeit von F. HINDEN im alten geologischen Institut Basel ausgeführt und sind den im mineralogischen Institut aufbewahrten Manuskripten entnommen; die übrigen Analysen sind nach dem Buch über die Mineral- und Heilquellen der Schweiz (11) zusammengestellt.

Bei allen diesen Quellen ist zu wenig CO_3'' vorhanden, um eine dem $Mg^{\cdot\cdot}$ entsprechende Menge Dolomit zu bilden, ja bei der Mehrzahl derselben reicht das CO_3'' nicht einmal zur Absättigung des $Mg^{\cdot\cdot}$ aus; diese letzteren Quellen enthalten ausserdem weniger $Ca^{\cdot\cdot}$, als zur Bildung von Gips aus dem SO_4'' nötig wäre. Sofern man also annimmt, die Mineralwässer seien durch Auflösung von Gips und Dolomit entstanden, kann zur Erklärung des Fehlens gleicher Äquivalente von $Ca^{\cdot\cdot}$ und CO_3'' nur die Ausfällung von $CaCO_3$ in Frage kommen, die in den Rauhwacken zu beobachten ist.

Dass der $Mg^{\cdot\cdot}$-Gehalt der Quellen durch Auflösung von Bittersalz entstanden sei, ist sehr unwahrscheinlich. Wegen der Leichtlöslichkeit des $MgSO_4$ müsste der Gehalt an $Mg^{\cdot\cdot}$ und SO_4'' viel grössere Schwankungen zeigen, als dies der Fall ist. Zudem ist Bittersalz m. W. bisher nur in der jurassischen Trias (Keuper von Birmenstorf), nicht aber in den Alpen nachgewiesen worden.

Zum Schluss möchte ich noch kurz die Frage der Volumenveränderung bei der Rauhwackebildung streifen.

Mit der Umwandlung von Anhydrit in Gips ist eine Volumenvergrösserung um 57% verbunden. Es kann keinem Zweifel unterliegen, dass dies zu einer Ausdehnung der betroffenen, keine grösseren Porenräume aufweisenden Gesteinskomplexe führt.

Wie steht es aber bei der Rauhwackebildung aus den Dolomit-Gips-Gesteinen? Da die Dolomitbrocken rasch von tragfähigen Calcitwänden umgeben werden, so wird durch ihre (partielle) Auflösung das Gesteinsvolumen nicht verändert. Dasselbe gilt für die weniger umfangreichen Gipspartien, welche nach ihrer Weglösung die drusenartigen Hohlräume hinterlassen. Aus den oben für die Reaktionen in gesättigter Gips-Dolomit-Lösung angegebenen Zahlen lässt sich nun aber berechnen, dass auf 100 gelöste Volumina Gips nur 8,2 Volumina Calcit ausgeschieden werden. Sind die Lösungen an Gips nicht gesättigt wie bei einer Reihe der angeführten Gipsquellen, so mag die Calcitmenge im Verhältnis viel-

leicht bis aufs Doppelte steigen. Dies entspricht einem Volumenverlust, der durch die im Innern der Calcitadern zurückbleibenden Hohlräume kaum kompensiert sein kann. Mit der Rauhwackebildung ist also sicherlich eine Volumenabnahme und damit ein Setzungsvorgang verbunden; er betrifft aber nach dem oben Gesagten offenbar im wesentlichen die mehr oder weniger Dolomit-freien grösseren Gipslagen oder -Komplexe.

Zitierte Literatur.

1. Beck, P., Die Niesen-Habkerndecke und ihre Verbreitung im helvetischen Faciesgebiet. — Eclogae geol. Helv. 12, p. 65, 1912.
2. Berner Alpenbahn-Gesellschaft Bern-Lötschberg-Simplon, Quartalberichte an das eidg. Post- und Eisenbahndepartement über den Stand der Arbeiten der Berner Alpenbahn (Frutigen-Brig). — Bern, 1906—1913.
3. Berner Alpenbahn-Gesellschaft Bern-Lötschberg-Simplon, Schlussbericht an das eidg. Post- und Eisenbahndepartement über den Bau des Lötschbergtunnels der Berner Alpenbahn 1906—1913. — Bern, 1914.
4. Buxtorf, A., Geologische Prognose für den nördlichen Teil des neuen Trace des Lötschbergtunnels, bis Kilometer 8 vom Nordportal. — Verh. d. Natf. Ges. Basel 21, p. 222, 1910.
5. Cadisch, J., Geologie der Schweizeralpen. — Zürich, 1934.
6. Cornelius, H.P., Zur Vorgeschichte der Alpenfaltung. — Geol. Rundschau 16, p. 350, 1925.
7. Cornelius, H. P., Geologie der Err-Julier-Gruppe. — Beitr. z. geol. Karte d. Schweiz N.F. 70 I, 1935.
8. Preiswerk, H., Die metamorphen Triasgesteine im Simplontunnel. — Verh. d. Natf. Ges. Basel 24, p. 1, 1913.
9. Raaf, M. de, La géologie de la nappe de Niesen entre la Sarine et la Simme. — Beitr. z. geol. Karte d. Schweiz N.F. 68, 1934.
10. Scherf, E., Hydrotermale Gesteinsmetamorphose im Buda-Piliser Gebirge (1922), mit einem Anhang: Vergleich der hydrotermalen Gesteinsmetamorphose im Buda-Piliser Gebirge mit der alpinen Dynamometamorphose (1928). — Ztschr. f. Hydrologie 2, 1922, und Sonderabdruck Budapest 1928.
11. Schweiz. Verein analytischer Chemiker, Eidg. Gesundheitsamt, Schweiz. Gesellschaft für Balneologie und Klimatologie, Die Mineral- und Heilquellen der Schweiz. — Bern 1937.

Erläuterungen zu den Tafeln.

Gesteinsproben.

Tafel IV.

Fig. 1. Dolomit-Anhydrit-Gestein, Lötschbergtunnel, Nr. 1162, Km 3,299 vom Südportal (Lötschentaler Sedimentkeil). — Dolomit, tektonisch sehr stark zertrümmert. Adern von Dolomitspat (weiss, rechts unten vorherrschend) und Anhydrit (hellgrau, links oben vorherrschend) erfüllt. — Polierte Fläche.

Fig. 2. Anhydrit-Schieferton-Dolomit-Gestein, Lötschbergtunnel, Nr. 119, Km 3,751 vom Nordportal. — Anhydrit in dunkleren und helleren Lagen. Darin streifenweise angeordnete Schieferton- und Dolomitfetzen. Ehemalige Schichtung trotz starker tektonischer Auswalzung noch deutlich zu erkennen.

Dünnschliff-Photographien.

Dolomit, Dolomitspat, Anhydrit.

Tafel IV.

Fig. 3. und 4. Dolomit-Anhydrit-Gestein, Lötschbergtunnel, Nr. 1162, Km 3,299 vom Südportal (Lötschentaler Sedimentkeil). — Dolomit mit Dolomitspat-Anhydrit-Adern. In Fig. 3 Dolomitspatkristalle lamellar angeordnet, Anhydrit spärlich; in Fig. 4 Dolomitspatkristalle regellos verteilt, Anhydrit reichlich vertreten. Beim Pfeil ein Quarzkristall (mit schwachem Relief) am Aderrand. — Vergr. Fig. 3: 30 ×, Fig. 4: 26 ×, gewöhnliches Licht.

Fig. 5. Dolomit-Anhydrit-Gips-Gestein, Lötschbergtunnel, Nr. 70, Km 3,546 vom Nordportal. — Diagenetisch gebildeter Anhydrit im Dolomit. — Vergr. 26 ×, gekreuzte Nicols.

Gipsbildung.

Tafel V.

Fig. 1. Dolomit-Anhydrit-Gips-Gestein, Lötschbergtunnel, Nr. 70, Km 3,546 vom Nordportal. — Anhydritader in Umwandlung zu Gips begriffen; Anhydrit mit hohem, Gips mit niedrigem Relief. Dolomit mit gipsgefüllten Sprengrissen. — Vergr. 27 ×, gewöhnliches Licht.

Fig. 2. Anhydrit-Gips-Gestein, Lötschbergtunnel, Nr. 151, Km 3,940 vom Nordportal. — Umwandlung von Anhydrit in Gips: Die Anhydritkristalle (mit Spaltrissen und Zwillingslamellen) zeigen randliche Korrosion und sind durchsetzt von Adern und Äderchen von feinfaserigem Gips. — Vergr. 51 ×, gekreuzte Nicols.

Fig. 3. Dolomit-Anhydrit-Gips-Gestein, Lötschbergtunnel, Nr. 70, Km. 3,546 vom Nordportal. — Gipsader mit mehr oder weniger lamellar angeordneten grösseren Kristallen; daneben ein Schiefertonfetzen und Dolomit. — Vergr. 27 ×, gekreuzte Nicols.

Fig. 4. Dolomit-Gips-Gestein, Lötschbergtunnel, Nr. 69, Km 3,546 vom Nordportal. — Verästelte Gipsader, aus einem einzigen Kristall bestehend, in Dolomit („poikilitische" Struktur). An den Aderrändern einige neugebildete Calcitkriställchen. — Vergr. 23 ×, gekreuzte Nicols.

Calcitneubildung in Dolomit-Gips-Gesteinen.

Tafel VI.

Fig. 1. Dolomit-Gips-Gestein, Lötschbergtunnel, Nr. 69, Km 3,546 vom Nordportal. — Gipsader mit zahlreichen neugebildeten Calcitkriställchen in Dolomit mit rundlichen (helleren) Calciteinschlüssen; darin ferner ein Dolomitspatkomplex; auch in der Gipsader bei den Pfeilen zwei grössere Kristalle von Dolomitspat. — Vergr. 29 ×, gewöhnliches Licht.

Fig. 2. Dolomit-Gips-Gestein von Vionnaz (3a auf S. 122). — Dolomiteinschluss, ziemlich zersetzt und daher löcherig, in Gips. Auf der Grenze haben sich grosse Calcitkristalle gebildet. Vergr. 31 ×, gewöhnliches Licht.

Fig. 3. Dolomit-Gips-Gestein vom Arvigrat (3c auf S. 122). — Dolomit, durchzogen von Sprengrissen; diese sind erfüllt von feinfaserigem Gips und neugebildeten Calcitkriställchen; die letzteren haben den Gips in den feineren Adern bereits völlig ersetzt. — Vergr. 46 ×, gewöhnliches Licht.

Fig. 4. Gleicher Schliff wie Fig. 3. — Dolomit mit zwei rundlichen, unscharf begrenzten Einschlüssen von feinfaserigem Gips (entstanden aus diagenetischem Anhydrit, vgl. Taf. IV, Fig. 5). Eine Ader von neugebildetem Calcit mit deutlicher Mittellinie und kleinen Relikten von Gips. — Vergr. 45 ×, gekreuzte Nicols.

Rauhwacken.

Tafel VII.

Fig. 1 bis 3. Rauhwacke, Lötschbergtunnel, Nr. 52, Km 3,529 vom Nordportal.

Fig. 1. Gesprengter Dolomit, ziemlich zersetzt und daher etwas löcherig. Die grosse Ader ist nur partiell, die kleine völlig von Calcit erfüllt, letztere mit deutlicher Mittellinie (man beachte die Übereinstimmung mit Taf. VI, Fig. 3 und 4). — Vergr. 26,5 ×, gewöhnliches Licht.

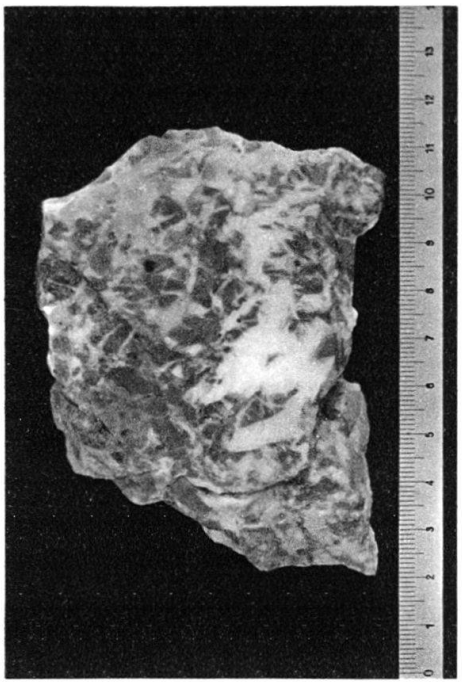
Fig. 2. Unregelmässig gestaltete Calcitmasse mit drusenartigen Hohlräumen in noch relativ frischem Dolomit. Calcitkristallgrösse gegen die Hohlräume deutlich zunehmend. Im Calcitgewebe einige kleine Quarzkriställchen. — Vergr. 33 ×, gewöhnliches Licht.

Fig. 3. Calcit, vorwiegend kryptokristallin, links unten in grösseren Kriställchen; zahlreiche Quarzeinschlüsse und Dolomitbrocken, letztere teils noch relativ kompakt (grosser dunkler Einschluss links), teils stärker zersetzt (hellere, körnelige, z. T. löcherige Einschlüsse oben) oder ganz zerstört (Löcher rechts). — Vergr. 25,5 ×, gekreuzte Nicols.

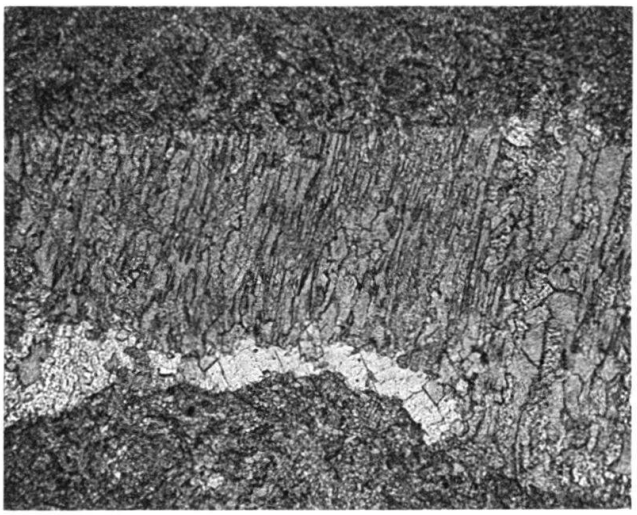
Fig. 4. Rauhwacke, Lötschbergtunnel, Nr. 54, Km 3,532 vom Nordportal. — Kryptokristalliner Calcit mit zahlreichen kleinen Quarzeinschlüssen. Darin stark zersetzte körnelige oder ganz zerstörte Dolomitbrocken (Löcher). Oben ein kleiner Schieferton-, unten ein (zersetzter) Dolomitspat-Einschluss. — Vergr. 23,5 ×, gekreuzte Nicols.

Sämtliche Photographien wurden von meinem Bruder, Dr. Wolfgang Brückner, aufgenommen.

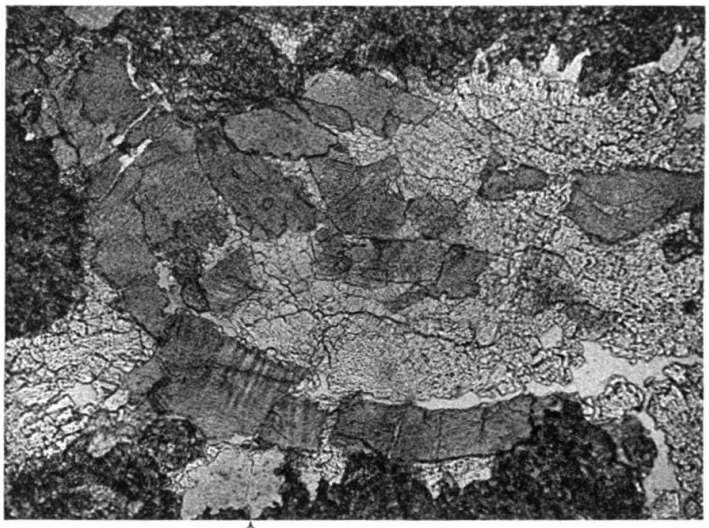
Manuskript eingegangen den 9. Juni 1941.



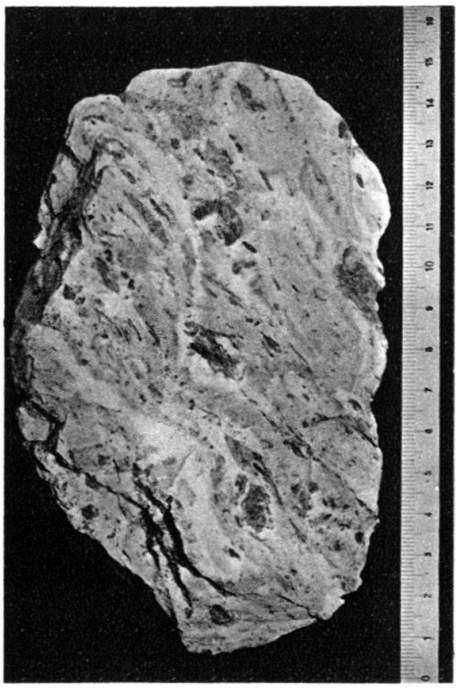
1



3



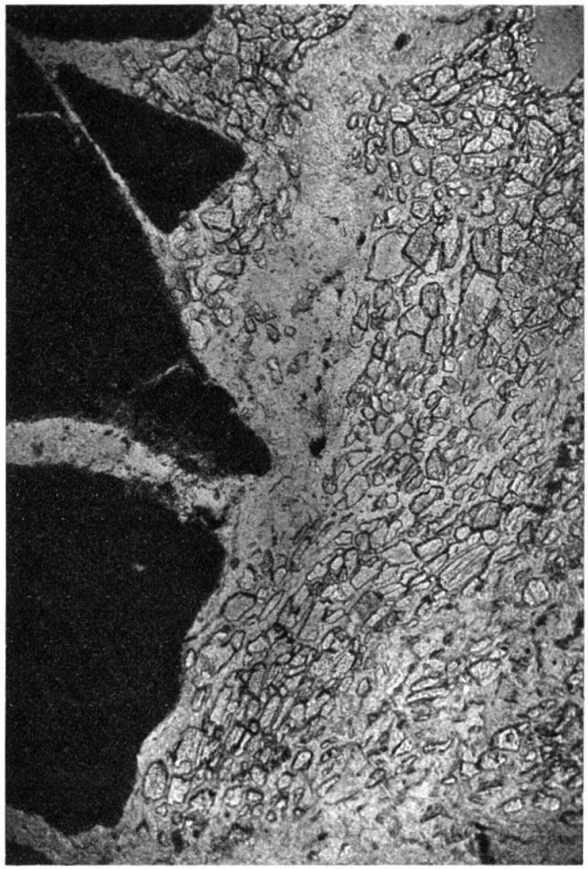
4



2

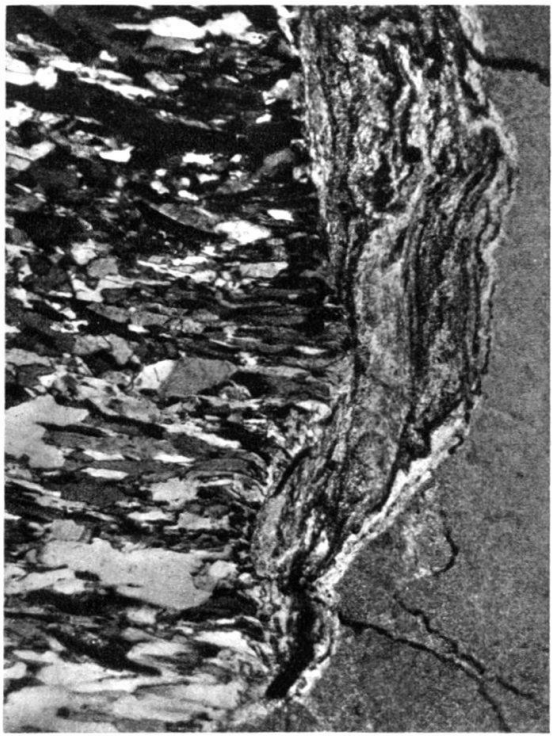
5

Repr. Birkhäuser, Basel.

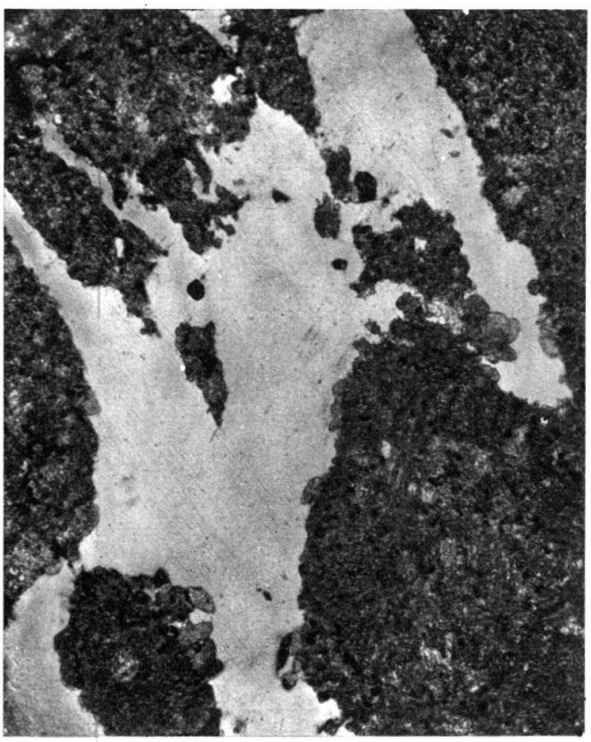


1

2

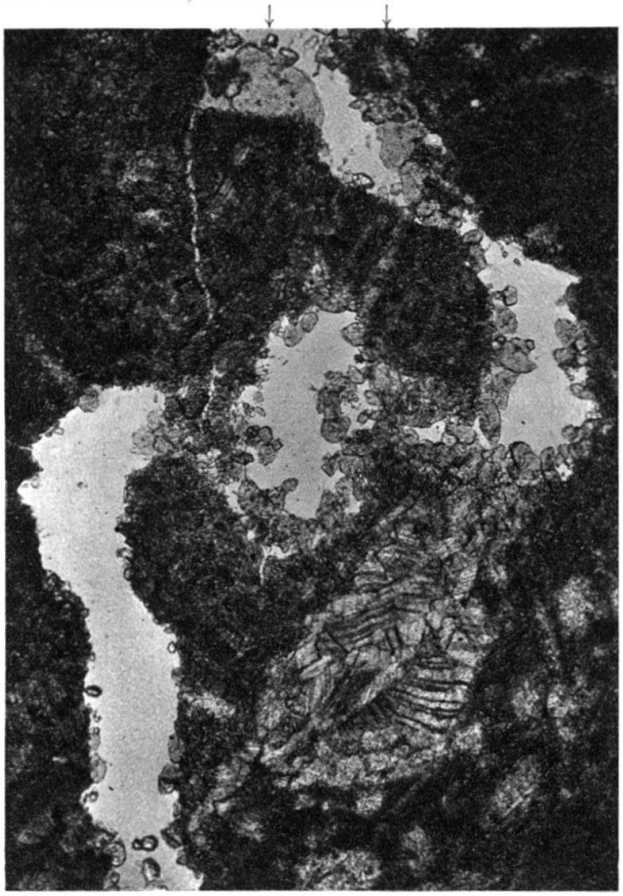


3

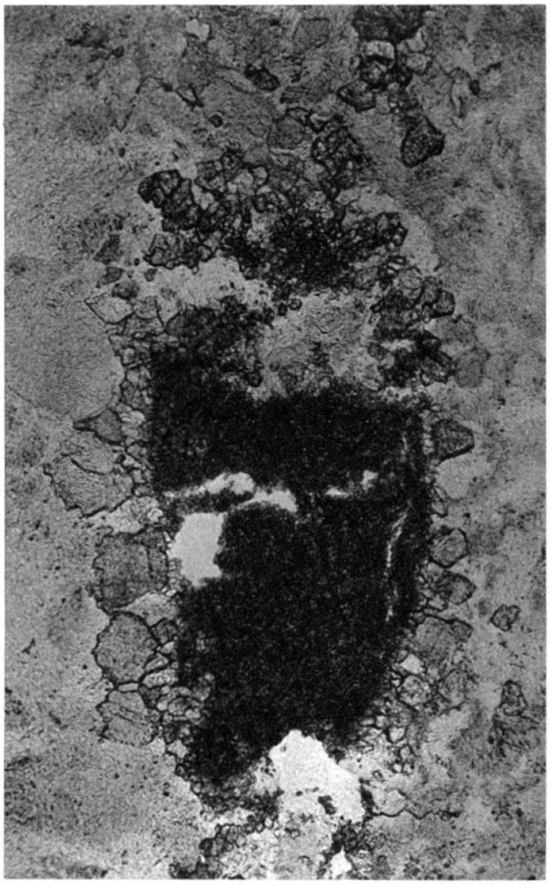


4

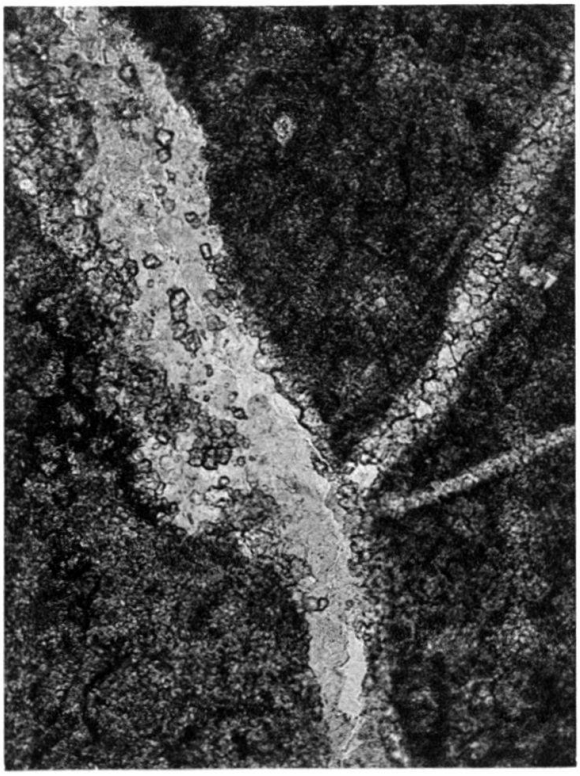
Repr. Birkhäuser, Basel.



1



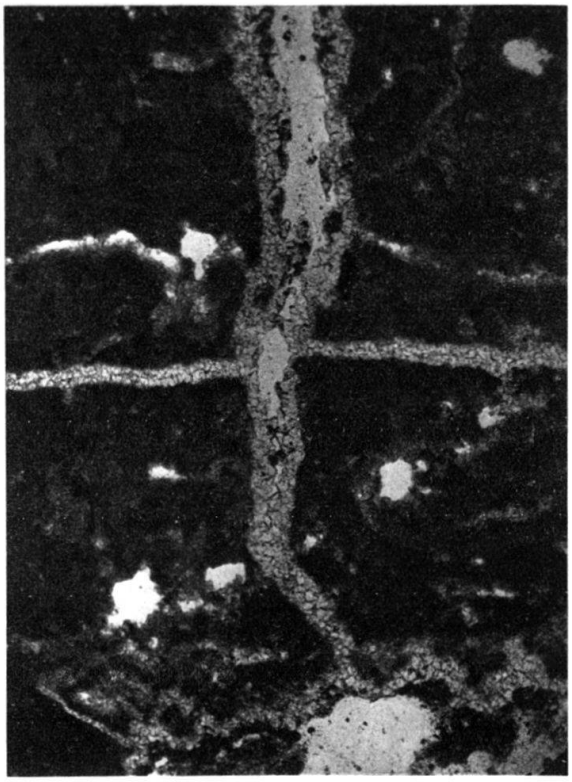
2



3

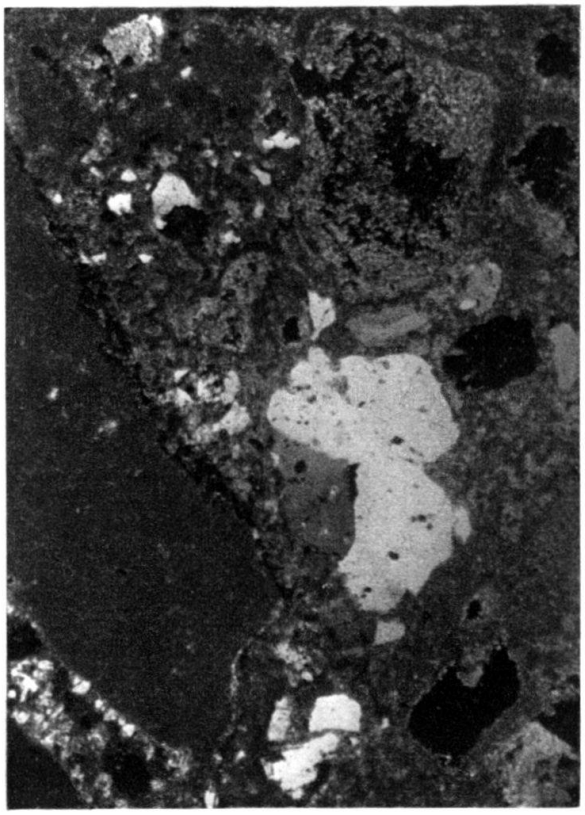
4

Repr. Birkhäuser, Basel.

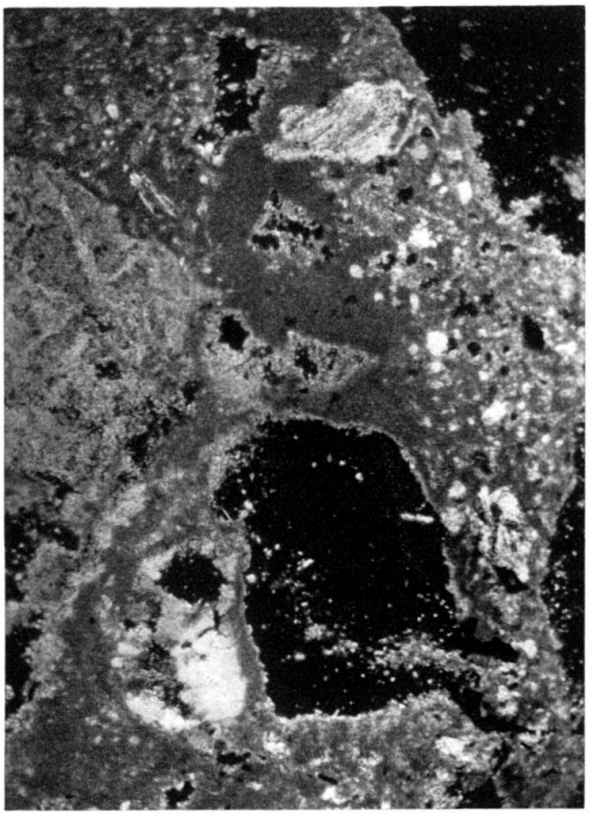


1

2



3



4

Repr. Birkhäuser, Basel.