

Petrographie, Stoßwellenmetamorphose und Entstehung polymikter kristalliner Breccien im Nördlinger Ries

Manutschehr Abadian

Mineralogisch-Petrographisches Institut der Universität Tübingen, Deutschland

Eingegangen am 13. April 1972

Petrography, Shock Metamorphism and Genesis of Polymict Crystalline Breccias in the Nördlinger Ries

Abstract. Polymict crystalline breccias are typical impact products of the Ries crater. They occur within the Ries crater (Appetshofen, Lierheim, Leopold Meyers Keller), on its rim (Maihingen-Klostermühle) and within the immediate vicinity of the crater (Itzing). Apart from very rare admixtures of sedimentary rock fragments the polymict crystalline breccias consist almost exclusively of fragments of various crystalline rocks, namely granites, gneisses and amphibolites. The petrographical and statistical investigations have shown that breccias from different localities have different composition. This reflects a possible difference in local compositions of the crystalline basement. The rocks in the breccias have been affected to various degrees by shock metamorphism. The amphibolites could thus be shown to belong predominantly to stage I (diaplectic quartz and feldspar, ~100–300 kb) and stage II (diaplectic quartz and feldspar glasses, ~350–500 kb) whereas the granites and gneisses can be attributed mostly to stage 0 (fractured quartz and feldspar, <100 kb) and stage I. This is in part the result of the bulk shock wave impedance of the rocks in question.

Deformation structures resulting from shock metamorphism have been observed for the first time in sphene as well as in various planes of apatite.

A large part of breccia rocks, which contain diaplectic quartz and feldspar glasses were altered into montmorillonite at a later date. The authigenic minerals were examined by x-rays and chemically by microprobe analysis.

I. Einleitung

Seit dem vergangenen Jahrhundert hatten sich Gümbel (1870), Oberdorfer (1905), Löffler (1912), Nathan (1926) und Ackermann (1958) mit „Kristallinen Auswurfmassen“ des Ries befaßt und diese geologisch-petrographisch und chemisch untersucht. Sie konnten jedoch keine eindeutigen Kriterien für die Entstehung dieser Auswurfmassen finden.

Im Zuge einer geologischen Neukartierung des Kristallins (Dressler, 1967; Matzke, 1967; Graup, 1968) wurden genauere Ergebnisse über die petrographische Zusammensetzung und Verbreitung der kristallinen Auswurfmassen im Ries und Vorries erarbeitet. Jedoch ist über den Grad der Stoßwellenbeanspruchung der kristallinen Auswurfmassen bisher nur wenig bekannt.

Nach der Beschaffenheit und Zusammensetzung sowie dem Grad der Stoßwellenbeanspruchung (ausführliche Darstellung mit Literaturverzeichnis s. v. Engelhardt et al., 1969) werden die kristallinen Auswurfmassen in zwei Gruppen unterteilt:

a) Monomikte Breccien und allochthone Kristallinschollen. Sie sind mehr oder weniger stark zerklüftet bzw. brecciert und zeigen fast keine Stoßwellenbeanspruchung. Ihre Ausdehnung liegt zwischen 10 und einigen 100 m. Die wichtigsten

Vorkommen sind im Bereich des kristallinen Walls, des morphologischen Riesrandes sowie außerhalb des Riesrandes (Reich und Horrix, 1955; Bentz, 1927; Graup, 1971).

b) Polymikte kristalline Breccien¹. Sie bestehen aus einem Gemenge eckiger bis gerundeter Gesteinsfragmente verschiedenartigen kristallinen Grundgebirges, die in eine feinkörnige Grundmasse desselben Gesteinsmaterials eingebettet sind. Im Gegensatz zu den Kristallinschollen und monomikten Breccien führen sie Gesteinsfragmente mit eindeutiger Stoßwellenmetamorphose.

Die vorliegende Arbeit hat die quantitative Erfassung des Gesteinsbestandes und des Grades der Stoßwellenmetamorphose sowie die Genese der polymikten Kristallinbreccien zum Ziel.

II. Vorkommen und Verbreiterung polymikter kristalliner Breccien

Die Vorkommen kristalliner Auswurfmassen sind im wesentlichen auf das Riesinnere, nämlich auf den Bereich des kristallinen Walls und der Schollenzone, sowie auf den Riesrand beschränkt. Im Vorries verteilen sich die kristallinen Auswurfmassen hauptsächlich auf zwei Gebietsstreifen, welche strahlenartig von Appetshofen aus nach E (Itzing) und nach S (Bissingen) verlaufen (Abb. 1).

Die kristallinen Auswurfmassen beinhalten:

- a) allochthone Kristallinschollen;
- b) monomikte Kristallinbreccien;
- c) polymikte kristalline Breccien.

Die im Rahmen dieser Arbeit untersuchten polymikten kristallinen Breccien kann man an die Hand der Aufschlüsse in drei verschiedene Typen unterteilen.

Typ 1: Komplexe, die als isolierte „Spritzer“ auftreten und die in ihrem Gesteinsbestand keinen Zusammenhang mit ihrer Umgebung im Aufschlußbereich erkennen lassen (Leopold-Meyers-Keller).

Typ 2: Vorkommen, die in ihrem Gesteinsbestand eine starke Verwandtschaft mit den benachbarten homogenen kristallinen Schollen aufweisen. Diese Vorkommen finden sich in den etwa einheitlich granitisch zusammengesetzten Gebietsstreifen (vgl. Graup, 1971) (Appetshofen + Lierheim, Itzing).

Typ 3: Breccien, die gangförmig kristalline Schollen durchsetzen (Maihingen-Klostermühle).

Die Anzahl der Aufschlüsse der polymikten kristallinen Breccien ist leider sehr begrenzt. Im folgenden werden die untersuchten Aufschlüsse beschrieben.

1. Leopold-Meyers-Keller (R 3609955, H 5412520)

Am Galgenberg, dem südlichen Stadtrand von Nördlingen, liegt ein großer Aufschluß. Im Vergleich zu dem Aufschluß von Itzing sind die Gesteine stärker verwittert. Die Unterlage bildet hier ebenso die Bunte Breccie, wobei diese überwiegend aus dem Keupermaterial besteht. Eine kleine Scholle von Keupersandstein ist an dem östlichen Aufschlußrand zu beobachten. Über der polymikten kristallinen Breccie ist zum Teil Süßwasserkalk aufgeschlossen.

¹ In der Literatur auch als heterogene kristalline Breccien bezeichnet (vgl. v. Engelhardt et al. 1969; Hüttner, 1969).

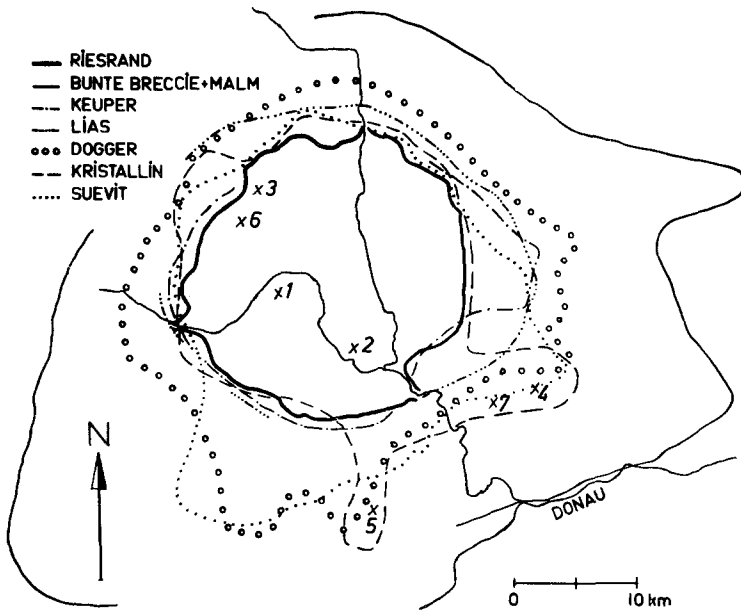


Abb. 1. Verbreitungsgrenzen der verschiedenen Auswurfmassen des Rieskraters nach Schneider (1969). 1 Leopold-Meyers-Keller, 2 Appetshofen, 3 Maihingen-Klostermühle, 4 Itzing, 5 Bissingen, 6 Lehberg, 7 Sulzdorf

2. Itzing (R 4413470, H 5409080)

Im östlichen Vorries bietet der große Bruch von Itzing, am Sportplatz gelegen, den zur Zeit besten und größten Aufschluß der polymikten kristallinen Breccie des Rieses. Die Breccie besteht aus einem Gemenge eckiger bis abgerundeter Bruchstücke von verschiedenen kristallinen Gesteinen. Die Größe der Gesteinsfragmente variiert im allgemeinen zwischen einigen Zentimetern und einigen Dezimetern (maximale Größe ca. 1 m). Die Unterlage der polymikten Breccie bildet hier, wie fast bei allen anderen Vorkommen, die Bunte Breccie, die am Eingang des Bruches (im Süden) deutlich zutage tritt.

3. Appetshofen + Lierheim (R 4398460, H 5409540)

a) 500 m SE' von Appetshofen zeigt ein Aufschluß polymikte kristalline Breccie im Verband mit stark zerrüttetem Lierheimer-Granit. Die Grenze zwischen Breccie und Lierheimer-Granit streicht N 175° E. Die Aufschlußverhältnisse sind hier als sehr schlecht zu bezeichnen, da der Aufschluß als Schutthalde benutzt wird.

b) Am Lierheimer Schloßberg (750 m südlich Appetshofen) zeigt ein durch einen Straßenabschnitt entstandener Aufschluß ebenso polymikte kristalline Breccie im Verband mit stark brecciertem Lierheimer-Granit.

4. Maihingen-Klostermühle (R 3609130, H 5422690)

Bei Maihingen-Klostermühle ist am Weg von der Klostermühle zur Langenmühle eine Gneisscholle über etwa 300 m aufgeschlossen. Diese Scholle wird von einem Gang durchsetzt, der mit einer polymikten kristallinen Breccie gefüllt ist.

Grundsätzlich kann man über die statistische Verteilung und die Größe der Gesteinsfragmente der vier beschriebenen Aufschlüsse sagen, daß dort, wo be-

stimmte Gesteinsarten statistisch überwiegen, ihre Gesteinsfragmente deutlich größer sind, z. B. in Leopold-Meyers-Keller überwiegen die Amphibolite und ihre Bruchstücke sind deutlich größer als die der anderen Gesteine, während in Appethofen + Lierheim die Granite vorherrschen und ihre Fragmente deutlich größer sind als die der anderen Gesteine.

III. Petrographische Zusammensetzung der Gesteinsarten in den polykmiten kristallinen Breccien

Bei der Bestandsaufnahme der kristallinen Gesteine im Ries sind bis jetzt nach Mineralbestand und Gefüge ca. 30 Gesteinsarten beschrieben worden. Da metamorphe Gefüge oft relativ großen Fragmenten eindeutig erkannt werden können, erschien es sinnvoll, die Gesteine auf der Grundlage der Klassifizierung der Plutonite nach Streckeisen (1967) nach ihrem Modalbestand einzuteilen, ohne zunächst Rücksicht auf plutonische oder metamorphe Herkunft zu nehmen. Für eine statistische Bestandsaufnahme wurden in jedem Aufschluß Proben aus mehreren Horizontal- und Vertikalprofilen entnommen. Insgesamt wurden über vierhundert Dünnschliffe untersucht. Die in den Breccien beobachteten Gesteinsarten können in folgende fünf Gruppen eingeteilt werden:

1. Hornblende-dioritisch-quarzdioritische-Gesteine (Symbol Aq)

Modaler Mineralbestand:

Plagioklas (An _{35-42%}) 45—60 %	Hornblende 20—45 %	Quarz 5—20 %	Biotit 2—10 %
---	-----------------------	-----------------	------------------

Sehr oft ist zu beobachten, daß der Biotit ein Umwandlungsprodukt der Hornblende ist.

2. Hornblende-gabbroid-dioritische-Gesteine (Symbol A)

Modaler Mineralbestand:

Plagioklas (An _{35-56%}) 37—55 %	Hornblende 43—60 %	Quarz <1—5 %	Biotit <1—3 %
---	-----------------------	-----------------	------------------

Die Gesteine der Gruppen A und Aq kommen in fast allen Aufschlüssen der polymikten kristallinen Breccien gemeinsam und in ähnlicher Menge vor wie auch Dressler (1967), Graup (1968) und Matzke (1967) beobachteten. Ebenfalls scheinen beide Gesteinsgruppen etwa denselben Grad der Stoßwellenbeanspruchung erlitten zu haben (s. Tabelle 2). Die Gesteine beider Gruppen sind Metamorphite und daher als Amphibolite zu bezeichnen.

Die Amphibolite kommen in allen Übergängen, von fein- über mittel- bis grobkörnig mit heller bis dunkel-grün-schwarzer Farbe vor. Auf Grund des Gefüges trifft Graup (1968) weitere Unterteilungen: massige Amphibolite, gebänderte Amphibolite und fleckige Amphibolite, die mit Sicherheit genetisch sehr eng miteinander verbunden sind.

3. *Biotit-dioritische-Gesteine (Symbol D)*

Modaler Mineralbestand:

Plagioklas ($An_{30-42}\%$) 55—72 %	Quarz <10 %	Biotit 16—28 %	Orthoklas <5 %
--	----------------	-------------------	-------------------

Von den von Graup (1968), Dressler (1967) und Matzke (1967) beschriebenen Gesteinsarten bilden dioritische Gneise (Parablastomylonitgneis, Biotit-Plagioklasgneis) den Hauptanteil, Biotit-Diorite einen kleineren Teil dieser Gruppe.

4. *Biotit-quarzdioritische-Gesteine (Symbol Dq)*

Modaler Mineralbestand:

Plagioklas ($An_{23-36}\%$) 45—60 %	Quarz 25—50 %	Biotit 5—20 %	Orthoklas <5 %
--	------------------	------------------	-------------------

Zu den Gesteinen der Gruppe Dq gehören die von Dressler et al. (1969) ausführlich beschriebenen Typen: Quarz-Biotit-Diorit, Biotit-Plagioklas-Bändergneis, Biotit-Plagioklas-Zeilengneis.

5. *Granitisch-granodioritische-Gesteine (Symbol G)*

Modaler Mineralbestand:

Plagioklas ($An_{20-35}\%$) 20—49 %	Quarz 20—34 %	Orthoklas 15—36 %	Biotit 4—15 %
--	------------------	----------------------	------------------

Zu den Gesteinen der Gruppe G gehören folgende von Dressler et al. (1969) beschriebenen Gesteinstypen: Granite, Granodiorit, Redwizit, Titanitflecken-diorit.

Selten findet man in den polymikten kristallinen Breccien echte Zweiglimmergranite. So wurde im biotitführenden Lierheimer-Granit oft in geringen Mengen primärer Muskovit beobachtet. Graup (1968) beschreibt einen einzigen Zweiglimmergranit aus Tiefental (Albuck). Häufig kommt Muskovit als sekundäre Bildung aus Feldspäten vor. Die von Matzke (1967) beschriebenen Muskovit führenden Granite dürften hauptsächlich zu diesem Typ gehören. Graup (1968), Dressler (1967) und Matzke (1967) unterschieden nach Korngröße, Biotitgehalt und Gefüge von Lesesteinen die folgenden neun Granittypen:

1. Porphyrischer Biotitgranit.
2. Grobkörniger Biotitgranit.
3. Übergang zwischen porphyrischen und grobkörnigem Biotitgranit.
4. Zweiglimmergranit.
5. Mittelkörniger biotitarmer Granit-Aplitgranit.
6. Feinkörniger — feinkörniger Biotitgranit.
7. Feinkörniger — feinkörniger biotitarmer Granit-Aplitgranit.
8. Feinkörniger Ganggranit.
9. Flasergranit.

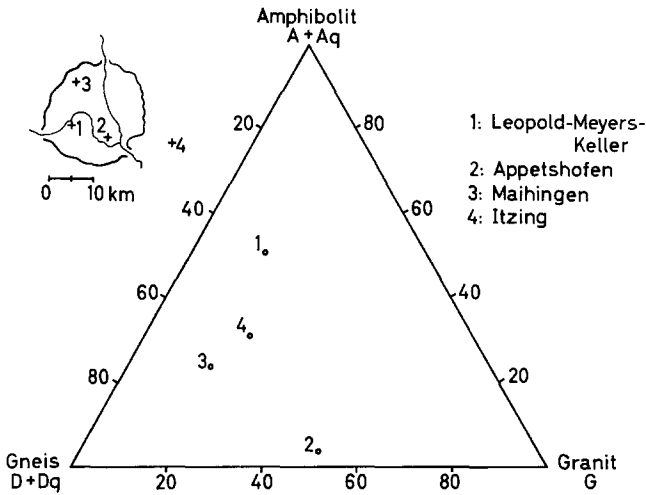


Abb. 2. Die Verteilung der Gesteinstypen in verschiedenen polymikten Breccien

Mit großer Wahrscheinlichkeit gehören alle diese Granitvarietäten einem plutonischen Körper an. Aus der Tabelle 2 ist zu entnehmen, daß alle Gesteine der Gruppe G eine nur geringe Stoßwellenbeanspruchung zeigen. Dies bedeutet, daß sie einem räumlich relativ eng begrenzten Bereich des Krateruntergrundes entstammen. Es ist nicht anzunehmen, daß in einem solchen Bereich genetisch verschiedene Granitplutone vorkommen.

Die Stückzahlprocente sagen nichts über die Volumenanteile der verschiedenen Gesteinstypen aus. In Abb. 2 ist die Verteilung der Hauptgesteinstypen (A + Aq, D + Dq, G) in den Aufschlüssen dargestellt.

IV. Stoßwelleneffekte in den Mineralien der Breccien

Die Fragmente des kristallinen Grundgebirges in den Breccien, des Ries können auf Grund ihres Beanspruchungsgrades den in Tabelle 1 dargestellten Stufen einer progressiven Stoßwellenmetamorphose zugeordnet werden, welche durch Deformationen und Umwandlungen von Quarz und Feldspat charakterisiert sind (Stöffler, 1966; Engelhardt et al., 1969; Stöffler, 1971).

Im folgenden werden die unter dem Mikroskop beobachteten Erscheinungen in den Mineralien der stoßwellenbeanspruchten Gesteine der polymikten Breccien beschrieben.

1. Quarz

Die Quarzkörner schwächer beanspruchter Gesteine zeigen in Scharen auftretende ebene Diskontinuitäten. Diese sind niedrig indizierten Ebenen des Quarzgitters parallel: nach (1013), (1012), (1011). Engelhardt und Bertsch (1969) bezeichnen diese flächenhaften Strukturen als „planare Elemente“. Von den Arten planarer Elemente, die Engelhardt und Bertsch (1969) in den Quarzen aus kristallinen Einschlüssen des Suevit unterschieden (dekorierte planare Elemente, glatte planare

Tabelle 1. Druck- und Temperaturgrenzen sowie petrographische Kennzeichen der Stufen der progressiven Stoßwellenmetamorphose quarz- und feldspatführender Kristallingesteine (nach Stöffler, 1969, 1971)

Stufe	Druck in der Stoßfront in kbar	Resttemperatur nach der Druckentlastung in ° C	Kennzeichen der Stoßwellenmetamorphose an Hand der Indikatorminerale Quarz und Feldspat	Erscheinungsform des Gesteins im Kraterauswurf
0			Kataklastisch zerbrochene Kristalle (unregelmäßige Bruchflächen)	Primärgefüge erhalten
I	~100	~100	Diaplektische Kristalle. Stishovit in Quarz	Primärgefüge erhalten, starke Kataklaste
II	~350	~300	Diaplektische Gläser. Coesit und Stishovit in diaplektischem Quarzglas	Primärgefüge erhalten
III	~500	~900	Normales Feldspatglas mit Blasen und Fließstrukturen. Diaplektisches Quarzglas	Primärgefüge durch partielle Schmelzung teilweise verwischt
IV	~600	~1500	Totale Aufschmelzung aller Mineralphasen und Vermischung der Schmelzen	Primärgefüge völlig zerstört, aerodynamisch geformte Glasbomben
V	~1000	~5000	Verdampfung	

Elemente, homogene Lamellen, gefüllte Lamellen (hochlichtbrechend), ebene Brüche), kommen in den polymikten kristallinen Breccien alle Typen bis auf die dekorierten vor. In Quarz mit homogenen oder gefüllten Lamellen von Appethofen hat Stöffler (1971 a) Stishovit nachgewiesen. In stärker beanspruchten Gesteinsfragmenten liegt Quarz als diaplektisches Glas vor, welches im allgemeinen Coesit enthält (Stöffler, 1971 a).

2. Plagioklas

Die plagioklas der Gesteine in den polymikten kristallinen Breccien zeigen mit zunehmender Stoßwellenbeanspruchung Deformations- und Umwandlungsercheinungen. In schwächer beanspruchten Fragmenten sind die Plagioklas zerbrochen. Die Plagioklas stärker beanspruchter Gesteine sind teilweise isotropisiert und zeigen unter dem Mikroskop mehrere Systeme von Scharen paralleler dünner Lamellen, wie sie für die plastische Stoßwellendeformation typisch sind. Die Lamellen zeigen erniedrigte Lichtbrechung und sind schwach doppelbrechend oder isotrop (Abb. 3). Der stärkste Grad der in den Breccien vorkommenden Stoßwellenmetamorphose wird durch vollständig isotropisierte Plagioklas (diaplektisches Plagioklasglas) angezeigt.

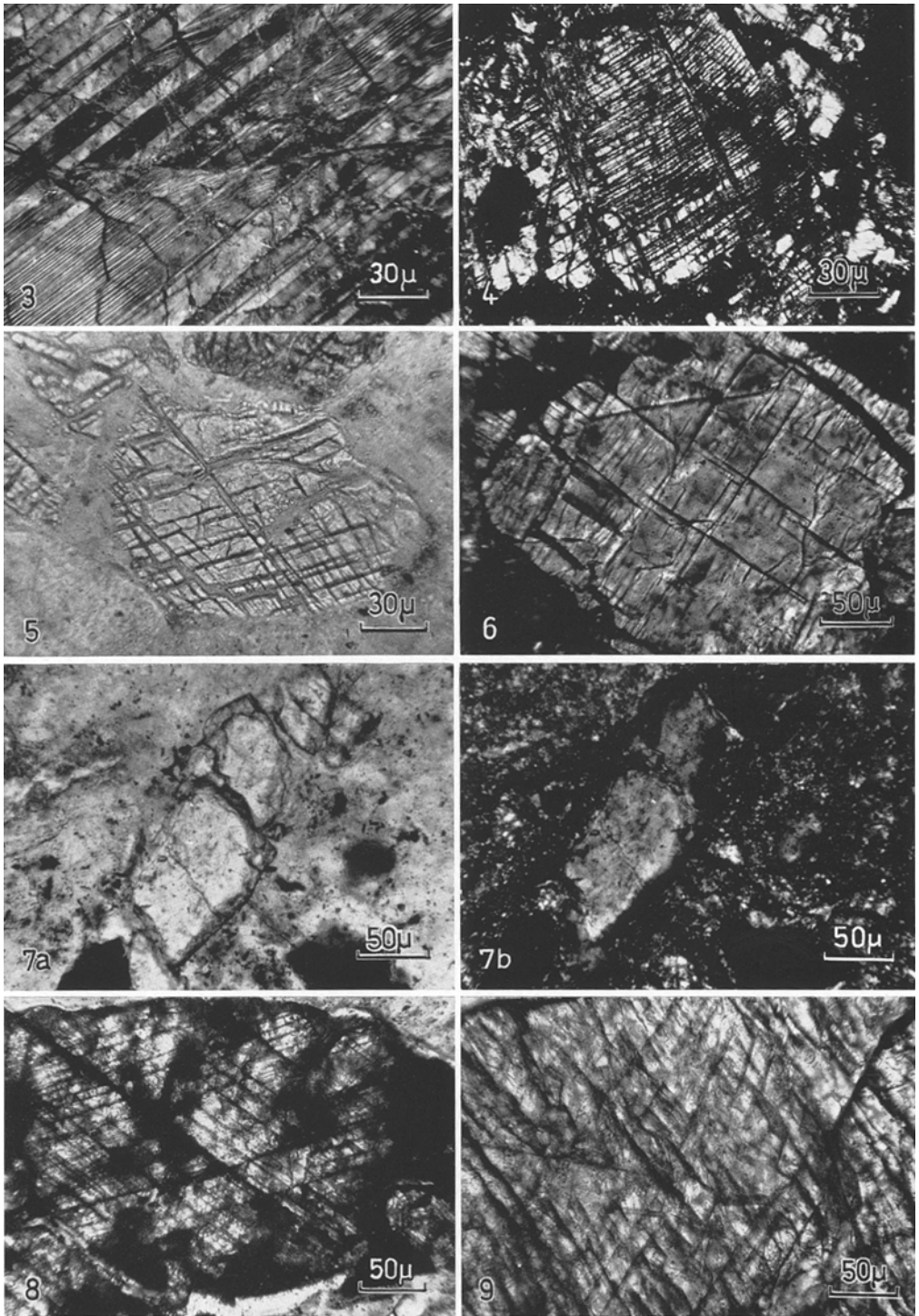


Abb. 3—9

3. Biotit

Nach dem Grad der Stoßwellenbeanspruchung konnten in Biotiten folgende Veränderungen beobachtet werden:

a) Deformation durch Knickbänder, deren Entstehung durch Stoßwellen ausführlich von Hörz und Ahrens (1968) diskutiert und beschrieben wurde. Die Anzahl der Knickbänder im einzelnen Korn nimmt mit steigender Stoßwellenmetamorphose zu.

b) Veränderungen der optischen Eigenschaften: In Gesteinen der Breccie, deren Quarze und Feldspate bereits diaplektisch verglast sind, läßt sich eine deutliche Abnahme des Plechoroismus und der Doppelbrechung feststellen. In ein und demselben Gesteinsschliff konnten oft variierende Achsenwinkel beobachtet werden.

c) Umwandlung in andere Phasen: In Fragmenten, in denen Quarz und Feldspat als diaplektisches Glas vorliegen, ist der Biotit inhomogen und enthält viele opake Flecken. Über ähnliche Beobachtungen berichtet Dressler (1970). Nach Wones und Eugster (1965) zerfällt ein eisenreicher Biotit bei Temperaturerhöhung über 600° C. Temperaturen dieser Größenordnung kommen in der Stufe II der Stoßwellenmetamorphose vor. Die Biotite, die Zerfallserscheinungen aufweisen, enthalten kaum oder gar keine Knickbänder.

4. Hornblende

In Gesteinsfragmenten der Stufen I und II der Stoßwellenmetamorphose enthalten die Hornblenden ein System dicht gescharter planarer Elemente, bevorzugt nach $\{110\}$ (100), (001) (Abb. 4.) Seltener kommen feine Zwillinglamellen wahrscheinlich nach (001) vor (vgl. Stöffler, 1970). Im Bereich der Stufe II läßt sich eine deutliche Abnahme des Pleochroismus und der Doppelbrechung, zum

Abb. 3. Planare Elemente, isotrope Lamellen und partielle Isotropisierung in Andesin aus einem Amphibolit-Einschluß (P 893) in der Breccie von Leopold-Meyers-Keller

Abb. 4. Hornblende mit planaren Deformationsstrukturen. Aus einem Amphibolit-Einschluß in der Breccie von Leopold-Meyers-Keller (P 812)

Abb. 5. Apatit, Schnitt $\perp c$ mit Deformationsstrukturen (Teilbarkeit) nach $(10\bar{1}0)$ aus einem Amphibolit-Einschluß (P 803) in der Breccie von Leopold-Meyers-Keller

Abb. 6. Apatit, Schnitt $\parallel c$ mit Deformationsstrukturen nach (0001) und $(10\bar{1}0)$ aus einem Gneis-Einschluß (P 899) in der Breccie von Leopold-Meyers-Keller

Abb. 7a u. b. Apatit mit randlicher Aufschmelzung aus einem Granit-Einschluß (P 839) in der Breccie von Maihingen-Klostermühle. a Parallele Polarisatoren; b gekreuzte Polarisatoren

Abb. 8. Titanit mit planaren Deformationsstrukturen aus einem Amphibolit-Einschluß (P 978) in der Breccie von Itzing

Abb. 9. Granat mit Deformationsstrukturen nach (110) und (211) aus einem Gneis-Einschluß (P 943) in der Breccie von Lierheim

Teil verbunden mit Zersetzung der Hornblende, feststellen. Eine genauere Untersuchung dieser Deformationserscheinung steht noch aus.

5. *Apatit*

Apatit kommt in allen beschriebenen Gesteinen (s. Kapitel III) vor. Der Apatit erweist sich gegen Stoßwellen als recht widerstandsfähig. Im Bereich der Stufen I und II zeigen Apatite neben der normalen Spaltbarkeit nach (0001) Teilbarkeiten oder planare Elemente nach (1011) und (1010) (Abb. 5, 6).

In den polymikten kristallinen Breccien kommen Gesteine mit dem Beanspruchungsgrad der Stufe III sehr selten vor. In einer dieser Proben zeigen die Apatite partielle und randliche Aufschmelzungserscheinungen (Abb. 7a, b).

6. *Titanit*

In den meisten Gesteinen der Breccien (überwiegend in Granodiorit, Titanofleckendiorit, Amphibolit, Granit und Biotit-Plagioklas-Gneis) kommt Titanit vor. Man kann früh und später gebildete Titanite unterscheiden. Die sekundären Titanite treten fast immer als linsen- oder insekteneiförmige Körner auf. Die meisten primären Titanite sind in Ilmenit umgewandelt. Im Bereich der Stufe I sind die Spaltbarkeiten nach (111), (110) häufig gut ausgeprägt. Außerdem kommt manchmal eine Teilbarkeit nach einer irrationalen Fläche vor, die etwa $\parallel (552)$ ist und welche nach Tröger (1967) durch Scher-Beanspruchung ausgelöst wird. In einem Plagioklas-Amphibolit (Stufe II) von Itzing zeigt der Titanit (Abb. 8) zusätzlich sehr feine, 1–2 μm breite planare Elemente. Sie liegen parallel der Zonen $\{010\}$. Derartige Deformationsstrukturen aus Titaniten normaler Gesteine sind nicht bekannt.

7. *Granat*

Von allen akzessorischen Mineralien in Gesteinen der Breccien kommen Granate am seltensten vor. Vor allem wurden sie in Biotit-Plagioklas- und Quarzit-Gneis gefunden. Der Granat erweist sich wegen seiner hohen Dichte als sehr widerstandsfähig gegen Stoßwellen. In Gesteinen der Stufe II kommen Spaltbarkeiten nach (110) und (211) vor (Abb. 9), die von Granaten normaler Gesteine nicht bekannt sind.

V. Stoßwellenmetamorphose der verschiedenen Gesteinsarten der Breccie

Auf Grund der im vorausgegangenen Kapitel beschriebenen Stoßwelleneffekte in Quarz und Feldspat, wurden in allen untersuchten Vorkommen der polymikten kristallinen Breccien die Gesteinsarten den verschiedenen Stufen der Stoßwellenmetamorphose zugeordnet. Die Häufigkeit bestimmter Metamorphosegrade innerhalb der verschiedenen Gesteinstypen ist in der Tabelle 2 und Abb. 10 für 406 Gesteinsfragmente dargestellt.

Tabelle 2. Häufigkeit der Gesteinstypen verschiedener Metamorphosegrade der polymikten Breccie von verschiedenen Vorkommen

Gestein	%	Stufe 0 (%)	Stufe I (%)	Stufe II (%)	Gestein	%	Stufe 0 (%)	Stufe I (%)	Stufe II (%)	Stufe III (%)	Stufe N (%)
Leopold-Meyers-Keller					Maihingen-Klostermühle						
A	33	—	21	79	A	18	17	—	83	—	—
Aq	18	—	23	77	Aq	6	—	50	50	—	—
D	8	—	17	83	D	46	—	—	97	3	—
Dq	25	12	88	—	Dq	12	75	25	—	—	—
G	16	9	91	—	G	18	83	17	—	—	—
Σ		3	48	49	Σ		27	10	61	2	—
Appetshofen + Lierheim					Itzing						
A	4	—	—	100	A	25	55	12	33	—	—
Aq	—	—	—	—	Aq	6	50	50	—	—	—
D	15	—	—	100	D	19	—	—	100	—	—
Dq	30	—	50	50	Dq	27	50	20	30	—	—
G	51	17	75	8	G	23	77	23	—	—	—
Σ		8	53	39	Σ		48	18	34	—	—

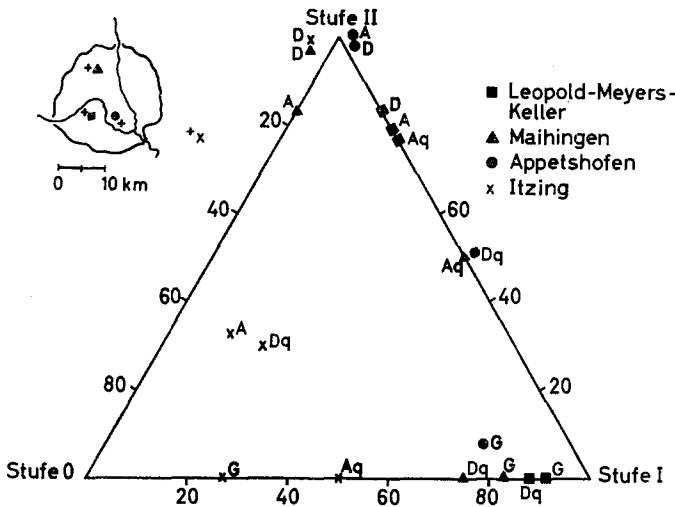


Abb. 10. Häufigkeit der Gesteinstypen verschiedener Metamorphosegrade in den polymikten Breccien

VI. Mineralneubildung und -verdrängung in Gesteinen der Breccie

Die in Gesteinsfragmenten der Stufe II der Stoßwellenmetamorphose vorkommenden diaplektischen Feldspatgläser, in geringerem Umfang auch die diaplektischen Quarzgläser, sind zum Teil in ein feinkörniges Aggregat doppelbrechender Kriställchen umgewandelt, deren Lichtbrechung unter der der diaplektischen Plagio-

Tabelle 3. Mineralneubildung in Gesteinen der Breccie (s. Text)

Proben-Nr.	Gestein	Lokalität	Tonminerale
785a	Granodiorit	Leopold-Meyers-Keller	Mont. + Glimmer
791	Biotit-Quarzdiorit	Leopold-Meyers-Keller	Mont.
782	Biotit-Gneis	Leopold-Meyers-Keller	Mont.
783	Plagioklas-Amphibolit	Leopold-Meyers-Keller	Mont.
784	Biotit-Gneis	Leopold-Meyers-Keller	Mont. + Illit
786	Plagioklas-Amphibolit	Leopold-Meyers-Keller	Mont. + Illit
788	Plagioklas-Amphibolit	Leopold-Meyers-Keller	Mont.
807	Granit	Leopold-Meyers-Keller	Mont.
808	Biotit-Diorit	Leopold-Meyers-Keller	Mont.
813	Biotit-Quarzdiorit	Leopold-Meyers-Keller	Mont. + Glimmer
818	Biotit-Quarzdiorit	Leopold-Meyers-Keller	Mont. + Illit
821	Biotit-Diorit	Appetshofen	Mont. + Glimmer
833	Biotit-Diorit	Maihingen	Mont.
837	Biotit-Quarzdiorit	Maihingen	Mont.
838	Biotit-Diorit	Maihingen	Mont.
839	Granit	Maihingen	Mont. + Glimmer
846	Plagioklas-Amphibolit	Maihingen	Mont.
M ₁	Matrix	Appetshofen	Mont. + Illit + (Kaolinit)
M ₂	Matrix	Leopold-Meyers-Keller	Mont. + Illit + (Kaolinit)

klasgläser liegt. Unter dem Mikroskop sehen diese Neubildungen wie Montmorillonit aus. Zur weiteren Identifizierung wurden Gesteinsfragmente mit solchen Neubildungen aus verschiedenen Aufschlüssen röntgenographisch untersucht. Die an Glycerinpräparaten gewonnenen Ergebnisse sind in Tabelle 3 zusammengestellt. In allen Präparaten bis auf Nr. 813 konnte mit Sicherheit Montmorillonit als Hauptbestandteil identifiziert werden. Daneben kommt in mehreren Proben ein Mineral mit 10 Å Basisabstand vor. In den Präparaten 785a, 813, 821 und 839 ließ sich eine (060)-Interferenz bei 1,53—1,54 erkennen. Es mag sich hier also um Biotit handeln, der wohl aus den primären Gesteinen stammt. In den Proben 784, 786, 818, M₁ und M₂ war nur eine (060)-Interferenz bei 1,49 zu erkennen. Hier liegt also dioktaedrischer Glimmer vor. Ob es sich um selbständigen Illit oder um Wechsellagerungen mit Montmorillonit handelt, konnte nicht entschieden werden. Jedenfalls sind diese dioktaedrischen Glimmeranteile Neubildungen, da die primären Gesteine keinen Muskowit enthalten.

Von den aus den Gangfüllungen von Sulzdorf und Lehberg sowie aus den oberen, stark zersetzten Partien des Granits von Sulzdorf (Abb. 11) gewonnenen Tonfraktionen konnten Texturpräparate hergestellt werden, an denen halbquantitative Bestimmungen nach Johns, Geim, Bradly (1954) und Lippmann (1960) ausgeführt werden konnten. Die Ergebnisse finden sich in Tabelle 4.

In beiden Gangfüllungen kommen neben Illit und Montmorillonit hauptsächlich Illit-Montmorillonit-Wechsellagerungen vor. Dagegen enthält der zersetzte Granit Illit, Wechsellagerungen und etwas Kaolinit. Kaolinit wurde außerdem auch an den Grundmassen der Breccie von Appetshofen und Leopold-Meyers-Keller gefunden (Tabelle 3).

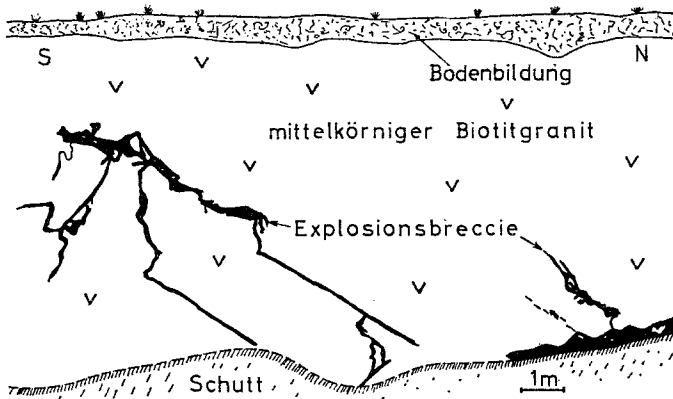


Abb. 11. Gangförmige Breccien in der Granitscholle von Sulzdorf, Blatt Wemding 7130 nach Dressler (1969)

Tabelle 4

	Illit (%)	Mont. (%)	Illit-Mont. Wechsellagerung (%)	Kaolinit (%)
Aus den Gängen (Sulzdorf)	21	8	70	—
Aus den oberen stark zersetzten Partien (Sulzdorf)	66	—	26	8
Aus den Gängen (Lehberg)	36	14	50	—

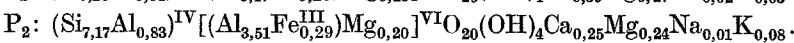
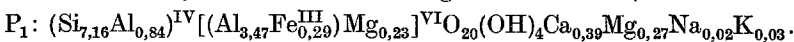
Die nicht in den primären Gesteinen vorkommenden Mineralien Montmorillonit, Illit, Kaolinit und die Wechsellagerungen sind Neubildungen, die nach der Ablagerung der Breccien entstanden. Da verschiedene Autoren Zersetzungserscheinungen der kristallinen Auswurfmassen auf hydrothermale Wirkungen zurückgeführt haben (vgl. z. B. Löffler, 1912; Weber, 1941; Ackermann, 1958), ist die Frage der Bildungsbedingungen dieser Mineralien zu prüfen.

Aus der Probe 788, einem Amphibolit von Leopold-Meyers-Keller, wurde der Montmorillonit mit der Mikrosonde analysiert. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5 verzeichnet.

Tabelle 5

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MgO	FeO	Na ₂ O	CaO	K ₂ O	OH ⁻
P ₁	52,89	26,60	0,04	2,06	3,27	0,098	1,88	0,15	12
P ₂	53,62	27,57	—	2,27	2,53	0,034	1,76	0,26	12

Aus den Analysen erhält man die folgenden Formeln (OH-Gehalte berechnet):



Es zeigt sich, daß der Montmorillonit keinen besonders hohen Mg-Gehalt hat, der auf eine hydrothermale Stoffzufuhr hinweisen würde. Die geringen Mg- und

Fe-Gehalte lassen sich aus der Hornblende und dem Biotit des Gesteins ableiten. Häufig durchsetzen feine Montmorillonitadern zersetzte Biotite und Hornblendens.

Es ist demnach anzunehmen, daß Montmorillonit, Montmorillonit-Illit-Wechselagerungen und Illit aus den Komponenten der Breccien, besonders aus den dialektischen Gläsern, als Verwitterungsbildungen entstanden. Es mag sein, daß die unmittelbar nach der Ablagerung in den Breccien herrschenden hohen Temperaturen, die bei der Ablagerung einige 100° C erreicht haben mögen, die Bildung dieser Mineralien gefördert haben.

Auch der Kaolinit ist als eine Verwitterungsbildung aufzufassen. Er wurde niemals in den Gesteinsfragmenten, sondern nur in der Grundmasse von Breccien und in stark den zersetzten Partien des Granits von Suldorf gefunden. Es ist bekannt, daß Mineralien der Kaolinitgruppe dann entstehen, wenn größere Mengen von Niederschlagswässern bei schwach saurer Reaktion die Verwitterungszone durchströmen, während Montmorillonit bei neutraler oder alkalischer Reaktion und höherer Konzentration an Kationen gebildet wird (Engelhardt, 1971 a). Offenbar waren in den Breccien, insbesondere im Inneren der Gesteinsfragmente zufolge der höheren Löslichkeit der stoßwellenbeanspruchten Mineralien und der behinderten Durchströmung mit Niederschlagswässern, pH und Kationenkonzentration so hoch, daß Montmorillonit entstand. Kaolinit bildete sich dort, wo eine stärkere Durchströmung mit Niederschlagswässern möglich war, wie insbesondere in den oberen Partien des Sulzdorfer Granits.

In der Gneisscholle von Maihingen-Klostermühle, welche die oben beschriebene Spalte mit polykristalliner Breccie enthält, wurde ca. 5 m von dieser Spalte entfernt eine besondere Zersetzung festgestellt. Weiskirchner (1966) fand hier Vermiculit, Anthophyllit, Saponit und ein Wechsellagerungsmineral, das dem Corrensit nahestehen schien, als Neubildungen, die auf eine Mg-Zufuhr zurückgeführt wurden. Eigene Untersuchungen ergaben das Vorkommen von Talk, Anthophyllit, Montmorillonit und Muskowit in dem grünlichen, stark zersetzten Gneis, der hier viele Hornblendelagen und Knollen enthält. Unter dem Mikroskop konnte beobachtet werden, daß der Anthophyllit von Talk und Montmorillonit verdrängt wird. Ähnliche Umwandlungserscheinungen wurden von Wilson, Wilson und Farmer (1970) beschrieben. Auch hier dürfte eine Mg-Zufuhr nicht notwendig sein. Der Anthophyllit gehört dem primären Gestein an, Talk, Montmorillonit und die von Weiskirchner beobachteten Mineralien dürften sich während der Verwitterung aus Anthophyllit gebildet haben.

VII. Diskussion

Der Anteil der Deckgebirgssedimente in den polymikten kristallinen Breccien ist sehr gering. Meist handelt es sich dabei um Tonstücke aus dem Keuper. Bei homogener Durchmischung der aus dem Krater ausgeworfenen Massen wäre eine mehr oder weniger kontinuierliche Mischungsreihe zwischen Deckgebirgs- (Sediment) und Grundgebirgstrümmern (Kristallin) in den Breccien zu erwarten. Das würde einen kontinuierlichen Übergang von kristalliner Breccie zu Bunter Breccie bedeuten. Die polymikten kristallinen Breccien enthalten jedoch maximal 1% (Stückzahl) kleine Stücke von Deckgebirgssedimenten, während die Bunte Breccie nur bis zu ca. 10% Kristallin führt. Leider liegen genauere Daten über die

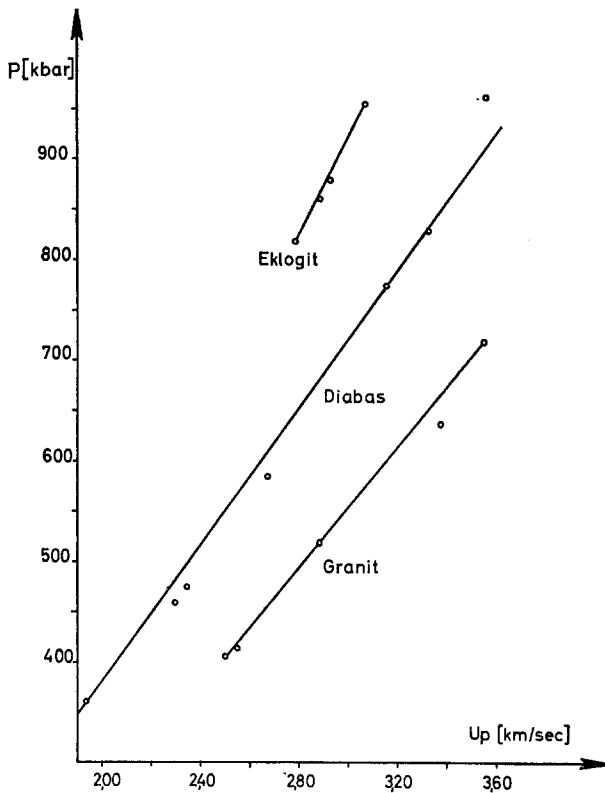


Abb. 12. Beziehung zwischen Partikelgeschwindigkeit (U_p) und Stoßwellenspitzen­druck (P) für Gesteine verschiedener Dichte (Granit: 2,63, Diabas: 2,98, Eklogit: 3,40) nach Clark (1966)

Verbreitung, die Häufigkeit und die Gesteinsarten der Grundgebirgeinschlüsse in der Bunten Breccie noch nicht vor, so daß die Beziehungen zwischen kristalliner und Bunter Breccie und die Ursache der auffallenden Mischungslücke noch nicht diskutiert werden kann. Sicher ist, daß die kristallinen Breccien aus einem tieferen Niveau stammen als die Bunte Breccie.

Ein wichtiges Ergebnis der petrographischen Analyse ist die Tatsache, daß die verschiedenen polymikten kristallinen Breccien keineswegs die gleiche Zusammensetzung aufweisen. Die Amphibolite kommen in sehr verschiedenen Mengen vor (vgl. Abb. 2). Sie sind besonders häufig in Leopold-Meyers-Keller und treten in Appethofen sehr zurück. Das Vorkommen Itzing enthält Amphibolite, Gneise und Granit etwa zu gleichen Teilen. Auf Grund der Kartierungen von Dressler et al. (1969) und der vorliegenden Ergebnisse kommen in der Regel die Amphibolite in der Südhälfte des Ries besonders häufig vor. Vermutlich spiegeln sich in der variablen Zusammensetzung lokale Unterschiede im Aufbau des kristallinen Grundgebirges wider. Möglicherweise hatte auch das Relief der Oberfläche des Grundgebirges einen Einfluß auf die Entstehung und Zusammensetzung einzelner Vorkommen polymikter Breccien. Ein starkes Relief stellt der Ausbreitung der

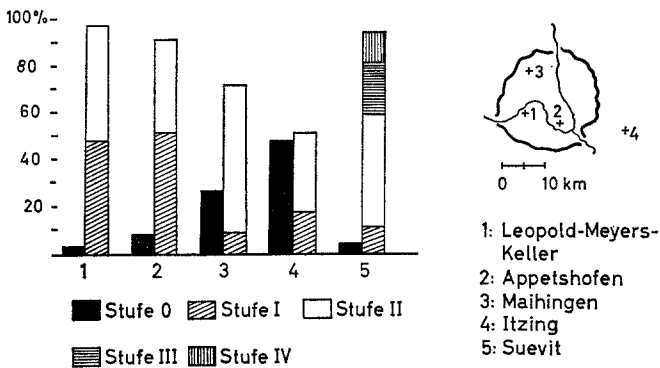


Abb. 13. Häufigkeit der Gesteinsfragmente verschiedener Metamorphosegrade in polymikten kristallinen Breccien und im Suevit

Stoßfront eine erhöhte Zahl von Dichtediskontinuitäten entgegen, welche bei geneigtem oder senkrechtem Winkel zur Stoßfront zu starken Scherbewegungen führen (vgl. auch Rinehart, 1968).

Die Granit-Varietäten gehören wahrscheinlich einem einzigen plutonischen Körper an (vgl. Kap. III 5). Sie sind zusammen mit den Gneisen die vorherrschenden Bestandteile der Breccien.

Die Gesteine der polymikten kristallinen Breccien sind sehr unterschiedlich von der Stoßwellenmetamorphose erfaßt worden. So gehören in allen untersuchten Breccien die Amphibolite überwiegend den Stufen II und I (s. Tabelle 1, 2) an, während die Granite und Gneise hauptsächlich Beanspruchungsgrade der Stufen I und 0 aufweisen.

Da der in einem Gestein bei konstanter Partikelgeschwindigkeit erreichte Spitzendruck von dessen Stoßwellenimpedanz (Produkt aus Dichte und Stoßwellengeschwindigkeit) abhängt (vgl. Abb. 12), werden Amphibolite beim Durchlaufen einer Stoßfront auf Grund ihrer höheren Dichte im Mittel höhere Stoßwellendrucke erfahren als Granite. Werden räumlich benachbarte Granit- und Amphibolitgesteine von einer Stoßwelle bestimmter Partikelgeschwindigkeit betroffen, so können beispielsweise die Feldspäte des Amphibolits die für die Stufe II der Stoßwellenmetamorphose typische Isotropisierung erfahren, während in den Feldspäten des Granit nur planare Deformationsstrukturen entstehen (Stufe I). Daher dürften Amphibolite der Stufen I und II aus Zonen stammen, die vom Einschlagszentrum weiter entfernt sind als die Zonen, welche Granite der gleichen Beanspruchungsstufen geliefert haben. Wegen der Schwierigkeit, die Spitzendrucke in Gesteinen unterschiedlicher Dichte aber gleicher Metamorphosestufe abzuschätzen, wurden zum Vergleich der einzelnen Vorkommen untereinander zunächst nur nicht beanspruchte (Stufe 0) und beanspruchte Gesteine (Stufen I—IV) unterschieden (vgl. Tabelle 2) (vgl. auch Engelhardt, 1971 b). Die Ergebnisse sind in Abb. 13 zusammengefaßt. Zum Vergleich sind die durchschnittlichen Anteile der Stufen der Stoßwellenmetamorphose im Suevit dargestellt (Engelhardt et al., 1969). Abb. 13 zeigt, daß die Häufigkeit der durch Stoßwellen beanspruchten Gesteine mit der Entfernung vom Rieszentrum abnimmt. Daraus

ist zu folgern, daß die in größerem Abstand von der Riesmitte abgelagerten Breccien aus Zonen stammen, die vom Einschlagszentrum weiter entfernt waren als die näher der Mitte niedergegangenen Breccien.

Herrn Prof. Dr. W. von Engelhardt danke ich für Diskussion und Beratung. Dem Bundesministerium für Bildung und Wissenschaft sei für die finanzielle Unterstützung dieser Arbeit gedankt.

Literatur

- Ackermann, W.: Geologisch-petrographische Untersuchungen im Ries. *Geol. Jahrb.* **75**, 135—182 (1958).
- Bentz, A.: Geologische Beobachtungen am wesentlichen Riesrand. *Z. Deut. Geol. Ges.* **79**, 405—437 (1927).
- Clark, S. P.: Handbook of physical constants. *Geol. Soc. Am. Mem.* **97** (1966).
- Dressler, B.: Petrographische Untersuchungen des kristallinen Grundgebirges im östlichen Ries und Vorries. Diplom-Arb. München 1967.
- Dressler, B.: Die Beanspruchung der präkambrischen Gesteine in der Kryptoexplosionsstruktur von Manicouagan in der Provinz Quebec, Canada. Dissertation München 1970.
- Engelhardt, W. v.: Neue Beobachtungen im Nördlinger Ries. *Geol. Rundschau* **57**, 165—188 (1967).
- Engelhardt, W. v.: Stages of shock metamorphism in the crystalline rocks of the Ries Basin, Germany. Proceedings of the Conference on Shock Metamorphism of Natural Materials at Greenbelt, Md., April 14—16, 1966. In: B. M. French and N. M. Short (eds.), *Shock metamorphism of natural materials*, p. 159—168, Baltimore: Mono Book Corp. 1968.
- Engelhardt, W. v.: Die Bildung von Sedimenten und Sedimentgesteinen. *Sediment-Petrologie*, Teil III. Stuttgart: Schweizerbart 1971 a (im Druck).
- Engelhardt, W. v.: Detrital impact formations. *J. Geophys. Res.* 5566—5574 (1971 b).
- Engelhardt, W. v., Bertsch, W.: Shock induced planar deformation structures in quartz from the Ries Crater, Germany. *Contr. Mineral. and Petrol.* **20**, 203—234 (1969).
- Engelhardt, W. v., Stöffler, D., Schneider, W.: Petrologische Untersuchungen im Ries. *Geol. Bavarica* **61**, 229—295 (1969).
- Graup, G.: Petrographische Untersuchungen des kristallinen Grundgebirges im Ries. Diplom-Arb. München 1968.
- Graup, G.: Kristalline Schollen im Nördlinger Ries. Dissertation, Tübingen (noch nicht abgeschlossen).
- Hörz, F., Ahrens, T. J.: Deformation of experimentally shocked biotite. *Am. J. Sci.* **267**, 1213—1229 (1969).
- Hüttner, R.: Bunte Trümmermassen und Suevit. *Geol. Bavarica* **61**, 142—200 (1969).
- Johns, W. D.: Quantitative estimations of clay minerals by diffraction methods. *J. Sediment. Petrol.* **24**, 242—251 (1954).
- Lippmann, F.: Röntgendiagramme von Tonmineralien mit unregelmäßiger Wechsellagerung Glimmer — Montmorillonit. *Fortschr. Mineral.* **38**, 176—182 (1960).
- Löffler, R.: Die Zusammensetzung des Grundgebirges im Ries. *Jh. Ver. Vaterl. Naturk. Württ.* **68**, 107—154 (1912).
- Matzke, K.: Petrographische Untersuchungen des kristallinen Grundgebirges im westlichen Ries und Vorries. Diplom-Arb. München 1967.
- Nathan, H.: Geologische Untersuchungen im Ries. Das Gebiet des Blattes Möttingen. *Neues Jahrb. Mineral.* **53**, Beil. Bd., Abt. B, 31—97, (1926).
- Oberdorfer, R.: Die vulkanischen Tuffe des Rieses bei Nördlingen. *Jh. Ver. Vaterl. Naturk. Württ.* 1—40 (1905).
- Reich, H., Horrix, W.: Geophysikalische Untersuchungen im Ries und Vorries und deren geologische Deutung. *Beih. Geol. Jahrb.* **19**, 119 S. (1955).
- Rinehart, J. S.: Intense destructive stresses resulting from stress wave interactions, in shock metamorphism of natural materials, ed. by B. M. French and N. M. Short, p. 31. Baltimore: Mono Book Co. 1968.

- Schneider, W.: Petrologische Untersuchungen der Bunten Breccie im Nördlinger Ries. Dissertation Tübingen, 73 S., Tübingen 1970.
- Stöffler, D.: Zones of impact metamorphism in the crystalline rocks of the Nördlinger Ries Crater. *Contr. Mineral. and Petrol.* **12**, 15—24 (1966).
- Stöffler, D.: Shock effects in rock-forming minerals of terrestrial, lunar and meteoritic origin. *Habil.-Schr.*, 54 S., Tübingen 1970.
- Stöffler, D.: Coesite and Stishovite in shocked crystalline rocks. *J. Geophys. Res.* **5474—5488** (1971).
- Stöffler, D.: Progressive metamorphism and classification of shocked and brecciated crystalline rocks at impact crater. *J. Geophys. Res.* **5541—5551** (1971 b).
- Streckeisen, A. L.: Classification and nomenclature of igneous rocks. — *Neues Jahrb. Mineral. Abhandl.* **107**, 144—240 (1967).
- Tröger, W. E.: Optische Bestimmungen der gesteinsbildenden Minerale. Teil 2, 526 S. 1967.
- Weber, E.: Geologische Untersuchungen im Ries. Das Gebiet des Blattes Wemding. *Abh. Naturk. und Tiergarten-Ver. Schwaben*, **3**, Augsburg 1941.
- Weiskirchner, W.: Vorläufiges Ergebnis der Untersuchung der granitischen Explosionsprodukte des Nördlinger Rieses. *Fortschr. Mineral.* **44**, **1**, (1967).
- Wilson, M. J.: A study of weathering in a soil derived from a Biotite-Hornblende rock. *Clay Minerals* **8**, 291—302 (1970).
- Wilson, M. J., Farmer, V. C.: A study of weathering in a soil derived from a Biotite-Hornblende rock. *Clay Minerals* **8**, 435—444 (1970).

Dr. Manutschehr Abadian
Mineralogisch-Petrographisches
Institut der Universität Tübingen
D-7400 Tübingen, Wilhelmstraße 56
Deutschland