

Über Pseudotachylit in den Ostalpen.

Von Wilhelm Hammer.

(Mit 2 Textfiguren.)

Im Jahrbuch 1914 der Geologischen Reichsanstalt (1) habe ich dichte, dunkle Gesteine, die als Adern und Gänge den Überschiebungsrand des Silvrettakristallins im Oberinntal einzeln oder netzartig durchziehen, als „dichte Gangmylonite“ beschrieben und in Schlibfbildern abgebildet (Taf. XXIV). Die mikroskopische und chemische Untersuchung führte zu dem Ergebnis, daß diese in ihrem Auftreten im Gelände und im Handstück sehr an magmatische Ganggesteine erinnernden Adern Mylonite sind, bei denen eine Rekristallisation der Gesteinsmasse in mehr oder weniger ausgedehntem Maß eingetreten ist. Nur ein Schlibb zeigte anscheinend verläßlich ein Eruptivgestein (Diabas [?]), so daß also die wenn auch seltene Beimengung echter Ganggesteine unter die große Zahl der Mylonitadern wahrscheinlich erschien.

Gleiche Mylonitadern fand ich dann auch in den Mylonitzonen am Südrand der Landecker Phyllitzone im Stanzer Tal und am tektonischen Nordrand der Öztaler Gneise im vordersten Pitztal (2).

1923 beschrieb Freudenberg (3) Gerölle solcher Adergesteine aus dem Paznaun, welche aus derselben Gebirgszone stammen wie die von mir untersuchten (Südrand der Silvrettagneise im Unterengadin) als Quarzporphyr mit Glasbasis.

Kürzlich fand Schädler (4) eine Gesteinsader gleichen Aussehens im Iseltal bei Lienz (Michelbachgraben) in einer tektonischen Störungszone in Feldspat führenden Biotitglimmerschiefern. Herr Prof. Dr. Dittler stellte mir ein Handstück und ein paar Schlibbe davon freundlichst zur Verfügung und ebenso die unten mitgeteilte, von ihm ausgeführte Analyse, wofür ihm auch hier bestens gedankt sei. Auch Schädler vermutete in dem Gestein die glasige Ausbildung eines tonalitischen Ganggesteins (entsprechend den in der Nähe auftretenden Gängen von Tonalit- und Dioritporphyriten) oder einen sonstigen Schmelzfluß.

Es steht zu erwarten, daß bei genauerer Durchmusterung der Störungszone im Kristallin der Alpen noch manche weiteren Vorkommen gefunden werden.

Nach diesen Befunden erschien die Deutung der „dichten Gangmylonite“ trotz der guten Gründe, welche bei den Oberinntaler Vorkommen für ihre mylonitische Natur vorgebracht werden konnten, doch noch nicht befriedigend geklärt.

Erst 1929 erhielt ich durch die Vorbereitungen für den Besuch des Geologenkongresses in Pretoria Kenntnis von dem Vorkommen auffallend ähnlicher Gangbildungen in dem Vredefortgebiet im Oranje-freistaat, über die zuerst 1917 I. S. Shand eingehend berichtete (5).

1925 haben dann A. L. Hall und G. A. Molengraaff (6) auf Grund umfangreicheren Materials eine erweiterte Darstellung derselben in Wort und Bildern gegeben. Eine detaillierte Karte des Gebiets und Erläuterungen dazu veröffentlichte L. Nel (7) kurz nachher.

Shand gab den Gesteinen den Namen Pseudotachylit, anknüpfend an frühere Deutungen als Basaltgläser und ihre äußere Ähnlichkeit damit.

Als Teilnehmer an der von den Herren Hall, Molengraaff und Nel geführten Kongreßexkursion in das Vredfortgebiet hatte ich Gelegenheit das Vorkommen der Pseudotachylite an Ort und Stelle zu besichtigen und Vergleichsmaterial zu sammeln.

Die südafrikanischen Geologen sind in der Auffassung einig, daß hier nicht magmatische Intrusivgänge vorliegen, sondern daß die Adern aus dem Material der angrenzenden Gesteine gebildet sind. Shand denkt dabei an Schmelzung des Muttergesteins entlang Klüften infolge mechanisch erzeugter Wärme (Stoß) oder auch unter Einwirkung heißer Gase, während Hall und Molengraaff annehmen, daß das Gestein zertrümmert und an Scherflächen zermahlen wurde und die dabei erzeugte Wärme das Gesteinspulver ganz oder teilweise zur Schmelzung brachte, aus der dann Neukristallisation in wechselndem Ausmaß erfolgen konnte. In beiden Fällen konnte die mechanisch und thermisch umgeformte Gesteinsmasse auch nach Art eines Schmelzflusses vom Ort ihrer Entstehung fortbewegt und in Klüfte eingepreßt werden.

Als treibende Kraft wird dabei das Aufdringen einer jüngeren granitischen Intrusion angenommen, welche den über ihr lastenden alten Granit von Vredfort mit ungeheurer Gewalt emporstieß und die ihn überlagernden Sedimente pilzförmig nach außen überkippte. Die Zertrümmerung und Durchäderung mit Pseudotachylit betraf sowohl den alten Granit wie den ganzen Sedimentgürtel.

Diese Erklärung gibt die Möglichkeit, sowohl die Zeichen klastischer Entstehung als auch die kristalline oder glasige Struktur des Adergesteins miteinander in Einklang zu bringen; für sie spricht auch die chemische Untersuchung (siehe unten), die ebenso wie bei den ostalpinen Vorkommen die weitgehende Abhängigkeit des Chemismus der Adern von jenem des umgebenden Gesteins erwiesen hat.

Bezüglich der physikalischen Möglichkeit einer Schmelzung des Gesteinspulvers durch mechanisch erzeugte Wärme verweisen die Autoren auf die Beobachtung von Bowen und Auroiseau (8) an einem Bohrkern aus 4350 Fuß Tiefe, aus tertiärer Arkose, welche durch die Hitzeentwicklung beim Bohren in ein Glas mit eingebetteten Körnern des Ausgangsmaterials und kristallinen Neubildungen (Sillimanit[?], Tridymit, Fayalit) umgewandelt wurde. Laboratoriumsversuche lassen auf eine Temperatur von mehr als 1000° C bei diesem Vorgang schließen. Hinzugefügt kann werden, daß kürzlich O. Stutzer (9) über die Frittung eines Tertiärsandes in einem rumänischen Bohrloch, in 640 m Tiefe, berichtet hat. Der Dünnschliff zeigt Quarzkörner in einer trüben, glasigen Grundmasse. Stutzer führt aus der amerikanischen Literatur auch andere Fälle von Schmelzung von Bohrkernen beim Bohren nach Rotary-Methode an.

Wie aus der nachfolgenden Beschreibung der mikroskopischen Beschaffenheit ersichtlich ist, besteht nun zwischen den südafrikanischen und den alpinen Adergesteinen weitgehende Übereinstimmung in der Struktur und Zusammensetzung. Ebenso gleichen sich die Adergesteine makroskopisch in der Farbe, Härte, dem muscheligen Bruch und der dichten Struktur. Auch die Formausbildung der Adern im Gelände ist beiderseits die gleiche: die meist gute Abgrenzung vom Nebengestein, ihre Verzweigung mit blinden Endigungen, das von der Struktur des Nebengesteins unabhängige Durchgreifen und die Bildung von Adernetzen, die sehr an Eruptivbreccien erinnern.

Die Auffassung als Mylonite mit Schmelzung durch die Reibungswärme und Neukristallisation scheint mir auch für die ostalpinen Vorkommen am besten den Widerspruch in der Deutung bei den verschiedenen Autoren zu lösen, bzw. die verschiedenen Schliffbilder zu erklären.

Es spricht ja auch die Einheitlichkeit des Auftretens in bestimmten, eng begrenzten Zonen und die Gleichartigkeit der Adern gegen eine Aufteilung in eruptive und mylonitische Adern. Übergänge führen von Adern mit noch deutlich erkennbarer mylonitischer Struktur und von dichten bis glasigen Formen durch alle Abstufungen von Kristallinität bis zu dem 1914 (in der Anmerkung S. 562) angeführten diabasischen (?) Eruptivgang, der nach obiger Deutung als höchste Stufe der Rekristallisation angesehen werden kann.

Mikroskopische Untersuchung.

Diese ergibt, daß die Gangmylonite der Alpen und die Pseudotachylyte Südafrikas in ihrer Gesamtheit nach Mineralbestand und Struktur gut miteinander übereinstimmen. Es besitzen aber in beiden Gebieten nicht alle Adern die gleiche Zusammensetzung, sondern es treten nebeneinander Verschiedenheiten auf, die in mehr oder weniger deutlicher Beziehung zum Mineralbestand des Nebengesteins stehen.

Alle setzen sich zusammen aus einer feinkörnigen bis dichten Grundmasse und einer mehr oder minder großen Zahl von eingeschlossenen Mineralkörnern und Gesteinsbruchstücken aus dem Nebengestein.

Die Grundmasse läßt sich nicht überall ganz in Einzelbestandteile auflösen, vielfach entzieht sich ein Rest, seltener die ganze Grundmasse wegen submikroskopischer Kleinkörnigkeit oder glasiger Beschaffenheit einer weiteren Auflösung.

Die erkennbaren kristallisierten Hauptbestandteile der Grundmasse in beiden Gebieten sind: Feldspat, ein amphibolähnliches Mineral und Eisenerze (Magnetit und Ilmenit); sehr verbreitet sind auch Zoisite, seltener Epidot. Unter den Feldspäten ist sicher Plagioklas erkennbar, leistenförmig, verzwillingt, mit geringer Auslöschungsschiefe. Ob und wieviel auch Orthoklas beteiligt ist, läßt sich bei der Kleinheit der Körner, ihrer meist unregelmäßigen Form und dem oft unfrischen Erhaltungszustand nicht sicher bestimmen. Shand, Hall und Molengraaff nehmen an, daß Orthoklas und ein albitreicher Plagioklas vorhanden sind. Die vielfach zu beobachtenden, zwischen dunkelblau und

zitronengelb wechselnden Polarisationsfarben feinkrümeliger Aggregate mit im ganzen geringer Aufhellung unter $\times N$ lassen eine vorgeschrittene Umwandlung von Feldspäten in zoisitische Aggregate annehmen.

Das amphibolähnliche Mineral, das auch von den südafrikanischen Geologen als Hornblende angesprochen wird, erscheint in der Regel in winzigen Nadelchen (Durchschnittslänge 20—40 μ), die bei größerer Anhäufung oder etwas beträchtlicherer Größe eine sehr blasse grünliche Färbung und schwachen Pleochroismus (stärkere Absorption $\parallel c$) erkennen lassen. Licht- und Doppelbrechung gleichen der der Amphibole, desgleichen die geringe Auslöschungsschiefe. Spaltflächen und deren Winkel sind wegen der Kleinheit der Querschnitte nicht wahrnehmbar. In einzelnen Schlifften fand ich die Auslöschungsschiefe der Nadelchen durchgehends so klein, daß es fraglich ist, ob nicht hier die Nadelchen anderen Mineralarten zugehören. Als Seltenheit berichtet Nel von einer Ader im Granit einen Gehalt an Enstatit und Biotit.

Das reichlich vorhandene schwarze Erz ist meist staubfein verteilt, seltener in viereckigen Kristallquerschnitten sichtbar. Neben Magnetit ist auch Ilmenit vertreten, was sowohl durch die Umrundung mit Leukoxen als durch den nicht unbedeutenden TiO_2 -Gehalt der Analysen angezeigt wird.

Verschiedenheiten der Gesteinsart ergeben sich durch verschiedene Mengenverhältnisse obiger Gemengteile und verschiedene Ausbildung und Eintreten von Nebengemengteilen.

So wurde schon im Jahrbuch 1914 als Unterschied von im Gneis auftretenden Adern des Oberinntaler Gebietes gegenüber solchen in Amphibolit hauptsächlich das Fehlen oder die sehr geringe Menge von Amphibol in den Adern im Gneis festgestellt, während Amphibol in den Adern im Amphibolit der weit vorherrschende Bestandteil ist. Letztere bestehen aus einem Haufwerk feinsten Amphibolnadelchen, neben denen der unter $\times N$ wenig auffallende Feldspat und Klinozoisit im Schlibfbild zurücktritt. Erz ist in der Regel reichlich vorhanden.

Zu dieser Art gehört auch der Schlibf einer mir von Herrn Prof. Freudenberg gütigst zur Verfügung gestellten Gesteinsprobe der von ihm beschriebenen Gerölle solcher Adergesteine aus dem Paznaun. Sie stammen aus den Amphiboliten und Hornblendegneisen des Fluchthorns. Der Schlibf zeigt in ungleichmäßiger Anhäufung die feinen Amphibolnadeln gleichwie jene der anderen Vorkommen, in denen hier aber auch einzelne größere, unscharf umgrenzte oder ausgefaserte größere Hornblenden schwimmen neben Nestern von Zoisiten und einer wechselnden Menge von Feldspat. Schwarze Erzkörnchen sind in größerer Menge gleichmäßig verteilt. Die eingeschlossenen Quarze sind von einer Rinde von Amphibolnadeln umkrustet.

Dagegen besteht der Schlibf des obenerwähnten diabasähnlichen Ganggesteines (aus Paulckes Material), der einen aplitischen Gneis durchdringt, überwiegend aus Plagioklas.

Die Scheidung der Unterarten des Adergesteines nach dem Muttergestein ist aber keineswegs eine durchgängige und scharfe, es wurden auch im Gneis einzelne Adern mit reichlichem Amphibolgehalt getroffen,

was allerdings auf dem raschen Wechsel von Gneis und Amphibolit in den gebänderten Amphibolitserien herrühren kann.

Eine etwas abweichende Zusammensetzung zeigt die Grundmasse des Adergesteins aus dem Michelbachtal (Schadler), das in glimmerreichen Paragneisen auftritt. Hier zeigt sich im inneren Teil der Ader die Grundmasse dicht erfüllt von sehr kleinen (6—10 μ), rundlichen, blaß gelblich gefärbten Körnern mit sehr starker Lichtbrechung und lebhaften Interferenzfarben; mitunter legen sich zwei oder drei Körner aneinander (Zwillinge?): vielleicht Epidot. Amphibolnadeln sind nur in geringer Menge dort und da eingestreut. Die farblose Zwischenmasse zwischen den Körnern hellt bei $\times N$ nicht auf oder nur fleckenweise sehr dunkel blaugrau.

Auch bei den Pseudotachylyten Südafrikas wechselt die Beschaffenheit der Grundmasse, soweit ich aus der Literatur und meinem beschränkten Schliiffmaterial entnehmen kann, innerhalb ähnlicher Grenzen, wobei hier die große Zahl verschiedenartiger Eruptiv-, Sediment- und Kontaktgesteine, in denen allen solche Adern auftreten, und der oftmalige Wechsel derselben bei der Entstehung als Mylonite und Aufschmelzungen von vornherein eine starke Schwankung im Mineralbestand erwarten läßt.

Jedenfalls ist beachtenswert, daß von Hall und Molengraaff auch bei typisch ausgebildeten Gängen im Granit neben Feldspat Amphibol als Hauptgemengteil angeführt wird. Das Mengenverhältnis Amphibol-Feldspat ist dabei nach den mir vorliegenden Schliiffen ein wechselndes, bald viel, bald wenig Amphibol, und auch innerhalb einer Ader ungleich. Für die Adern aus anderen Muttergesteinen werden Magnetit und Amphibol als die am meisten charakteristischen Gemengteile bezeichnet, daneben sind schmale Plagioklasleisten und selten kleine Biotitschuppen vorhanden. Da der Granit keinen Amphibol oder nur ausnahmsweise (Nel) solchen führt, ebenso auch manche der anderen Gesteine, kann es sich besonders bei den im Inneren des Granitareals gelegenen Vorkommen nur um Neubildung von Amphibol handeln.

Daß aber die kleinen Amphibolnadelchen z. T. auch unmittelbar aus dem Muttergestein abstammen können, zeigt ein Schliiff von Pseudotachylyt aus epidioritisiertem Gabbro bei Rensburgdrift. Man sieht hier Stücke des Epidiorits in dem Pseudotachylyt schwimmen, welche randlich stark zerdrückt sind. Die am Rand liegenden großen Amphibole des Epidiorits sind in kleine Stücke zersplittert, die sich nach außen in immer kleinere Fasergruppen und schließlich in die einzelnen, winzigen Nadelchen auflösen, welche die ganze Grundmasse des Pseudotachylyts durchsetzen. Dabei zeigen die großen Amphibole gleichzeitig eine innere Umwandlung, indem sie feinfaserig und grau werden. Die Plagioklase zerbrechen in größere Stücke, unter Erhaltung ihrer Zwillingstruktur und ohne innere Umwandlung, und ihre Trümmer bilden Einschlüsse in der Grundmasse.

Eine ähnliche Auflösung von randlich gelegenen Hornblendern des Muttergesteins in kleine Fragmente mit Übergang in die Grundmassenadeln beobachtete ich auch in beschränkterem Ausmaß und weniger deutlich in einer Ader im Amphibolit des Silvrettakristallins. Deutlicher ist der Anteil zerriebener Amphibole an der Zusammensetzung des

Adergesteins bei solchen Adern im Amphibolit des Engadins zu beobachten, wo die Adern mehr oder weniger parallel zur Schieferung des Amphibolits in ein feines Netzwerk sich zerteilen und in ihrem Inneren dann eine flaserige Struktur aufweisen. Die großen Splitter zeigen noch die optischen Eigenschaften des Amphibols, die kleinen hellen nur tiefblaugrau auf und sind durchsetzt mit winzigen Zoisit(?)nestern.

Bei dem Gestein von Michelbach enthält der angrenzende Biotitgneisglimmerschiefer reichlich dicke Büschel von Fibrolith; da die Nadelchen der Grundmasse hier gerade oder nahezu gerade auslöschten, entsprechen sie vielleicht randlich einbezogenem und mylonitisierendem Sillimanit.

Die Struktur der Grundmasse ist in der Regel eine richtungslos feinkörnige bis dichte. Oft ist eine schlierige oder fluidale Struktur durch die Verteilung der Bestandteile oder — bei dichter Grundmasse — durch verschiedene Färbung im Schliß sichtbar. Ein Schliß vom Fluchthorn zeigt feine parallele Strömungsfäden.

Einzelne besser kristallisierte südafrikanische Pseudotachylyte besitzen nach Hall, Molengraaff und Nel intersertale Struktur. Das vergleichsweise größte Korn traf ich in dem früher erwähnten diabasähnlichen Schliß vom Paulcke (Ader in Fluchthornamphiboliten); er besteht hauptsächlich aus einem strahligen Gefüge von schmalen, verzwilligten Plagioklasleisten, sehr ähnlich manchen feldspatreichen Diabasen.

In anderen Adern sinkt die Korngröße so tief, daß eine mineralogische Bestimmung der Bestandteile nicht mehr gelingt. Eine feine Erzdurchstäubung durchzieht auch diese Arten. Bei $\times N$ erfolgt nur eine sehr schwache, undeutliche Aufhellung einzelner Teile.

In Südafrika entspricht ihnen der Typus 1 der Pseudotachylyte bei Shand: nach seinen Angaben erkennt man Erzstaub auf einem strukturlosen Hintergrund, der nicht ganz isotrop ist, sondern mit dunkelgrauen Tönen in verschwommenen Flecken aufhellt.

Inwieweit die ganz oder nahezu isotrop sich verhaltenden Grundmassen amorphes Glas oder feinstes Kristallaggregat sind, wäre durch Untersuchung mit Röntgenstrahlen festzustellen. An der Verdunkelung des Schlißbildes ist oft der feine Erzstaub stark beteiligt. Freudenberg gibt von dem „Porphy“ des Fluchthorns primären Glasgehalt an: dunkles, eisenreiches Glas mit zahllosen Globulithen (Vogelsang); Nel berichtet auch von Globulithen in einem Pseudotachylyt in Quarzit.

Häufig ist ein Salband von abweichender Struktur ausgebildet. Übereinstimmend in Afrika und den Alpen sind solche Salbänder hauptsächlich dort ausgebildet, wo die Pseudotachylytaderscharf am Nebengestein abschneidet, wogegen sie an Stellen mit starker Auflockerung und Zertrümmerung des Nebengesteinsrandes und Vermischung beider Gesteine fehlen.

Die Salbänder heben sich durch feineres Korn vom Inneren der Ader ab oder besitzen dichte Struktur. Dabei zeigen solche Salbänder an alpinen Adern mitunter bei glasartiger Dichte einheitliche Aufhellung und Verdunkelung des ganzen Randes bei $\times N$, u. zw. parallel zum Rand. In zwei Schlißen (deren einer auf Taf. XXIV des Jahrbuches 1914 abgebildet ist) kommt bei dieser einheitlichen Aufhellung eine Streifung in zwei steil aufeinanderstehenden Richtungen zum Vorschein, die sonst

nicht sichtbar ist und wohl die Abbildung von Druckspannungen bei der Erstarrung der Schmelze ist.

In anderen Fällen hellt die Randzone nicht oder nur teilweise auf, z. B. Michelbach (braune Randzone ohne Aufhellung, nur vereinzelte Nadelchen blitzen auf). In einem Schlift aus dem Vreddefortgebiet (Koedoesslaagte, Pseudotachylyt in Hornfels) erscheint zu äußerst ein besonders stark lichtbrechendes feines Leistchen, dann eine schmale, dichte Randzone, die dann rasch in den normalen, hier stark schlierigen Pseudotachylyt übergeht (Fig. 1). Die Amphibolnadelchen zeigen hier stellenweise die Neigung in zwei subnormal zueinander gestellte Richtungen sich zu ordnen.

Alle diese Erscheinungen weisen auf eine weitgehende Regelung des Gefüges in dem z. T. submikroskopisch feinkörnigen Gestein hin, die durch petrotektonische Analyse noch weiter aufzuklären wäre.

Die südafrikanischen Geologen berichten von sphärolithischer Anordnung der Feldspatleisten in der Grundmasse einzelner Pseudotachylyte.

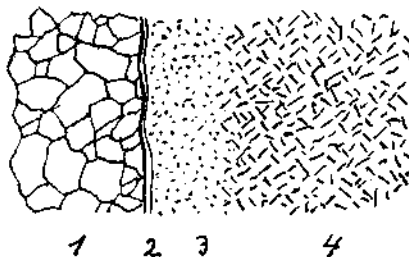


Fig. 1. Rand einer Pseudotachylytader in Hornfels, Koedoesslaagte.

1 = Hornfels; 2 = stark lichtbrechende Randlinie; 3 = dichter, nur fleckenweise noch etwas aufhellender Saum; 4 = Grundmasse mit feinen Nadelchen, die größtenteils in zwei Richtungen geordnet sind. Schematische Zeichnung.

In dem alpinen Material fand ich in einem Adergestein vom Hexenkopf (Ader im Gneis) eine radialstrahlige Anordnung der Plagioklase mit dem bekannten Auslöschungskreuz, die sehr gut mit den von Hall und Molengraaff auf Taf. XXIV, Fig. 1, ihres Werkes abgebildeten Sphärolithen übereinstimmt. Das Gestein ist etwas weniger feinkörnig als die meisten anderen und besteht größtenteils aus Plagioklas neben viel Erz. Auch die Grundmasse des „Diabas“ vom Fluchthorn neigt stellenweise zu radialer Anordnung der Plagioklasleisten.

Die Plagioklasleisten solcher etwas besser auskristallisierter Grundmassen zeigen keine Kataklyse, ebenso die kleinen Amphibolnadelchen, soweit ihre Kleinheit eine solche Feststellung erlaubt und abseits von randlichen Mischungszonen.

Hinsichtlich der in der Grundmasse eingebetteten Einschlüsse stimmen die südafrikanischen und alpinen Pseudotachylyte sehr gut überein.

In beiden Gebieten erscheinen als Einschlüsse Quarz, Feldspat und Körnergruppen beider. Quarz herrscht als Einschluß in der Regel weitaus

vor. Dagegen fehlen die dunklen Bestandteile der Nebengesteine (Amphibol, Biotit) gewöhnlich ganz, auch bei Adern im Amphibolit oder biotitreichen Gneisen. Nur dicht an aufgebröckelten Gesteinsrändern oder in gröberen mylonitischen dünnsten Adern finden sich solche. Nach Hall und Molengraaff deuten mitunter Nester kleinster Hornblendes auf Auflösung von Hornblendeeinschlüssen.

Es wurde schon oben an dem Beispiel des Gesteins von Rensburg-drift gezeigt, wie die Hornblende rasch in kleinste Teilchen sich auflöst, während der Plagioklas (und Quarz) als Einschlüsse erhalten bleiben. Ähnliches wird auch für den gut spaltbaren Biotit gelten. Shand verweist darauf, daß er auch bei der Erreichung hoher Temperatur als erster unter den vorliegenden Gesteinsgemengteilen schmilzt. Auf die Zerstörung der dunklen Gemengteile wird auch der hohe Erzgehalt vieler solcher Pseudotachylyte zurückgeführt. Der raschere und bis ins kleinste gehende Zerfall von Amphibol und Biotit bei der Mylonitisierung des Gesteins erleichtert die Schmelzung beim Eintritt hoher Temperatur.

Die Quarzeinschlüsse sind in beiden Gebieten meistens kataklatisch, zeigen wellige Auslöschung und mehr oder weniger starke Zerklüftung oder sind in Körnergruppen aufgelöst. Sie sind teils unregelmäßig eckig, teils gerundet und besitzen oft seichte, rundliche Einbuchtungen, ähnlich den Einsprenglingen porphyrischer Gesteine. Ganz ausnahmsweise besitzen in dem Adergestein mit den Plagioklassphärolithen einzelne Feldspateinschlüsse teilweise Umgrenzung durch Kristallflächen.

Bei einzelnen alpinen Vorkommen wurde eine Umkrustung von Quarzeinsprenglingen durch Amphibolkriställchen beobachtet, z. B. in Freudenbergs Gerölle vom Fluchthorn. Auch Shand gibt ähnliches bei seinem Typus 2 an.

Shand sowohl wie Hall und Molengraaff beschreiben die randliche Auflösung von Quarz- und Feldspateinschlüssen durch Aufschmelzung und geben Bilder davon. Ähnliche Erscheinungen zeigen Einschlüsse in dem Adergestein des Michelbachtals (Fig. 2). Die großen Einschlüsse von Quarz oder auch von Feldspat sind sehr stark zerklüftet oder völlig in Trümmer zerfallen. Dabei ist der Raud der Körner unscharf und verschwimmt mit der Grundmasse. Als Beginn dieser Veränderung zeigen die Quarze einen randlichen Saum, der unter $\times N$ nicht aufhellt; andere Körner bleiben ganz dunkel und treten bei $\times N$ aus der gleich dunklen Grundmasse nur dadurch heraus, weil auf ihrem Feld die kleinen Epidot(?)körnchen der Grundmasse fehlen. An andern Stellen sieht man Gruppen von verschwommenen Körnern in epidotfreien Flecken der Grundmasse liegen.

In den Quarzeinschlüssen dieses Gesteins beobachtet man nicht selten parallel dem Rand eine feine, linear geordnete Erzausscheidung. Bei Ausbildung eines dunklen Randsaums liegt die Erzausscheidung nahe dem inneren Rand des Saums. Auch an den Zertrümmerungsklüften sammelt sich oft Erz an. Dort, wo die Einschlüsse in längliche Körnerhaufen zerdrückt sind, umfließt sie die Grundmasse in schlierigen Strähnen. In diesen liegen die Amphibol(?)nadelchen nicht parallel geschichtet, sondern kreuz und quer.

Hall und Molengraaff stellten fest, daß die Einschlüsse nicht immer ihrer Mineralart nach den Hauptbestandteilen des Nebengesteins entsprechen — auch abgesehen von der Zerstörung der femischen Gemengteile — und konnten in einzelnen Fällen auch den entfernter gelegenen Herkunftsort aufzeigen. Auch bei den alpinen Vorkommen müssen die reichlichen Quarzeinschlüsse der Adern in manchen Amphiboliten aus benachbarten Gneisen hergeleitet werden, hier wie dort als Zeichen beträchtlicher Fortbewegung der pseudotachylytischen Masse.

Überblickt man die gesamten Eigenschaften, welche die Adergesteine unter dem Mikroskop zeigen, so ergibt sich einerseits eine Reihe von Eigenschaften, welche sie mit erstarrten Schmelzflüssen gemeinsam haben, anderseits solche von zermalmten Gesteinen.

Zu den ersteren gehören vor allem Gefügeformen: glasige Struktur (Freudenberg, zum Teil die dichten, nicht aufhellenden Grundmassen),

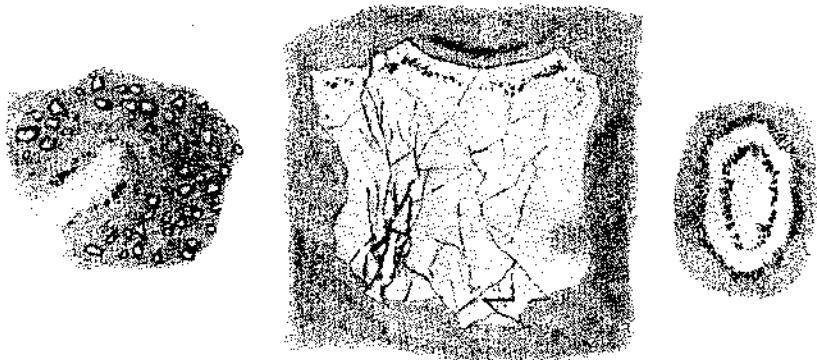


Fig. 2. Quarzeinschlüsse in der Pseudotachylytader von Michelbach.

Links: Einschluß mit Erzzone und nicht aufhellender Randzone, Grundmasse mit ? Epidot-Körnern. Mitte: Quarzeinschluß mit flacher Einmündung, starker Zerklüftung, Erz an den Klüften und in einer Randzone. Rechts: Einschluß mit Erzzone und Umrundung.

intersertale Struktur (Hall und Molengraaff, Nel), die Salbänder, die Aufschmelzung von Einschlüssen, Umrundung derselben und zonare Erzausscheidung in ihnen. Hinsichtlich des Mineralbestandes stimmt die häufige Zusammensetzung aus Plagioklas und Amphibol als Hauptgemengteilen mit jener bekannter Eruptivgesteine überein.

Mit Zermahlungsgesteinen haben die Adern die deutlich klastische Struktur der Grundmasse mancher dieser Adern, besonders gewisser schmaler faseriger Adern, gemeinsam, die allgemeine, starke Kataklyse der Einschlüsse bis zu linsenförmiger Zerdrückung in Körnerfasern, die randliche Zerbröckelung des Nachbargesteins und von großen Einschlüssen und Auflösung in der Grundmasse (Zerfall der großen Hornblendens u. dgl.).

Die Fließstrukturen vieler Schliffproben und ihr schlieriger Bau können sowohl bei erstarrten Schmelzen als bei Myloniten zustande

kommen; desgleichen ist die Fremdheit mancher Einschlüsse gegenüber dem Mineralbestand des Nebengesteins oder das Fehlen von Nebengesteinsbestandteilen unter den Einschlüssen mit beiden Entstehungsweisen vereinbar. Auch die Zerstörung der femischen Bestandteile aus dem Nebengestein kann sowohl durch leichtere mechanische Zerstörbarkeit als durch die Verschiedenheit des Schmelzpunktes erklärt werden.

Die Brücke, welche beide Gruppen von Eigenschaften vereint, ist die Annahme einer verschieden weit vorgeschrittenen Schmelzung von Myloniten und Auskristallisierung.

Ihre Bildung erfolgte sowohl in Europa wie in Afrika im Zusammenhang mit großen tektonischen Bewegungen und dementsprechend kommt in der Feinstruktur auch der Charakter als Schmelztektonit (Sander) zum Ausdruck.

Chemische Zusammensetzung.

In der Beschreibung der Gangmylonite im Jahrbuch 1914 habe ich zwei chemische Analysen derselben mitgeteilt, die eine von einem Adergestein in Gneis, die andere von einem solchen aus Amphibolit, aus denen eine weitgehende Abhängigkeit des chemischen Bestandes der Adern von jenem des umschließenden Gesteins ersichtlich ist.

Zu dem gleichen Ergebnis führen die fünf Analysen an Pseudotachylyten aus fünf verschiedenen Gesteinen, welche die südafrikanischen Geologen veröffentlicht haben. Sie sind in der beistehenden Tabelle wiedergegeben.

Bis auf Zehntelprocente stimmt die Analyse des Pseudotachylyts aus Granit mit jener des angrenzenden Granits [siehe Shand (5), Analyse des Granits] überein. Bei den anderen vier bestehen zwar stärkere Abweichungen gegenüber den Analysen der Muttergesteine, doch treten die kennzeichnenden Züge im Chemismus des durchbrochenen Gesteins deutlich hervor, z. B. der Natronreichtum des Canadites, der hohe Eisengehalt der eisenreichen Quarzite u. dgl. Infolge der geringen Breitenausdehnung der durchdrungenen Gesteine ist bei den Adern im Canadit, Gabbro, Hornfels u. a. in das Adergestein Material aus benachbarten Gesteinszügen beigemischt.

Zu beachten ist bei einem Vergleich mit Eruptivgesteinen, daß ein nicht unbeträchtlicher Teil des SiO_2 -Gehaltes auf die Quarzeinschlüsse entfällt. Im Mylonit gehören sie als von gleicher Herkunft mit der Grundmasse zusammen im chemischen Bilde.

Jedenfalls zeigen die vorhandenen Analysen alle eine voneinander weit abweichende chemische Zusammensetzung, so daß man bei ihrer Deutung als magmatische Ganggesteine fast für jeden der analysierten Gänge eine andere Gesteinsart aus der Analyse fordern müßte, ohne sie aber im Dünnschliff nachweisen zu können.

Als eine neue Analyse kann hier noch eine solche des Adergesteins im Michelbach (Osttirol) mitgeteilt werden, welche ich ebenso wie die Berechnung der Niggli'schen Werte und die Bestimmung der Dichte Herrn Prof. Dr. E. Dittler verdanke.

	1	2	3	4	5	6	7
SiO ₂	62·00	55·90	52·70	44·90	66·95	56·32	47·53
TiO ₂	0·60	0·30	0·45	0·55	1·75	n. best.	n. best.
Al ₂ O ₃	11·85	14·60	7·60	14·55	15·06	22·98	16·37
Fe ₂ O ₃	2·50	9·90	0·50	2·90	1·58	3·14	3·63
FeO	11·30	5·45	8·35	24·50	2·18	5·80	10·88
MnO	—	0·10	0·15	0·05	0·08	n. best.	n. best.
CaO	1·70	1·60	13·95	0·35	3·25	0·45	8·53
MgO	3·30	1·50	13·40	4·00	1·38	2·19	6·80
Na ₂ O	1·40	7·45	1·15	0·25	4·32	0·98	3·10
K ₂ O	1·45	2·60	0·35	1·20	2·85	4·44	1·17
P ₂ O ₅	—	0·20	0·15	0·10	0·07	n. best.	n. best.
H ₂ O (110°)	1·20	0·20	0·25	1·3	0·12	3·87	1·16
Glühverlust	2·90	0·30	1·10	5·2	0·51	CO ₂ 0·22	CO ₂ 1·60
Summe	100·20	100·10	100·10	99·85	100·05	100·39	100·77
Spezifisches Gewicht	2·875	2·86	3·02	2·96	S 0·12 BaO 0·05		

- 1 Pseudotachylit in Hornfels, Koedoeslaagte
 2 " " Nephelinsyenit,
 3 " " Gabbro, Annas Rust " } Vredfortgebiet,
 4 " " Quarzit, Goede Hoop } Südafrika.
 5 " " Granit, Parys }

1—4 Analysiert von H. G. Weall, Johannesburg; veröffentlicht von Hall und Molengraaff (6).

5 analysiert von H. F. Harwood; veröffentlicht von Shand (5).

6 Gangmylonit aus Paragneis, Fließerscharte.

7 " " Amphibolit, Arrezkopf, beide Unterengadin, Tiroler Grenze.

6—7 analysiert von O. Hackl, Wien; veröffentlicht von Hammer (1).

Adergestein aus dem Michelbachtal.

Gesammelt von Schädler, analysiert von E. Dittler.

	Gewichtsprocente	Niggliwerte
SiO ₂	53·26	si.....168·7
TiO ₂	0·67	al..... 36·43
Al ₂ O ₃	19·55	fm..... 40·57
Fe ₂ O ₃	1·02	c..... 6·73
FeO	8·03	alk..... 16·27
MgO	3·57	k..... 0·20
CaO	1·98	mg..... 0·53
MnO	—	ti..... 1·60
K ₂ O	1·59	c/fm..... 0·17
Na ₂ O	4·26	
P ₂ O ₅	Spur	Dichte... 2·709
Fe	1·90	
S	1·09	Magnetkies
H ₂ O	3·43	
CO ₂	1·12	
—O für S	101·47	
	0·82	
	100·65	

Die chemische Zusammensetzung des Michelbacher Gesteins kann sehr wohl der des umgebenden Biotitschiefergneises entsprechen, eine Analyse desselben liegt zwar nicht vor, doch liegen die Werte obiger Analyse im Variationsbereich derartiger Paragneise, z. B. gibt Streckeisen (13) in seiner Zusammenstellung von Analysen von Paragneisen aus der Silvretta- und Ötztaler Gruppe drei ähnlich zusammengesetzte Paragneise (Biotitschiefergneis, Biotitschiefer, Feldspatknottengneis) an. Die Dioritporphyrite des Iseltals, von denen mehrere in der Umgebung aufbrechen, besitzen nach den Analysen des Paläoandesits von Lienz (John 15) und der Dioritporphyrite und Kersantite der Rieserferner (14) durchwegs beträchtlich höheren Gehalt an CaO, die Kersantite haben außerdem stets Kalivormacht, in der Regel auch höheren MgO-Gehalt und einen charakteristischen Gehalt an P_2O_5 .

Entsprechend der Verschiedenheit des chemischen Bestandes schwankt auch das spezifische Gewicht der Pseudotachylyte beträchtlich, nach obigen Angaben zwischen 2.709 und 3.02. Von jenen des Unterengadiner Gebietes teilte mir Prof. Dr. Fr. Becke (1915) nach seinen Messungen an dem Material Paulekes folgende Werte mit: 2.83 (lichtes Gestein), 3.00, 3.02, 3.03 (dunkle Abarten).

Eine Verschiedenheit besteht zwischen den Pseudotachylyten Südafrikas und jenen der Ostalpen in der geologischen Verteilung der Adern. Im Vreddefortgebiet sind die Adern ohne bestimmte Anordnung über den ganzen Bereich des Granits und seines Sedimentgürtels verstreut, nur sind sie in den randlichen Teilen des Granits häufiger als im Innern des Massivs. Eine Bindung an einzelne tektonische Linien fehlt, das ganze Gebiet ist von einem Klufnetz durchsetzt, an dem es an vielen Hunderten von Stellen zur Entwicklung von Pseudotachylyt kam.

Dagegen sind die Pseudotachylyte in den Ostalpen ausschließlich und innerhalb enger Grenzen an tektonische Bewegungshorizonte, an Schubflächen gebunden. In der Überschiebungszone in der Phyllitzone von Landeck gehen sie auch in faserige Mylonite von zunehmend größerem Korn über und verlieren sich in den kataklastisch verflaserten Gneis und Glimmerschiefer.

Diese Verhältnisse stehen in besserer Übereinstimmung mit dem Auftreten gleichartiger Mylonitbildungen in Schottland und auf den Hebriden, wo sie von den englischen Geologen als *Flinty crush rocks* beschrieben wurden.

Nachdem sie ursprünglich auch in diesem Gebiete als basaltische Gänge angesehen worden waren, haben zuerst Clough, Maufe und Bailey 1909 (10) sie als Mylonite (im Glen Coe-Gebiet) gedeutet, die auch nach Art einer viskosen Masse in die umgebenden Schichten eingepreßt wurden. Jehu und Craig haben 1923 und 1925 (11, 12) eingehend solche Gesteine von den Hebriden beschrieben und dabei die stellenweise beobachtete kristalline Struktur derselben (Sphärolithe, Feldspatmikrolithe u. a.) und glasartige Beschaffenheit auf Schmelzung infolge Temperatursteigerung durch Reibungswärme zurückgeführt. Die *Flinty crush rocks* der Hebriden sind in ihrem Auftreten an eine Hauptüberschiebung gebunden und erreichen hier größere Ausdehnung und Mächtigkeit.

keit als im alpinen Gebiet. Sie sind an der Unterseite einer flach aufgeschobenen Gneisschubmasse entwickelt, ganz ähnlich wie an der Basis der Silvretagneise. Es sind sowohl im Felde als im Dünnschliff alle Übergänge vom zertrümmerten Gneis bis zum dichten Pseudotachylyt mit beginnender Neukristallisation zu verfolgen. Letztere ist aber auf den Hebriden im ganzen nicht so häufig und noch nicht so weit vorgeschritten wie in Südafrika, was auch Shand auf Grund seiner Einsichtnahme in die Schliffe feststellt.

Nach Jehu und Craig zeigen die Flinty crush rocks der Hebriden größtenteils noch deutlich klastische Mylonitstruktur; meistens ist es zur Ausbildung einer dichten bräunlichen Grundmasse gekommen, die glasig und isotrop ist oder submikroskopisch feinkörnig und oft eine feinfädige Fließstruktur besitzt, in der zerdrückte Quarze, seltener Feldspate, flachlinsig eingeschlichtet sind. Mitunter schwimmen in der isotropen Grundmasse runde Sphärolithe, denen vielleicht ein Quarz als Ansatzkern dient. Derartige Sphärolithe sind in den andern Pseudotachylyten nicht bekannt geworden, es sei denn, daß man die Umrundung von Quarzeinschlüssen (siehe oben) als Anfangsstadium solcher betrachten will. Als kristalline Neubildungen treten dann auch Plagioklasmikrolithen auf, die radiale Anordnung annehmen können. Der auf Tafel III, Fig. 6, im 1. Teil der Abhandlung von Jehu und Craig abgebildete, derart struierte Flinty crush rock gleicht sehr dem „Diabas(?)“ vom Fluchthorn (Schliffmaterial Becke-Paulcke).

Übereinstimmend mit den Pseudotachylyten der anderen Gebiete wird auch von den schottischen angegeben, daß die femischen Gemengteile bei der Mylonitisierung zuerst zugrunde gehen; alle Abstufungen der Zermalmung der Hornblende aus dem Nebengestein sind in dem Mylonit zu sehen, besonders in den randlichen Teilen der Adern. Als Einschlüsse erscheinen daher hauptsächlich Quarz (auch mit buchtigen Umrissen), seltener Feldspat. An den Rändern der Adern sind alle Gemengteile des Nebengesteins reichlich zu sehen. Von dem Auftreten von Amphibol in feinen Nadeln als gleichmäßiger Gemengteil der Grundmasse wie bei den alpinen und afrikanischen Adern wird bei den schottischen Gesteinen nichts erwähnt, was wohl mit dem geringeren Grade von Neukristallisation zusammenhängen mag. Die großen Mengen von Magnetit werden von der Zerstörung der Hornblende hergeleitet. Auch über verschwommene Umrisse der Einschlüsse infolge Anschmelzung wird berichtet. Chemische Analysen liegen keine vor.

Form und Ausbreitung der Adern im Felde stimmt mit der anderer Verbreitungsgebiete überein.

Auf Süd-Uist liegt unter der Schubfläche mit den Pseudotachylyten derselbe Gneis in normaler Beschaffenheit und verhältnismäßig wenig gestört. Im Hangenden wird die Schubmasse mit den Pseudotachylyten von einer zweiten, höheren Schubbahn begrenzt, deren Mylonite aber einen beträchtlich verschiedenen Charakter besitzen: sie sind ausgezeichnet schieferig, mit feiner Lagen- und Körnerfaserstruktur mit kleinen „Augen“ und reichlicher Neubildung von Serizit und von Chlorit und Biotit. Auch die darüberliegenden Hornblendegneise sind in analoger Weise tektonisiert.

Diese Verschiedenheiten der Mylonitzonen weisen ebenso wie die Beschränkung auf bestimmte Schubflächen bei den Pseudotachylyten in Westtirol darauf hin, daß die Entwicklung von Pseudotachylyt-Myloniten von bestimmten Arten der Schubbewegung abhängig ist und nicht nur von der Größe der wirkenden Kräfte. Im Unterengadiner Fenster zeigt der Silvrettarand die Gangmylonite, dem gegenüberliegenden Ötztalerand fehlen sie; an letzterem sind grobe Zertrümmerungen oder diaphoritische Phyllonite gebildet worden.

Jehu und Craig glauben, daß die Bewegung, welche die Flinty crush rocks erzeugte, eine relativ plötzliche war im Verhältnis zu jener an der oberen Schubfläche, ähnlich wie Shand die Pseudotachylyte auf plötzliche, stoßweise Zertrümmerung des Granits, vielleicht verbunden mit Gasexplosionen, zurückführt. Die Schubfläche, an der sie im Unterengadin auftreten, ist dadurch charakterisiert, daß eine Schubbewegung erster Ordnung sich, nur auf engstem Raume konzentriert, mylonitisierend auswirkt; das Liegende zeigt keine Mylonite, das Hangende nur die engbegrenzten Gangmylonite. Die Schichten werden dabei von der Schubfläche schräg zum Streichen geschnitten.

Auch auf Süd-Uist scheidet die untere Schubfläche, an der die Flinty crush rocks auftreten, die Schieferung der Gneise schräg, in der oberen Schubmasse scheinen die Gneise parallel zur Schubfläche phyllonitisiert zu sein.

Die Mylonitzonen im Stanzer Tal (Landecker Phyllitzone) sind konkordant zu den beiderseitigen Schiefen und nicht so scharf begrenzt und einheitlich ausgedehnt wie an der Basis der Silvrettagneise im Engadiner Fenster, die Mylonitisierung ist dementsprechend in breiterer Zone entwickelt, die Pseudotachylytbildung unvollkommener und Übergänge zu gewöhnlichen Myloniten und Phylloniten stark entfaltet.

Vielleicht wird es bei genauerer Erforschung der Beziehungen zwischen der Art der Schubbewegung und der Mylonitbildung noch einmal möglich sein, aus dem Vorhandensein von Pseudotachylyt an einer Schubfläche auf den tektonischen Charakter der Schubbewegung Schlüsse zu ziehen.

Literaturhinweise.

1. Hammer W. Das Gebiet der Bündner Schiefer im tirolischen Oberinntal. Jahrbuch der k. k. Geologischen Reichsanstalt, 1914, S. 555- 562.
2. Hammer W. Die Phyllitzone von Landeck (Tirol). Jahrbuch der k. k. Geologischen Reichsanstalt, 1918, S. 254—258.
3. Freudenberg W. Pflanzenführendes Carbon, triadischer (?) Quarzporphyr am Fluchthorn und eine obere Glimmerschieferdecke bei Gaschurn im Montavon. Jahresbericht und Mitteilungen des Oberrheinischen Geologischen Vereines, N. F., XII. Bd., 1923.
4. Schädler J. Geologische Beobachtungen am Ostrand des Defereggengebirges (Michelbach). Mitteilungen des naturwissenschaftlichen Vereines für Steiermark, 1930, S. 64—71.
5. Shand S. J. The Pseudotachylyt of Parys (Orange Freestate) and its relation to „trapshotten Gneis“ and „Flinty crush rock“. Quaterly Journ. of th. Geol. Soc. London, 72. Bd., Nr. 287, 1917, S. 198 u. f.
6. Hall A. L. a. Molengraaff G. A., The Vredefort Mountain Land in the southern Transvaal and the northern Orange Freestate. Verhandel. d. Koninkl. Akademie v. Wetenschappen te Amsterdam, 24. Bd., Nr. 3, Amsterdam 1925, S. 93—113.

7. Nel L. T. The Geology of the country around Vredefort. Explanation of the geol. map. Geol. Survey, Pretoria 1927, S. 92—99.
 8. Bowen N. L. a. Auroousseau M. Fusion of sedimentary rocks in drill holes. Bull. geol. Soc. of Amerika, 34. Bd., 1923, S. 431—448.
 9. Stutzer O. Über zwei Gesteine aus rumänischen Ölbohrungen. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, 1929, S. 533 f., und 1930, S. 381.
 10. Clough C. T., Maufe H. B. a. Bailey E. B. The Cauldron subsidence of Glen Coe and the associated igneous phenomena. Quaterly Journ. of the Geol. Soc. London, 65. Bd., 1909, S. 611—675.
 11. Jehu T. J. a. Craig R. M. Geology of the Outer Hebrides. I. Teil (The Barra Isles) Transactions of the R. Soc. of Edinburgh, 53. Bd., II. Teil, 1923, S. 430—436.
 12. Jehu T. J. a. Craig R. M. Geology of the Outer Hebrides. II. Teil (South Uist a. Eriskay). Ebendort, 53. Bd., III. Teil, 1925, S. 627—635.
 13. Streckeisen A. Geologie und Petrographie der Flüelagruppe. Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen, VIII. Bd., S. 134.
 14. Becke Fr. Chemische Analysen von kristallinen Gesteinen aus der Zentral-kette der Ostalpen. Denkschriften der kais. Akademie der Wissenschaften in Wien, 75. Bd., S. 153.
 15. Stache G. und John C. Geologische und petrographische Beiträge zur Kenntnis der älteren Eruptiv- und Massengesteine der Mittel- und Ostalpen. Jahrbuch der k. k. Geologischen Reichsanstalt, 1879, S. 400.
- In Nr. 5, 6 und 11 ist auch ältere Literatur über Trap shoten gneis und Flinty crush rocks angeführt und besprochen.
-