

UEBER BÜGE
IN DEN SCHICHTEN DES BARRANDESCHEN FELSENS.

VON

PROF. PHIL. POČTA.

MIT 1 TAFEL.

SEPARATABDRUCK AUS DEN SITZUNGSBERICHTEN DER KÖNIGL. BÖHM.
GESELLSCHAFT DER WISSENSCHAFTEN IN PRAG. 1908.

VORGELEGT DEN 13. MÄRZ 1908. — HERAUSGEGEBEN DEN 10. SEPTEMBER 1908.

PRAG 1908.

VERLAG DER KÖNIGL. BÖHMISCHEN GESELLSCHAFT DER WISSENSCHAFTEN.
IN KOMMISSION BEI FR. ŘIVNÁČ.

Ueber Büge in den Schichten des Barrandeschen Felsens.

Von Prof. Phil. Pošta.

Mit 1 Tafel.

(Vorgelegt am 13. März 1908.)

Etwa in der Mitte zwischen den bekannten 2 Orten der nächsten Umgebung von Prag, zwischen Hlubočep und Kuchelbad befindet sich auf der Königsaler Strasse das bekannte Profil stark gefalteter Schichten, welches im J. 1884., ein Jahr nach dem Ableben Barrandes mit einer Gedenktafel, die seinen Namen trägt, geschmückt wurde.

Unter den steil aufgerichteten lichten und krystallinischen Kalklagen des Devons (F-f₂) liegen dunkle, stark gefaltete und oft in Zickzack geknickte Kalkschichten der Bande F-f₁, welche als oberstes Silur angesprochen werden müssen. Weiters am südlichen Ende des Profils kommen unterhalb dieser gefalteten Schichten die bedeutend lichtereren Cephalopoden-Kalksteine der Bande E-e₂ zum Vorschein. Diese Barrandesche Wand ist sehr reich an verschiedene dynamische Erscheinungen und ich möchte hier nur die grossen glatten Harnische erwähnen, welche in grosser Anzahl hier gefunden wurden. Voriges Jahr hat die Verwaltung der Staatsbahnen zum Behufe der Erweiterung des Bahnkörpers einige Meter von diesem Felsen abbauen lassen und bei dieser Gelegenheit konnten viele Belegstücke für verschiedene dynamischen Phänomene eingesammelt werden. Sonst war es natürlicher Weise sehr schwierig, wenn nicht unmöglich, aus dem festen Felsen Handstücke herauszuhauen.

Unter anderen vielen Formaten habe ich insbesondere die Büge der stark zusammengedrückten oder geknickten Falten gesammelt und dieselbe teils im Querschnitte schleifen und polieren, teils auf Dünnschliffe bearbeiten lassen.

Ich wollte jene Erscheinungen, welche durch Faltung und Knickung der Kalkschichten in den Stellen der grössten Biegung entstehen und welche wohl unter dem Mikroskope auch zum Ausdruck kommen müssen, näher untersuchen.

Büge (franz. „charnières“) nenne ich die Winkel, wie sie in den Sätteln und Mulden der Falten entstehen. REYER¹⁾ nennt sie Kline, welche Bezeichnung ich aus etymologischen Gründen nicht passend finde.

Im vorliegenden Material, das nur Bruchstücke von Falten enthält, lassen sich selbstverständlich die Sättel von den Mulden der Falten jetzt nicht mehr unterscheiden.

Ueber die Faltungserscheinung in geschichteten Ablagerungen besteht eine reiche Literatur.

Zur Erklärung der Art und Weise, wie in den aus festen und oft sehr spröden Gesteinen bestehenden Schichten Biegungen und scharfe Falten entstehen, hat bekanntlich HEIM²⁾ eine Theorie aufgestellt, welche diesen Vorgang auf zweierlei Wegen zu erklären sucht.

1. Für Schichten, die nah an der Oberfläche (bis zu 2000 *m*) gelagert sind, also keinem grossem Drucke unterliegen, nimmt er an, dass die Umformung durch Bruch geschieht, indem das Gestein dieser sich faltenden Schichten durch Sprünge und Klüfte in Bruchstücke sich zerteilt. Diese Fragmente sind oft von sehr unbedeutenden Dimensionen, verschieben sich und ändern ihre Lage bis ihre Stellung dem das Falten erzeugenden Drucke entsprechend wird. Dann werden die Sprünge durch Zufuhr eines neuen Gesteinsmateriales wieder verkittet und es entsteht somit ein neues festes Gestein.

Das ist der Ursprung der Mikrobrekzien oder der Kataklastenstruktur dieser so gefalteten Schichten. Sind die Sprünge durch ein Gestein von anderer Farbe als das ursprüngliche zertrümmerte ausgefüllt, erscheint dann ein oft sehr dichtes Netzwerk von feinen Adern, das zuweilen nur unter dem Mikroskope zu unterscheiden ist.

¹⁾ Geologische und geographische Experimente, Leipzig, 1892.

²⁾ Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung, Basel, 1878.

2. Für tiefer liegende Schichten (von 2000 *m* an) nimmt er eine Umformung ohne Bruch an. In beträchtlichen Tiefen leiden die Schichten einen sehr bedeutenden, über ihre Festigkeit gehenden Druck, der, indem er sich nach allen Richtungen fortpflanzt, zu einem allgemeinen, dem hydrostatischen Drucke in grossen Meerestiefen ähnlichen wird.

Durch diese Kraft werden die sprödesten Gesteinen in einem plastischen Zustand erhalten, der latent bleibt und somit zu keiner Verschiebung Anlass giebt. Wird nun das Gleichgewicht dieses allgemeinen Druckes gestört, z. B. durch einen Falten bildenden Schub, so formt sich diese latent plastische Masse ohne Bruch um.

Den Fall, in welchem an einem Handstücke beiderlei Arten von Umformung zu sehen sind, erklärt er durch verschiedene Tiefen der Schichten. Die Umformung ohne Bruch fand zuerst statt, wogegen die Kataklasstruktur erst dann entstanden ist, nachdem durch Erhebungen und durch Erosion einzelne, früher in bedeutenden Tiefen sich befindende Partien der Erdkruste emporgehoben, oder so erodiert worden sind, dass sie viel höher zu liegen kamen.

Diese Theorie und insbesondere der zweite Teil derselben, welche die bruchlose Umformung der Schichten behandelt, wurden bald zum Gegenstande mancher Erörterungen, es wurden auch manche Bedenken laut. Durch viele Experimente wurde diese Theorie unterstützt; so ist es z. B. SPRING³⁾ gelungen Späne und Pulver von verschiedenen Metallen durch grossen Druck (2000—6000 Atmos.) zum einheitlichen Gestein umzuformen. KICK⁴⁾ hat ein Marmorcylinder unter Druck von mehreren Tausenden von Atmosphären bildsam wie Wachs erhalten. LOEWL⁵⁾ schreibt den Schiefertönen, Tonschiefern und Kalksteinen die Fähigkeit zu, sich schon in verhältnismässig geringer Tiefe bruchlos falten zu können. Er nimmt an, dass insbesondere die tonigen Schiefer durch faltende Stauung nicht nur verdichtet und verhärtet, sondern auch unter molekularer Anpassung senkrecht zur Druckrichtung geschiefert werden und dass weiters die Kalksteine wegen Verschiebbarkeit des Kalkspates längs paralleler Gleitflächen bruchlos umgestaltet werden können. Bei der Experimenten ist an weichen Gesteinen die vollständige Plastizität oft

³⁾ La plasticité des corps solides et ses rapport avec la formation des roches. Revue générale des Sciences, 1900.

⁴⁾ Die Prinzipien der Mechanischen Technologie u. die Festigkeitslehre. Zeitsch. d. Ver. d. deutsch. Ingenieure, 1892, pag. 916

⁵⁾ Geologie, 1906.

nachgewiesen worden. So z. B. bei den Versuchen, welche mit Steinsalz und Sylvin RINNE⁶⁾ und LEHMANN⁷⁾ unternommen haben. So fand diese HEIMSche Theorie bei vielen Annahme und Zustimmung. Auch REYER⁸⁾ akzeptierte diese Erklärung, sah nur im Wasser einen wichtigen Faktor, da ohne Feuchtigkeit selbst unter hohem Drucke, wie PFAFF⁹⁾ bewies, Gesteine nicht plastisch werden. JANNETAZ¹⁰⁾ hat noch auf den Effekt der ungleichen Erwärmung von Gesteinen aufmerksam gemacht. Auch die bekannten Experimente DAUBREES¹¹⁾ haben eine gewisse Plastizität einiger Gesteine bei Anwendung von grossem Druck bewiesen. Die physikalischen Vorgänge, mittels welcher die Plastizität zu Stande gebracht wird, hat insbesondere RIECKE¹²⁾ erörtert. Seinen Ausführungen nach wird der Schmelzpunkt eines Minerals durch die Deformation infolge von Druck und Zug herabgesetzt und weiters die Löslichkeit gesteigert. Daher lösen sich an Stellen stärksten Druckes die Stoffe auf und setzen an Stellen des schwächsten Druckes sich wieder ab. Durch solche minimale Stoffverschiebungen gibt das Gestein scheinbar einem Drucke direkt nach und verhält sich, wie wenn es plastisch wäre, während jeweilen nur die kleinsten Quantitäten der Substanz sich lösen, umlagern und wieder ausscheiden. Und das ist der Grundsatz der bruchlosen Umformung.

Ueber diese partielle Umlagerung der kleinsten mineralischen Teile hat auch GRUBENMANN¹³⁾ sehr interessante Versuche angestellt. Auch A. HERM¹⁴⁾ bespricht diese „Lösungsumlagerung“ einzelner Gesteinspartikel.

Es wurden jedoch bald auch Fälle bekannt gegeben, wo gefaltetes Gestein ganz deutlich die Umwandlung durch Bruch sehen

⁶⁾ Plastische Umformung von Steinsalz und Sylvin unter allseitigem Druck. Jahrbuch f. Miner. Geolog. u. Pal. 1904. pag. 114.

⁷⁾ Plastische fließende und flüssige Krystalle. Annalen d. Physik, 1903, pag. 311.

⁸⁾ Die Bewegung im Festen. Jahrbuch geolog. Reichsanst. 1880, pag. 551.

⁹⁾ Allgemeine Geologie, pag. 313.

¹⁰⁾ Mémoire sur les clivages des roches etc. Bullet. Soc. géolog. de France, 1884. pag. 211.

¹¹⁾ Synthetische Studien zur Experimentalen Geologie, 1880.

¹²⁾ Ueber das Gleichgewicht zwischen einem festen, homogenen deformierten Körper und einer flüssigen Phase etc. Nachricht. von d. königl. Gesellschaft d. Wiss. Göttingen 1894. pag. 278—284.

¹³⁾ Die krystallinen Schiefer. Berlin, 1904, pag. 43.

¹⁴⁾ Gneissfältelung in alpinen Centralmassiv etc. Vierteljahrsschrift d. naturw. Gesellschaft, Zürich 1900. pag. 205.

lässt. Einige Experimente mit sprödem Gestein endeten mit vollständiger Zertrümerung des angewandten Materiales. So z. B. der Versuch RINNES,¹⁵⁾ mit Calcitkrystallen und Marmor; LOEWL⁵⁾ bemerkt: Bei manchen anderen Gesteinen, wie Dolomit, Feldspat und Quarz ist bisher jedes Experiment gescheitert. Diese Felsarten zeigten sich immer so spröde, dass sie nur durch Bruch umformt wurden. Die Granite der Alpen, die vor der Faltung sich in einer Tiefe von mindestens 5 Km. unter der Oberfläche befanden, verwandelten sich bei der kretazeischen und tertiären Hauptfaltung immer in eine Mikrobreccie.

Auch bei Ton fand OBERMAYER¹⁶⁾ beim Ausfliessen desselben aus einer engen Oeffnung eine concentrische Schichtung, die Folge von brüchigen Umformung war. ZIMMERMANN¹⁷⁾ überzeugte sich, dass Kiesel-schiefer durch intensive Zerklüftung gefaltet war, teils aber anscheinend ganz bruchlos sich umformte. ROTHPLETZ¹⁸⁾ beschreibt die Wirkungen des Druckes im Kulmkonglomerat und die Breckienbildung im Actinolitschiefer. In Betreff des ersteren sei hier hervorgehoben, dass er unter anderem auch bei den kieseligen Geröllen des Konglomerates ein Stadium annimmt, welches an den Berührungsstellen der Gerölle als plastische Umformung eintritt. Vom Aktinolitschiefer bildet er 2 schematische Figuren ab, in welchen die durch Druck entstandenen Spalten und dann die breckienartige Struktur veranschaulicht werden. STEINMANN¹⁹⁾ nimmt auf Grund der Experimente DAUBRÈES, an, dass starre Körper, wenn sie in eine weiche Masse (wie Blei) eingehüllt sind unter hohem Druck ohne Bruch umgeformt werden können, indem eine Verschiebung der Gesteinspartikeln ohne Unterbrechung des Zusammenhanges stattfinden kann. Er beschreibt weiters den Fall, in welchem trotz intensiver Stauchung eines Kalkes eine Zertrümerung nicht Platz gegriffen hat. Diesen Vorgang erklärt er in der Weise, dass das Kalkkarbonat bei dem Verknetungsvorgange gelöst und wieder abgesetzt wurde. Die Besprechung betrifft einen

¹⁵⁾ Beitrag zu Kenntniss der Umformung von Kalkspatkrystallen u. von Marmor. Jahrbuch für Mineral. Geolog. u. Palaeont. 1903. I. pag. 190.

¹⁶⁾ Das Fliessen fester Körper unter hohen Druck etc. Schrift d. Vereines zur Verbreit. naturwiss. Kenntn. Wien, 1904. pag. 307.

¹⁷⁾ Ueber gefaltete Kiesel-schiefer aus dem Mittelsilur des Vogtlandes. Zeitschrift d. deutsch geolog. Gesell. 1901, Protokoll, pag. 30.

¹⁸⁾ Ueber mechanische Gesteinsumwandlungen bei Hainichen in Sachsen. Zeitschr. d. deutsch. geolog. Gesell. 1879, pag. 355.

¹⁹⁾ Ueber Gesteinsverknetungen. Festband des Neuen Jahrb. für Miner. Geolog. u. Palaeont. 1907. pag. 337.

Fall, wo es sich um 2 ungleich harte Gesteine, die in innige Verknüpfung kamen, handelt. Aehnlichen Fall führt ZOEPPRITZ²⁰⁾ an. Bei 2 gleich harten Gesteinen fand er immer eine vollkommene Zertrümerung beider Gesteine. HEIM ARN.²¹⁾ giebt zu, dass auch bei einer Umformung ohne Bruch stellenweise eine feine Zertrümerung vorliegt, indem das Gestein von parallelen sehr feinen Rissen, die die sogen. „Fluidalstructur“ bilden durchsetzt wird. ALLENSPACH²²⁾ fand in den Falten des Tonschiefers eine Menge sekundärer Mikrofaltungen. REYER¹⁾ hat durch Experimente bewiesen, dass in den „Klinen“ die Schichten immer platzen, weil die äusseren Flächen stärker gebogen werden als die inneren. Darum verlaufen auch die Brüche in der Richtung gegen die Axe, also axipetal.

In vielen anderen Schriften²³⁾, welche lokale stratigraphische Beschreibungen enthalten, werden die durch Faltung der Schichten hervorgebrachten Erscheinungen behandelt. Bisher wurde jedoch die Struktur der gefalteten Schichten in ihrer grössten Biegung eingehend nicht studiert und auch keine Abbildung dieser Verhältnisse, so wie der Dünnschliffe dieser Partien veröffentlicht. Die Falten der BARRANDESCHEWEN Wand eignen sich meiner Ansicht nach vorzüglich zum Studium dieser Erscheinungen, da sie ein reiches Material bieten und weiters in Schichten von verhältnismässig grosser Mächtigkeit (2—4 cm.) entwickelt sind, so dass Dünnschliffe angefertigt werden können.

Die Lochkover Schichten (F-f 1) bestehen grösstenteils aus Kalkstein. Derselbe ist dunkel grau, oft mit einem grünlichen Anfluge und ist meist voll von Tentakulitgehäusen, welche hier wunderbarer Weise fast durchwegs in einer Richtung liegen. Sie sind parallel zur Richtung der Schichten gelagert und im quer geführten Dünnschliffe erscheinen ihre Querschnitte. Ein Längsschnitt im Dünnschliffe gehört zur Selten-

²⁰⁾ Geolog. Untersuchungen im Oberengadin. Ber. d. natur. Gesell. Freiburg 1906, pag. 223.

²¹⁾ Der westliche Teil des Säntisgebirges. Beiträge zur geolog. Karte der Schweiz XVI. Teil. 2, 1905 pag. 469.

²²⁾ Dünnschliffe von gefaltetem Röthidolomit-Quartenschiefer. Vierteljahrsschrift d. natur. Gesell. Zürich, 1900. pag. 227.

²³⁾ Alle neueren Lehrbücher der Geologie beschäftigen sich mit diesem Probleme. Angeführt sei Muschketov's Lehrbuch *Физическая Геология* 1891 I. Pag. 470 et seq. wo die Brüche sehr eingehend besprochen werden, weiters das Kapitel: *Déformations intimes des roches dans les mouvements orogéniques* in E. Haug's *Traité de Géologie* 1907 I. Pag. 224. DORR: *Mikroskopische Faltungsformen*, Danzig, 1904. bespricht ein physikalisches Experiment, welches mit der Faltung der Schichten nichts gemein hat, wie man aus dem Titel schliessen könnte.

heit. Es sind das die Versteinerungen, welche KATZER²⁴⁾ von Dvorce bei Prag beschrieben und für Spongiennadeln gehalten hat. Man sieht, dass solche Tentakulitenlager typisch für die Lochkover Kalksteine sind. Neben diesen Durchschnitten kann man noch andere grössere Versteinerungen, wie es scheint Lamellibranchiaten und vielleicht auch Trilobiten bemerken, welche jedoch in Durchschnitten nicht bestimmbar sind. Diese Versteinerungen haben durch Sprünge wenig gelitten, zersprungene Schalen sind verhältnissmässig selten und auch die feinen Risse setzen gewöhnlich die Versteinerungen nicht durch, sondern gehen sie um.

Neben Kalkstein erscheinen im Profil noch Schichten vom Hornstein. Dieser harte Hornstein ist von schwarzer Farbe und ist allem Anschein nach durch Umwandlung des Kalksteines entstanden. In den Dünnschliffen dieses Hornsteins sieht man nämlich Kreise allerdings von unregelmässigen Umrissen, die verwandelte Tentakuliten zu sein scheinen. Es ist demnach wahrscheinlich, dass dieser Hornstein durch Metamorphose des Kalksteines mit Hilfe von Kieselsäure entstanden ist. Die Faltungerscheinungen in diesem Hornsteine zeigen sich vielfach anders als jene im Kalksteine und werden weiters noch näher erörtert. Ganze Schichten von Hornstein in der Banda F-f1 waren bisher nicht bekannt und wurden beim Studium der Faltungsphänomene zufälliger Weise entdeckt. KATZER²⁵⁾ führt zwar an, dass in der Barrandeschen Wand und insbesondere bei Dvorce kieselige Lagen vorkommen und erklärt die Härte dieser Bänke durch ihr Reichthum an Spongiennadeln, nachdem aber die meisten von ihm als Spongien angesehene Versteinerungen Tentakuliten sind, welche bekanntlich kalkige Schalen besitzen, so ist dieser Erklärungsversuch misslungen.

Die Büge der Falten sind im verschiedenem Masse zusammengedrückt worden, so dass die Winkel, welche die Schenkel der Falten mit einander bilden verschieden gross sind. Nach der Grösse der Winkel richten sich auch die Erscheinungen, welche durch Faltung hervorgebracht wurden, so dass man in dieser Hinsicht 2 Gruppen unterscheiden könnte:

1. Büge von grösserem Winkel als 60°;
2. Büge von kleinerem Winkel als 60°;

²⁴⁾ Spongienschichten im mittelböhm. Devon, Sitzgsber. kais. Akademie d. Wiss. Wien, 97. B. 1888.

²⁵⁾ Geologie von Böhmen, 1892. pag. 1016 und 1017.

Die Faltung der silurischen Schichten in der Barrandeschen Wand geschah durchwegs durch Bruch, also auf die erste von HERN angeführte Art. Schon mit blosem Auge, insbesondere aber bei Vergrößerung unter dem Mikroskope sind die Brüche überall deutlich zu sehen. Die nach Photographien gezeichneten Abbildungen einiger typischen Büge (Fig. 1—4) zeigen sehr gut die Mosaik, wie sie an den Querschnitten auftritt.

Nach REYER kann man zweierlei Brüche oder Sprünge unterscheiden:

1. axipetale, welche quer durch die Schichten verlaufen;
2. longitudinale, welche den Schichten entlang gelegen sind.

Bis auf eine Ausnahme, welche unten noch näher erörtert wird, sind die Sprünge jetzt durch sekundäres Absetzen von Kalkspat wieder ausgefüllt und zeigen so ihr hohes Alter an. Die Ausfüllung der Brüche ist in den Kalkschichten durchwegs aus Kalk, aber von verschiedener Farbe und Struktur.

Die die Sprünge ausfüllende Masse ist:

1) Ein weisser krystallinischer Kalkspat. So findet man es erstens bei den grössten axipetalen Brüchen direkt am oder nahe am Buge. Die krystallinische Struktur kommt oft durch die bekannte Streifung der Kalkitkrystale zum Ausdruck. Zuweilen sind einzelne Krystale verschieden orientiert und es kreuzen sich dann Systeme von parallelen Streifen. Diese Ausfüllung ist am deutlichsten da zu sehen, wo ihre weisse Farbe sich von der dunklen Farbe des Gesteins abhebt;

2. einige wenige enge Brüche erscheinen von dunklem Kalkspat erfüllt;

3. die longitudinalen Sprünge sind oft zu beiden, oder nur auf einer Seite von einem dunklen Streifen mit unregelmässigen Konturen begleitet. Im Dünnschliffe und unter dem Mikroskope besteht dieser Streifen aus einer feinen Breccie vom zertrümmerten Gestein (Taf. I., Fig. 2). Einzelne Partikeln sind im Durchschnitte eckig, oder auch rundlich, ziemlich hell und sind in dunklerer Masse, die durch feine Sprünge vollständig durchsetzt wird, eingebettet. An polierten Stücken erscheint dieser Streifen erdig und nimmt keinen Glanz an. Es ist dies die Reibungszone, welche ihr Entstehen der Bewegung der durch den Sprung auseinander getheilten Partien verdankt. Aus diesem Materiale bestehen auch die Harnische, welche hier, wie oben bemerkt wurde, sehr häufig auftreten. Diese Reibungszone ist in bedeutender, 1—3 cm mächtigen Lage in den äussersten Partien der Schichten

d. i. an den Schichtenfugen, kommt aber auch stellenweise im Innern der Schichte (Taf. I. Fig. 1.) an allen jenen Stellen vor, wo durch Sprung frei gewordene Teile derselben an einander sich bewegten.

Neben den hier angeführten Brüchen sieht man in den meisten Bügen noch einen anderen Sprung, welcher durch seine Kompliziertheit in den Durchschnitten gleich in die Augen fällt. Er ist sehr schmal, mit dunkler, feiner, brekzienartiger Masse ausgefüllt, die zuweilen den ganzen Bruch nicht erfüllt, so dass leere Stellen übrig bleiben. Dieser Umstand bezeugt, dass dieser Bruch von allen übrigen der jüngste ist. Er setzt auch ältere, mit weissem Kalkspat erfüllte Brüche durch. Sein Verlauf ist sehr kompliziert. Er fängt zwar ebenfalls in den Bügen an, verläuft aber dann im unregelmässigen Zickzack, indem er seitlich zahlreiche, wie gezähnte Lappen entsendet, so dass seine ganze Form am meisten der Lobenlinie eines Ammoniten ähnlich ist. Er setzt ältere Brüche durch, man kann jedoch sehr oft bemerken, dass er den krystallinischen Kalkspat, welcher die Sprünge erfüllt hat, umgeht. Dies lässt sich dadurch erklären, dass an diesen Stellen die Konsistenz des Gesteines am schwächsten war. Dieser feine Sprung endet an der Sohlfläche der Schichte und erscheint in der unteren Schichte gewöhnlich auf anderer Stelle. Der unregelmässige Verlauf dieses Sprunges ist sehr bezeichnend; er hält weder eine axiale, noch eine longitudinale Richtung ein.

Was das Alter der Brüche anbelangt, so könnte man unter den mit Kalkspat ausgefüllten Brüchen zweierlei Altersstadien erkennen, denn an manchen Stellen ist eine Verwerfung eines Bruches durch einen jüngeren Sprung erkenntlich. Die Zertrümerung des Gesteines war aber eine so weitgehende, dass eine Verbindung der Brüche gleichen Alters jetzt nicht mehr möglich ist. Es lässt sich nur die Altersdifferenz konstatieren, welche beweist, dass diese Schichten in den geologischen Zeiten zweimal hintereinander durch einen Falten bildenden Druck gelitten haben. Die erste Faltung war die bedeutend kräftigere und als ihr Resultat sind die ältesten, stellenweise verworfenen Brüche anzusehen. Die zweite jüngere Bewegung war geringer und hatte nur einzelne verwerfende Sprünge zur Folge. Die letzte Druckwirkung ist durch den engen lappenförmig gewundenen Sprung angezeigt und hat ausser diesen keine weiteren Folgen hinterlassen. Es ist deutlich zu sehen, dass zu dieser Zeit die Falten bereits vollständig herausgebildet waren und dass ihre Schichten in der neueren Zeit durch nicht starken Seitendruck leicht gesprungen sind.

Über die geologische Periode, in welcher die Druckäusserungen ihre Spuren in den Schichten hinterlassen haben, lassen sich naturgemäss nur Vermutungen aufstellen.

Die beiden ersten Bewegungen dürften wohl in das jüngere Palaeozoikum fallen, in die Zeit, welche die grössten Veränderungen und Schichtendislokationen in Böhmen aufweist, es sind dies das Karbon und das jüngere Perm. Was den letzten Sprung als Folge der jüngsten bedeutend schwächeren Bewegung anbelangt, so glaube ich ihm ein tertiäres Alter zuschreiben zu dürfen. Es ist wahrscheinlich, dass die mächtigen Bewegungen im Süden von Böhmen, die ihren Anfang im Oligocen genommen und zur Folge die Bildung der Alpen hatten, auch einen Einfluss auf die Nachbarländer ausgeübt haben. Dieser äusserte sich als seitlicher Druck und die Folgen dieses Druckes scheint mir eben der jüngste Sprung in Falten der obersilurischen Schichten zu sein.

Der Hornstein zeigt in den Bügen, die jedoch niemals in scharfe Winkel zusammengepresst sind, eine vollkommene Zertrümmerung. Er ist in Dünnschliffen braun, ziemlich hell, die zahlreichen Sprünge sind sehr dunkel gefärbt. Die Entstehung dieses Hornsteines lässt sich durch Zufuhr von Kieselsäure in die gewöhnlichen Tentakulkalksteine erklären. Es ist möglich, dass, wie KATZER bemerkt, diese Kieselsäure aus den Skeleten der Spongien herrührt, man sieht auch ziemlich oft Umrisse von Spongiennadeln, neben diesen aber auch rundliche Querschnitte von grösseren Schalen, die vielleicht infiltrierte und darum veränderte Gehäuse von Tentakuliten sind. Die Brüche in den Hornsteinschichten sind sehr zahlreich und verlaufen meist longitudinal.

Die ganze Schichte erscheint in longitudinale, am Buge hackenförmig gekrümmte Bänder zertrümmert. Die axipetalen Brüche sind nur dadurch angedeutet, dass einzelne longitudinale Bänder im Buge entzwei gesprengt sind und die eine Hälfte gewöhnlich etwas niedriger liegt als die andere. Die Ausfüllung der Sprünge besteht hier aus einer dunkelbraunen Hornsteinbreccie, welche an den am meisten zertrümmerten Stellen ein reiches Netzwerk bildet. (Taf. I, Fig. 6).

Die *axipetalen* Brüche in den Kalkschichten sind am besten entwickelt und die zahlreichsten. Die breitesten unter ihnen sind direkt am Buge und sind mit weissen krystallinischen Kalkspat ausgefüllt und stechen demzufolge scharf von dem dunklen Nebengestein ab. Gewöhnlich zeigen sie einen dreieckigen Durchschnitt und sind

mit der Spitze des Dreieckes nach Innen des Buges gerichtet, wogegen die breite Seite desselben aussen ist. Ihre Dimensionen stehen im nächsten Verhältnis mit der Mächtigkeit der Schichte, in welcher sie vorkommen. Drei von ihnen, voneinander etwa 5 mm entfernt haben diese Dimensionen: Die Schichte ist 18 mm dick und dieselbe Länge haben auch die Brüche. Sie fangen an der inneren

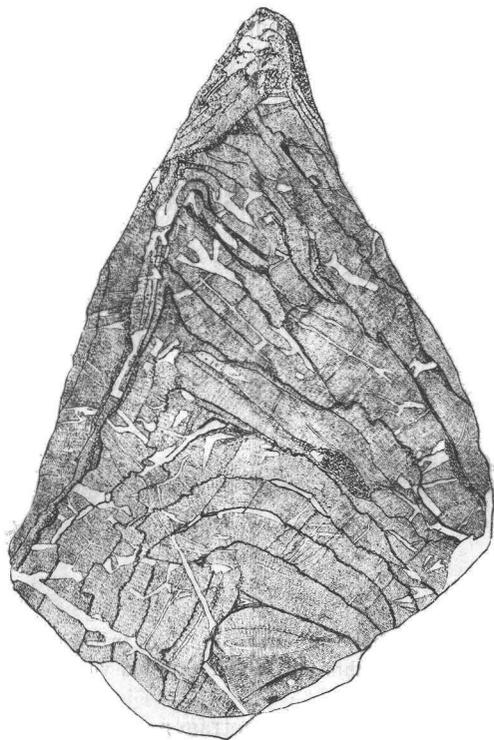


Fig. 1. Büge mit einem Winkel von etwa 50° . Die unterste Schichte besteht aus Hornstein, die übrigen aus Kalkstein. Etwa $\frac{1}{3}$ nat. Grösse.

Fläche des Buges mit einer feinen Spalte an, breiten sich gegen Aussen bedeutend aus und messen hier auf der äusseren Peripherie des Buges 4,5 und 10 mm. Neben diesen direkt am Buge sich befindenden axialen Brüchen gibt es noch viele, die etwas von der Mitte des Buges entfernt sind. Bei diesen wächst die Breite nach Aussen nicht so rasch. So bei einem 20 mm langen Bruch ist der innere Anfang 1 mm und das äussere Ende 2 mm. Die Brüche

einer Schichte sind gewöhnlich von denjenigen der Nebenschichte unabhängig. Die Brüche der höher liegenden Schichte setzen gewöhnlich an anderen Stellen an und verlaufen dann selbständig. In den Flügeln der Falten kommen die axipetalen Brüche nur vereinzelt vor und breiten sich gegen Aussen nur wenig oder gar nicht aus. Man kann in dieser Hinsicht bemerken, dass die rasche Ausbreitung der Brüche im geraden Verhältnis zur Krümmung der Schichten steht. Es ist dies leicht erklärlich, denn es ist naturgemäss, dass der grösseren Spannung, welche am äusseren Rande der stark gekrümmten

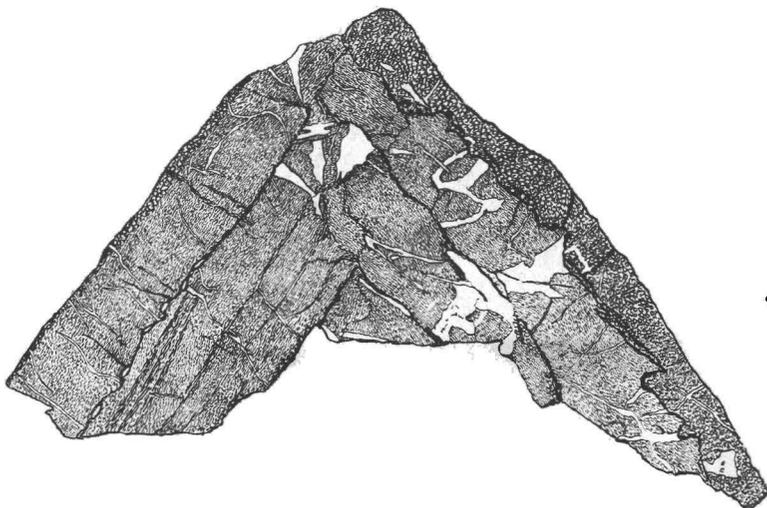


Fig. 2. Bug mit einem Winkel von etwa 80° . Die primären axipetalen Brüche sind gut entwickelt, rechts ein breiter Streifen von Reibungsbreccie.

Partien ist, dadurch Rechnung getragen wird, dass Sprünge sich nach Aussen erweitern. Darum sind die axipetalen Brüche die hauptsächlichsten Erscheinungen bei dem Falten der Schichten und sie sind es, welche in erster Reihe geeignet sind, die bei dem Faltungsvorgange nötige Erweiterung des äusseren Umrisses der Schichten hervorzubringen. Man könnte sie „primäre“ Brüche nennen, da sie in direkter Richtung die nötige Folge der Faltung der Schichten sind.

Als einen Übergang zwischen axialen und longitudinalen Brüchen könnte man jene Sprünge anführen, welche schräg durch die Schichten verlaufen. Sie sind nicht zahlreich, oft mit anderen axipetalen oder

longitudinalen verbunden und durch ungleiche Konsistenz der Schichten zu erklären.

Longitudinale Brüche, die in den Querschnitten mit den Schichtenfugen parallel verlaufen, spielen eine bedeutend geringere Rolle. Sie sind dadurch entstanden, dass eine Schichte bei der durch *Faltung* hervorgebrachten Bewegung der Länge nach geborsten ist. Aus dieser Entstehungsweise ist ersichtlich, dass die Dimensionen dieser Brüche von ziemlicher Länge, jedoch von geringer und gleich bleibender Breite sind. Die Masse eines solchen Bruches sind z. B.: in der Länge 40 mm, in der Breite 1 mm. Es sind das Brüche, welche direkt von dem das Falten der Schichten erzeugenden Drucke nicht herkommen, sie sind „sekundär“ durch den brüchigen Vorgang bei der Faltung zufällig entstanden und haben keinen Einfluss auf

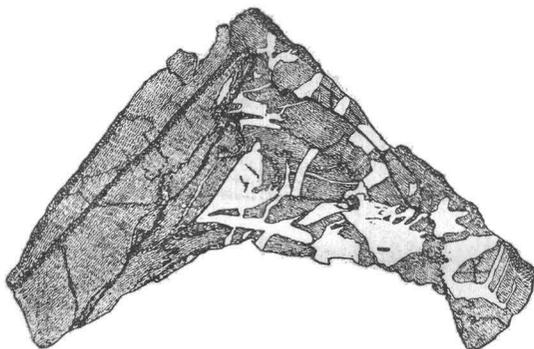


Fig. 3. Bug mit einem Winkel von etwa 90° mit durchgreifender Zertrümmerung des Kalksteines in der Biegung der Schichten. Der rechte Schenkel der Falte ist zur dünnen Lage ausgewalzt. In der Mitte des Buges verläuft ein gezackter feiner Sprung.

die Umformung des Gesteines in der Richtung, dem Drucke gemäss die Verteilung der einzelnen Gesteinspartikeln umzuändern. Sie tragen keineswegs dazu bei, den äusseren Umriss der sich faltenden Schichten breiter zu machen. Neben diesen typischen longitudinalen Brüchen gibt es zahlreiche andere von schräger Richtung, auch diese haben gleichfalls keinen direkten Einfluss bei der Krümmung der Schichten.

Dem Drucke gemäss sind die Winkel der Faltenflügel der Büge in Kalksteinschichten verschieden.

A) *Büge vom grösseren Winkel als 60° .* Die Veränderungen der Schichten sind hier die geringsten, einzelne Schichtenfugen verlaufen

regelmässig und nur dort, wo durch Bewegung der Schichten aneinander an Fugen ein Streifen von Reibungsbrekie entstand, wird die Fuge zu einer gewundenen, oft in Zickzack verlaufenden Linie. Von den Sprüngen sind hauptsächlich die axipetalen Brüche vertreten, die gegen die Sohlfläche der Schichte sich verengen, in umgekehrter Richtung gegen die Dachfläche ganz regelmässig sich erweitern. Dies erklärt sich, wie bereits bemerkt wurde, dadurch, dass bei der Faltung der Schichten die grösste Spannung an der Dachfläche der Schichte bestand. Der Betrag der Spannung lässt sich durch Zahlen ausdrücken. Wenn eine 3 cm dicke Schichte in einem Winkel von 60° sich biegt, so verlängert sich der äussere Umriss derselben etwa um das zweifache der ursprünglichen, der ungefalteten Schichte

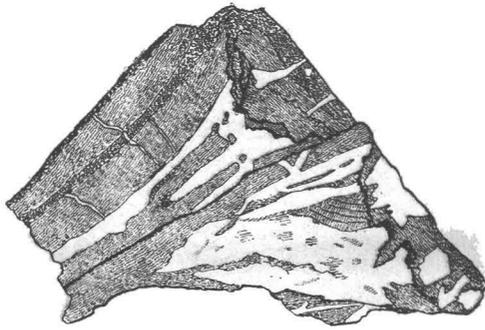


Fig. 4. Bug aus derselben Falte, etwa 5 cm vom vorigen (Fig. 3) entfernt. Die rechte Seite der unteren Schichte durch Auswäzung teilweise vernichtet.

eigenen Länge. Dieser Verlängerung wird in den meisten Fällen auf die Weise Rechnung getragen, dass die äussere Partie durch Sprünge zerplatzt und die so entstandene Klüfte durch weissen Kalkspat erfüllt werden. Die weissen Adern breiten sich gegen Aussen bedeutend aus. In einem in Fig. 2 abgebildeten Falle werden auf diese Weise etwa 80% der nötigen Erweiterung des äusseren Umrisses ausgeglichen.

Ein anderer Fig. 3 u. 4 abgebildeter Bug mit einem Winkel von 90° zeigt eine vollständige Zertrümmerung der am äusseren Umriss liegenden Partien. Bei der Faltung entstanden sehr zahlreiche und breite Sprünge, welche gleichfalls mit weissen Kalkspat erfüllt sind. Viele von ihnen haben eine axipetale Richtung, andere sind aber vollkommen unregelmässig, welcher Umstand sich durch

eine andere hier vorkommende Erscheinung, die Auswalzung der Schichten, welche weiters noch näher besprochen wird, erklärt.

Büge vom kleineren Winkel als 60° . Diese zeigen durchwegs eine bedeutende Zertrümerung der Schichten, insbesondere in der Mitte des Buges. Als ein sehr interessantes Beispiel sei hier das Fig. 1. abgebildete Exemplar näher beschrieben.

Dasselbe zeigt zusammen 12 Schichten, die untersten sind nur wenig verbogen, die obersten in einen scharfen Winkel eingezwängt. Die Ursache dieser verschieden mächtigen Biegung liegt in der Gesteinsbeschaffenheit der Schichten.

Die unterste, nur mit kleinem Bruchteile in der Abbildung vertretene Lage ist von Hornstein, die oberen sind aber aus Kalkspat. Die harten kieseligen Schichten haben einen bedeutenderen Widerstand der durch Faltung entstandenen Bewegung geleistet und sind demnach auch nur ganz wenig gebogen. Von der Hornsteinschichte gegen das obere Ende schreitet die Faltung in zunehmender Weise fort und war Ursache der vielfachen Zertrümerung der Kalkschichten.

Die dem Hornsteine am nächsten liegenden Kalkschichten sind ebenfalls nur leicht gebogen, sie sind aber geborsten und ihre Teile verschoben. Weiters nach oben wird der Winkel des Buges immer kleiner und im gleichen Schritt wird auch die Zertrümerung der Schichten immer grösser. Zugleich erscheint hier das unter dem Namen Auswalzung bekannte Phänomen, welches unten noch näher beschrieben werden wird. Im Buge sind nur Teile der Schichten erhalten, ganze Stücke sind zerstört und auch zermalmt. Die regellose Zertrümerung ist schon an den sehr zahlreichen Brüchen bemerkbar. Die Brüche verlaufen im Ganzen unregelmässig, einige von ihnen sind allerdings typisch axipetal und oft sieht man auch die nach Aussen fortschreitende Erweiterung derselben; neben diesen sind aber auch Sprünge die in allen Richtungen verlaufen. Manche sind im longitudinalen Sinne gerichtet und sehr fein und mit anderen, zuweilen axipetalen verbunden. Weiters kommen noch viele andere Brüche vor, welche schräg verlaufen oder überhaupt im Verhältnisse zu den Schichtenfugen unregelmässig orientiert sind. Interessant ist ein langer axipetaler und 7 Schichten in gerader Richtung durchsetzender Bruch, welcher die Ursache einer kleinen Verwerfung war. Die unterhalb desselben fortschreitenden Schichtenfugen sind um wenig nach rechts verschoben. Die ganze Faltung ging in der Weise vor sich, dass einzelne Schichten selbständig beweglich waren

und gegen ihre Nachbarn sich verschieben konnten. Das ist daraus zu entnehmen, dass die Schichtenfugen verhältnismässig breit erscheinen und nebstdem Streifen von Reibungsbreccie zeigen.

Liessen sich die durch Faltung hervorgebrachten Umgestaltungen der Schichten auf natürliche Weise, nämlich durch Bruch leicht erklären, so ist es nicht der Fall, wenn man den Vorgang bei Auswalzungen beleuchten will. Die *Auswalzung* oder *Ausdünnung* der Schichten findet in den Flügeln der Falten dort statt, wo der Gebirgsdruck am meisten wirkt, hier wird die Schichte zu einer dünnen Lage zusammengequetscht, wogegen sie an den Stellen des verminderten Druckes wieder anschwillt. Auf den ersten Blick lässt sich diese Erscheinung schwer durch eine mit Bruch verbundene Umgestaltung erklären.

Allerdings ist es angezeigt bei dem Umstande, als alle anderen die Faltung begleitenden Erscheinungen ihre Erklärung in der Umformung durch Bruch finden, nicht gleich für dieses einzige Phänomen einen anderen Ursprung zu suchen.

Die Abb. Fig. 1. gibt ein sehr schönes Beispiel einer solchen Auswalzung. Die linken Flügel der Falten in der oberen Hälfte des Exemplares sind in sehr dünne Lagen ausgepresst. Die rechten Flügel der 4 am meisten in dieser Richtung veränderten Schichten haben zusammen eine Mächtigkeit von etwa 6 cm. Auf der linken Seite ist die Dicke der Flügel dieser 4 Schichten nicht ganz 1,5 cm, es wurde somit die Masse der Schichten hier um 4,5 cm, das ist um 75% der ursprünglichen Mächtigkeit vermindert. Besondere Merkmale dieser gewiss sehr durchgreifenden Umgestaltung sind mit blossen Auge jetzt im Gestein nicht bemerkbar. Man sieht nur das Breiterwerden der Fugen und dann die zahlreichen Streifen von Reibungsbreccien. Auch die unteren nur schwach gebogenen Schichten zeigen in der Richtung eine Auswalzung, dass einige von ihnen an bestimmten Stellen sehr dünn werden.

Die Fuge bildet hier rechtwinkelig abgegrenzte Ausläufer, welche in die nachbarliche Schichte eindringen und so dieselbe beträchtlich verengen. Diese Form der auslaufenden Fuge ist typisch für diese Erscheinung und gibt meiner Ansicht nach den Beweis, dass die Auswalzung nicht allmählig fortschreitend vor sich ging, sondern ebenfalls rapturell stattfand. In einer plastischen Masse würde die Verengung einer Lage langsam vor sich gehen und die Fugen würden höchstens flach wellig verlaufen aber keinesfalls solche rechtwinkelige „Bruchstufen“ bilden.

Diese Bruchstufen sind in ganzem Verlaufe der Schichtfuge vorhanden, gewöhnlich sind sie gross genug, um schon mit blossen Auge bemerkt zu werden, zuweilen sind sie aber von mikroskopisch geringen Dimensionen. (Taf. I., Fig. 3 und 4.) Dieser Umstand beweist zur Genüge, dass hier durch Bruch die ganze Struktur des Gesteines bis in die kleinsten Partikel eine Umänderung erleidet.

An einem anderen Exemplare konnte durch Anfertigung mehrerer paralleler Schnitte das Fortschreiten der Auswalzung gut beobachtet werden. Die Abb. 3 und 4 rühren von einem und demselben Exemplare her und wurden durch 2 parallele Schnitte erlangt, welche nur 5 cm voneinander entfernt sind.

In dieser verhältnismässig unbedeutender Länge der Falte hat sich die äussere Form der am Buge sich befindenden Schichten bedeutend verändert.

In Abb. 3 ist der linke oberste Flügel etwa $2\frac{1}{2}$ cm dick, gegen oben verschmälert er sich etwas und wird von einem longitudinalen Sprung in seiner Mitte durchsetzt; der rechte Flügel ist durch zahlreiche und grosse Brüche unregelmässig zertrümmert. Am rechten Rande sieht man den rechten obersten Flügel nur noch durch einen mit zackig verlaufendem Sprung eingesäumten Streifen erhalten. Die äussere Partie dieses Flügels ist in Reibungsbrekcie umgewandelt, In Abb. 4 derselben Tafel ist der oberste linke Flügel bedeutend breiter, etwa 4,5 cm, was durch verzweigte ausgedehnte Brüche sich erklärt.

Der untere Teil des rechten Flügels ist aber vollkommen ausgewalzt. Die untere Schichte selbst mächtig zertrümmert, wie dies die zahlreichen Brüche beweisen, presste den linken Flügel der obersten Schichte vollständig aus, so dass derselbe hier wie abgeschnitten ist. Dieses Beispiel gibt den besten Beweis, dass mit der Auswalzung die eingreifende Zertrümmerung der Masse einherschritt. Das Material des so vernichteten rechten Flügels der obersten Schichte wurde zur Reibungsbrekcie und verwandelte sich in einen Harnisch, dessen Spuren noch gut erhalten sind. In den Dünnschliffen der noch erhaltenen Partie des rechten Flügels verlaufen in Kalksteine zahlreiche feine meist longitudinal orientierte Sprünge, welche auch die Tentakulitschalen durchsetzen. (Taf. I., Fig. 5.)

Die ganze Masse dieser Partien erscheint vollkommen zertrümmert und in eine durch Zehrung der Schichten hervorgebrachte „Schleppungsbrekcie“ verwandelt, die sich von der oben angeführten „Reibungsbrekcie“ wohl unterscheidet.

Einzelne zertrümmerte Gesteinspartikeln sind scharfeckig langgezogen und durch haarfeine Risse abgeteilt, so dass auf den ersten Blick zu sehen ist, dass diese Partie einer Reibungsbewegung nicht ausgesetzt war. Diese hätte die Schleppungsbrekcie in eine Reibungsbrekcie umgewandelt.

Auch lässt sich die Schleppungsbrekcie in den Querschnitten polieren und unterscheidet sich in dieser Hinsicht keineswegs von dem übrigen Gestein.

Eine ganz ähnliche Zertrümmerung des Gesteines ist jedem, welcher Dünnschliffe von weichem Kalkstein gefertigt, sehr gut bekannt. Wenn der Kanadabalsam, welcher das Gesteinsplättchen am Objektivträger festhält, nicht vollständig erhärtet ist, so dass er bei der bekannten Probe den Eindruck des Nägels, wenn auch erst bei Anwendung bedeutenderer Kraft zulässt, so geschieht es oft, dass der dünne Schliff in zahllose kleine scharfkantige, die eigentliche Struktur vollkommen verwischende Trümmer zerspringt. Die Ähnlichkeit dieser unliebsamen Erscheinung mit der beschriebenen Struktur der Schleppungsbrekcie in den ausgewalzten Schichten ist eine sehr grosse und überraschende. Dadurch ist die Art der Umformung beim Auswalzen der Schichten genügend erklärt.

Die hier beschriebenen Untersuchungen der dynamischen Erscheinungen in den gefalteten und ausgewalzten silurischen Schichten der Barrandeschen Wand hatten also diese Endresultate:

1. Die Faltung der Kalkschichten in diesem Fundorte wurde von der Umformung durch Bruch begleitet. In den Bügen von grösseren Winkeln sind es in erster Reihe die „primären“, das ist die axialen Brüche, welche die nötige Erweiterung der Dachfläche der Schichten bewerkstelligen; in den Bügen von kleineren Winkeln ist das Gestein bedeutender zertrümmert.

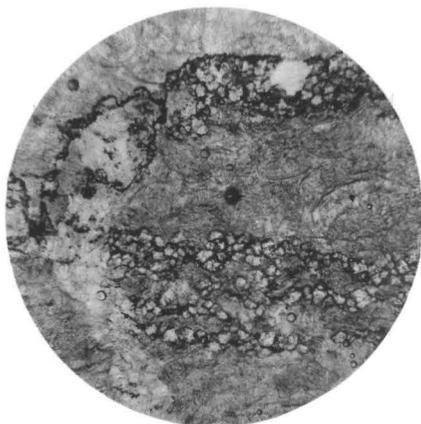
2. Die Hornsteinschichten leisteten einen grösseren Widerstand der Faltungsbewegung als die Kalkschichten und erscheinen darum auch nur in weite Winkel gebogen.

3. Die Faltung der Hornsteinschichten geschah durch vollkommene Zertrümmerung der Lagen in der Nähe des Buges. Die „primären“ oder axialen Brüche sind hier typisch nicht entwickelt; die Flügel der Falten erscheinen in longitudinale Stücke gesprengt, die in der Nähe des Buges nochmals geborsten sind.

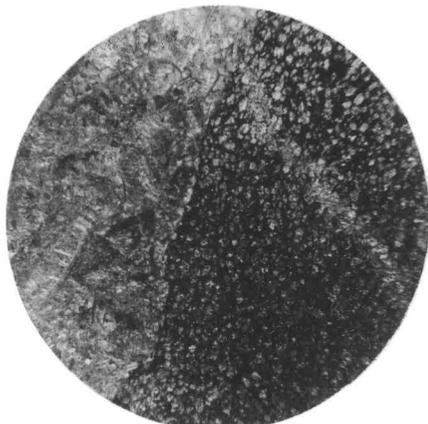
4. Die Auswalzung, Ausdünnung der Kalkschichten ging ebenfalls ruptuell vor sich. Das dieser dynamischen Kraft ausgesetzte Gestein wurde in eine „Schleppungsbrekcie“ mit scharfkantigen, von feinen Rissen umgezäumten Partikeln verwandelt. Die äussersten Partien dieser Schleppungsbrekcie wurden durch Bewegung der Schichten aneinander zur Reibungsbrekcie mit kugeligen Partikeln, welche von tonigen Lagen umgeben sind. Die Schichtenfugen solcher ausgedünnten Flügel zeigen rechtwinkelige Ausläufer, sog. „Bruchstufen“, mit welchen die Schichte in die nachbarliche eindringt.

Tafelerklärungen.

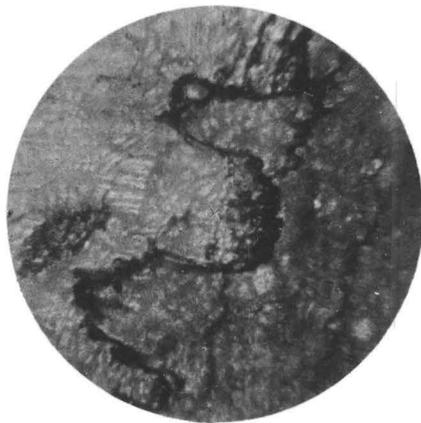
- Fig. 1. Reibungsbrekcie in der Mitte der Schichte aus kugeligen durch dunkle Tonlagen abgetheilten Gesteinspartikeln. (Im Dünnschliffe sind einige Luftbläschen.)
- Fig. 2. Reibungsbrekcie aus der äusseren Partie der Schichte direkt an dem mit Tentakulitgehäusen erfüllten Kalkstein.
- Fig. 3. Mikroskopische Bruchstufen an der Grenze der ausgedünnten Lage. In dieser sind (rechts) vertikal zur Druckrichtung verlaufende zackige Sprünge.
- Fig. 4. Mikroskopische Bruchstufen.
- Fig. 5. Schleppungsbrekcie in der ausgewalzten Gesteinslage; die feinen Risse, durch welche das Gestein zersprungen ist, verlaufen zueinander parallel, und auf die Druckrichtung senkrecht.
- Fig. 6. Ein Bruchstück des zertrümmerten Hornsteines von beiden Seiten durch Reibungsbrekcie eingesäumt.
- Fig. 2. in 24facher, die übrigen in 42facher Vergrößerung.
-



1.



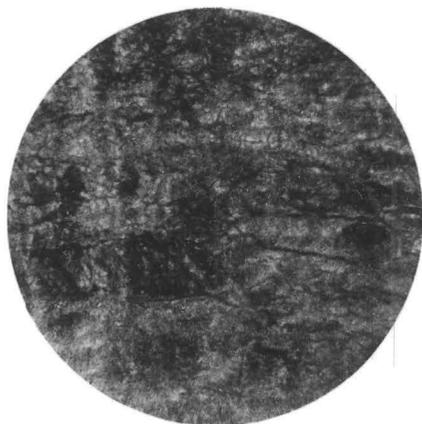
2.



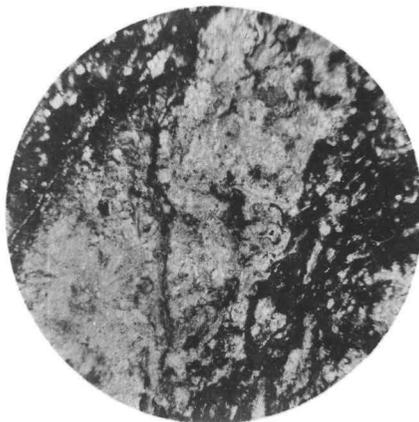
3.



4.



5.



6.