

# 7. Zur Kenntnis der Mylonitbildung, erläutert an material aus dem Kebnekaisegebiet.

Von

**Percy Quensel.**

(Hierzu Pl. IV—VII.)

---

## **Inhalt.**

### **Einleitung.**

### **Nomenklatur und Struktur der mechanisch zertrümmerten Gesteine.**

*Allgemeine Übersicht.*

*Einteilung der Mylonite des Kebnekaisegebietes.*

*Kakirite.*

*Mylonitgneiss.*

*Mylonite und Mylonitschiefer.*

*Ultramylonite und Hartschiefer.*

### **Chemische Veränderungen bei der Mylonitbildung.**

*Chemische Veränderungen bei den Mylonitgneissen und Myloniten.*

*Chemische Veränderungen bei den Ultramyloniten und Hartschiefern.*

### **Die Bildungsbedingungen des Hartschiefers.**

## **Einleitung.**

Es dürfte eine allgemein bekannte und anerkannte Tatsache sein, dass kataklastische Gesteine in grosser Verbreitung an dem Aufbau der lappländischen Gebirgskette teilnehmen und dass die richtige Deutung

dieser Gesteinsgruppe für die ganze Auffassung der Gebirgstektonik in vielen Fällen ausschlaggebend sein muss. Man ist wohl heutzutage auch darüber einig, dass die verschiedensten Glieder der Gebirgsformation diesem mechanischen Zertrümmerungsprozess unterworfen werden können, und dass also die Benennungen kataklastische Gesteine, Mylonite, Kalkite, harte Schiefer etc., mit denen die betreffenden Gesteine bei verschiedenen Gelegenheiten belegt worden sind, eigentlich nur als Strukturbezeichnungen aufzufassen sind. Die kataklastisch deformierten Gesteine haben ihre Entstehung einem ganz bestimmten tektonischen Prozesse zu verdanken, und müssen deswegen an das Aktionsgebiet dieser Vorgänge gebunden sein. Gesteine weit verschiedenen Ursprungs können aber dabei oft eine durch die mechanische Deformation unter sonst einheitlichen äusseren Bedingungen hervorgerufene strukturelle Ähnlichkeit bekommen, die ihrerseits leicht zu einer Überschätzung der geologischen Einheitlichkeit der ganzen Formation führen kann, und ihre Anwendung nicht nur als einen tektonischen, sondern als einen stratigraphischen Horizont zur Folge haben würde.

Andererseits ist es eine bekannte Tatsache, dass sich der richtigen Auffassung über die Entstehung der kataklastischen Gesteine oft ganz besondere Schwierigkeiten entgegenstellen. Im Felde können die Gesteine im allgemeinen nicht mit Sicherheit bestimmt werden. Aber auch unter dem Mikroskop lässt sich nicht immer ein sicheres Urteil bilden. Die primären Strukturen sind bei stärkerer Deformation oft vollkommen verwischt, und sichere Anhaltspunkte für eine Ursprungsbestimmung sind weder aus der Mineralzusammensetzung noch aus der chemischen Zusammensetzung des Gesteines zu gewinnen.

Seit einigen Jahren mit geologisch-petrographischen Studien in dem Kebnekaisegebiet beschäftigt, stellte ich mir von Anfang an die Aufgabe, die verschiedenen an dem Gebirgsbau teilnehmenden Gesteinsformationen einer möglichst genauen petrographischen Untersuchung zu unterwerfen, um jeden Anhaltspunkt für eine Ursprungsbestimmung auszunützen und dadurch einen sichereren Ausgangspunkt für stratigraphische und tektonische Schlussfolgerungen zu gewinnen, als nur eine äussere strukturelle Ähnlichkeit gewisser Gesteinsglieder bieten könnte. Selbstverständlich nahmen dabei die kataklastischen Gesteine der Überschiebungsregionen besondere Aufmerksamkeit in Anspruch, und da ich bei dem Studium der strukturellen Deformation sowie bei Untersuchungen über die chemischen Veränderungen und Mineralneubildung bei der mechanischen Zertrümmerung mit einigen Fragen in Berührung kam, die zu Meinungsverschiedenheiten unter Fachgenossen Anlass gegeben haben, und deren endgültige Beantwortung von aktuellem Interesse sein dürfte, habe ich einige meiner Ergebnisse auf diesem Gebiete in folgenden Zeilen zusammenstellen wollen.

## Nomenklatur und Struktur der mechanisch zertrümmerten Gesteine.

### Allgemeine Übersicht.

Weil Nomenklatur und Struktur bei der mechanischen Deformation in engster Beziehung zu einander stehen, werden damit zusammengehörige Fragen unter einer gemeinsamen Rubrik behandelt.

Die meisten Verfasser, die sich mit den kataklastischen Gesteinen und der geologischen Bedeutung derselben beschäftigt haben, erwähnen mehrere verschiedene, wenn auch durch Übergänge verbundene Modifikationen der ohne durchgreifende Umkristallisation sich vollziehenden dynamischen Metamorphose.

Schon im Jahre 1885 hat LAPWORTH<sup>1</sup> eine Zweiteilung für die verschiedenen Typen der Gesteinsmetamorphose im Eriboll-gebiet angegeben. Er unterscheidet dabei Mylonite und 'augen-schists', und gibt für die beiden Gruppen folgende Definitionen an: »While the mylonites may be described as microscopic pressure-breccias with fluxion-structure, in which the interstitial dusty, siliceous and kaolinitic paste has only crystallised in part, the augen-schists are pressure-breccias with fluxion-structure, in which the whole of the interstitial paste has crystallised out. The mylonites were formed along thrust planes, where the two superposed rock-systems moved over eachother as solid masses; the augen-schists were probably formed in the more central parts of the moving system, where the all-surrounding weight and pressure forced the rock to yield somewhat like a plastic body. Between these augen-schists there appears to be every gradation on the one hand to the mylonites and on the other to the typical mica-schists, composed of quarts and mica.»

Vor 30 Jahren hat LAPWORTH also zwei verschiedene Typen der kataklastischen Gesteine erkannt und kurz definiert. Der Mylonitbegriff hat seitdem eine allgemeinere Verbreitung gewonnen, wird aber von verschiedenen Verfassern ziemlich verschieden aufgefasst. Um künftige Missverständnisse womöglich zu vermeiden, werde ich hier einleitungsweise auf die Nomenklaturfrage etwas näher eingehen und in aller Kürze und ohne Anspruch auf Vollständigkeit die verschiedenen Auffassungen einiger Verfasser über den Mylonit-begriff und die Mylonitisierungsprozesse im allgemeinen wiedergeben.

Am ausführlichsten beschreibt vielleicht TERMIER<sup>2</sup> 'tous les passages entre le granite presque sain et les mylonites les plus singulières' aus

<sup>1</sup> Nature 1885, p. 559.

<sup>2</sup> Compte Rendus des séances de l'Academie des Sciences, Tome 152 (1911), p. 1550.

dem Savonne-gebiet. Folgende Stadien der Mylonitisierung werden dabei unterschieden:

1. Granite fissuré et brecciforme.
2. Granite incomplètement écrasé, laminé.
3. Laminage plus intense.
4. Écrasement incomplet sans laminage.
5. Écrasement plus complet. Aucun mineral n'ai vraiment discernable à l'œil nu.
6. Purée parfaite.
7. Laminage de la purée precedente.

Neben TERMIER hat wohl STAUB<sup>1</sup> sich am eingehendsten mit der Systematik der Mylonitgesteine beschäftigt. STAUB benützt den Begriff Mylonit nur für Eruptivgesteine und kristalline Schiefer, nicht für Sedimente, und fasst seine Auffassung über Mylonitbildung im allgemeinen folgendermassen zusammen: »Die Mylonitbildung ist nicht als ein Akt der eigentlichen umkristallisierenden und ummineralisierenden Metamorphose zu bezeichnen, sondern nur als rein mechanische Gesteinsumformung, bei welcher Zertrümmerung und insbesondere Auswalzung eine bedeutende Rolle spielen. Wo die Auswalzung fehlt, können die Gesteine ebenso wohl als kataklastisch bezeichnet werden. Mylonite sind immer geschieferte Gesteine.« STAUB unterscheidet bei seinen Granitmyloniten aus dem Berninagebirge 6 Typen, deren strukturelle Kennzeichen folgendermassen charakterisiert werden:

	<i>Struktur.</i>	<i>Textur.</i>
Typus A	klasto-granitisch brecciös.	sehr schwach lentikular.
» B	porphyroklastisch.	schwach lentikular.
» C	grob-mylonitisch.	lentikular.
» D	fein-mylonitisch.	wellige, geflammte Lagentextur.
» E	ultra-mylonitisch.	lineare Lagentextur.
» F	ultramylonitisch.	helicitisch.

Bei z. B. den Monzonitmyloniten fehlt bei dem Mangel an spröden Gemengteilen Typus A.

KÖNIGSBERGER<sup>2</sup> teilt die »durch Dislokationsmetamorphose ohne Intrusion entstandenen kristallinen Schiefer« in Mylonite und dynamo- oder regionalmetamorphe Schiefer, und unterscheidet je nach der Ausbildung 'Schiefermylonite' und 'Mylonite ohne Paralleltextur'. Eine nähere Definition des Mylonitbegriffes wird nicht gegeben. In einem grossen Teil

<sup>1</sup> Vierteljahrschr. d. Naturf. Gesellsch. in Zürich, Bd 60 (1915), p. 71.

<sup>2</sup> Comptes Rendu. Congr. Int. géologique. Stockholm, 1910, Bd I, p. 667.

der 'Epidot, Chlorit oder Sericit vorwiegend führenden Glimmerschiefer', die durch horizontale oder vertikale Verschiebungen entstanden seien, werden Übergänge zwischen Myloniten und 'dynamometamorphen Schiefeln' vermutet.

Eingehend hat HOLMQUIST<sup>1</sup> sich mit den kataklastischen Gesteinen des Torneträskgebietes beschäftigt. Die betreffenden Gesteine werden unter dem Namen kataklastische Gesteine und Mylonite als Synonyme beschrieben; die mehr oder weniger deutlich geschichteten und schiefrigen Gesteine von hällflintähnlichem oder quarzitähnlichem Aussehen sind als s. g. Hartschiefer zusammengefasst, deren geologisches Entstehen noch als rätselhaft und unaufgeklärt angegeben wird. Während HOLMQUIST 1903 geneigt war, die Hartschiefer überwiegend als mylonitisierte Eruptive des Grundgebirges aufzufassen, drückt er sich 1910 vorsichtiger aus und will die Schichtung wenigstens zum grössten Teil als eine primäre, sedimentäre Schichtung deuten.

Da die Hartschiefer des Torneträskgebietes in so vielen Beziehungen dem vorliegenden Material aus Kebnekaise nahe stehen und da es ganz besondere Schwierigkeiten bietet, ihre genetische Stellung zu entziffern, werde ich die wichtigsten Momente von HOLMQUIST'S Ergebnissen kurz wiedergeben.

Es handelt sich dabei hauptsächlich um die genetische Stellung der 'geschichteten Hartschiefer'. Es sei vorausgeschickt, dass diese Gesteine dichte, hällflintähnliche Gesteine sind mit einem oft vollkommen quarzitähnlichen Aussehen. Unter dem Mikroskope erwiesen sie sich als quarz- und feldspatreiche Gesteine mit einem wechselnden Gehalt an Glimmermineralien. Über seine erste Auffassung von der genetischen Stellung der Hartschiefer schreibt HOLMQUIST:<sup>2</sup> »Ich ging dabei von der durch mehrere Umstände gestützten Auffassung aus, dass die Hartschiefer geschieferte Mylonite seien. Für diese Auffassung sprach das Zusammenauftreten der beiden Gesteine im Felde, wie auch die Schwierigkeit bestimmte Grenzen zwischen denselben zu finden, ferner die Tatsache, dass nach chemischen Analysen keine wesentliche Verschiedenheit in der Zusammensetzung solcher Gesteine und derjenigen gewöhnlicher Granite zu bestehen schien. Auch in der Struktur zeigen die Hartschiefer, der gebänderte Typus nicht ausgenommen, starke mechanische Deformationen, die es mir wahrscheinlich machten, dass die Hartschiefer Endprodukte der dynamischen Metamorphose seien. In Übereinstimmung hiermit wurde die sehr regelmässige Schichtstruktur der Hartschiefer am Abisko und in anderen Gebieten, wenn auch mit einigem Bedenken, als metamorphische Druckstruktur aufgefasst. Die Litteratur der regionalmetamorphischen Gebiete der Welt enthält mehrere Beispiele dafür, dass Schichtenstrukturen, gleich regel-

<sup>1</sup> Geol. För. Förh., Bd 25 (1903), p. 27 und 373, Bd 32 (1910), p. 938.

<sup>2</sup> Geol. För. Förh., Bd. 32 (1910), p. 948.

mässig wie diejenige des Abisko-Hartschiefers entwickelt, als durch Druck entstanden gedeutet worden ist.»

Gegen die Auffassung der Hartschiefer als druckmetamorphe massive Gesteine führt HOLMQUIST andererseits an 1. die grosse horizontale Ausbreitung; 2. den Umstand, dass sie regelmässig von Kalkstein überlagert werden; 3. die Einlagerungen von Dolomit und die enge geognostische Verbindung mit Quarzit; 4. die Regelmässigkeit der Schichtenstruktur, »dass sie kaum durch irgend einen anderen Vorgang als durch sedimentäre Wechsellagerung hat entstehen können«, und schliesst »angesichts dieser geologischen und petrographischen Tatsachen«, dass es nicht angenommen werden kann, »dass der schichtige Hartschiefer durch Dynamometamorphose aus massigen Gesteinen entstanden ist«.

HAMBERG<sup>1</sup> und GAVELIN<sup>2</sup> haben in vorläufigen Berichten ihre Ergebnisse über Gesteine und Tektonik im Sarek- und Routivaaregebiet mitgeteilt. Eine kurze Beschreibung der mechanischen Zertrümmerung der Eruptive des Rapatales gibt HAMBERG in folgenden Worten: »Die leiseste Metamorphose zeigen diejenigen zahlreichen Gesteine, die nur dünne Quetschzonen an Sprüngen oder auf den Grenzen zwischen den Mineralkörnern erkennen lassen. Bei fortschreitender Kataklyse bekleiden sich die Sprünge mit Muskovit, Biotit, Amphibol, Chlorit usw. Die stärkste Umwandlung zeigen die vollständig verschieferten Gesteine, in denen Ortoklas, Mikroklin, Kalinatronfeldspat und Augit fehlen, aber Muskovit, Albit, Zoisit und Hornblende auftreten. Es gibt solche Schiefer, die eine so vollkommene plane Parallelstruktur zeigen, dass man sie vielleicht als sedimentär ansehen könnte, wenn man ihren genetischen Zusammenhang mit den gleich zusammengesetzten Eruptivgesteinen nicht kennte.«

Aus vorstehenden Zitaten dürfte deutlich hervorgehen, dass sowohl in der Nomenklaturfrage der kataklastischen Gesteine als auch in der Deutung der Strukturen wenig Einigkeit herrscht. Wo der eine Verfasser eine Verschieferung als charakteristisches Merkmal für die Mylonite angibt, sehen andere gerade in der Richtungslosigkeit der Zertrümmerung die spezifischen Eigenschaften der Mylonitisierung. Während HOLMQUIST Mylonite und kataklastische Gesteine als Synonyme gebraucht, nennt STAUB die verschieferten Zertrümmerungsprodukte Mylonite und reserviert den Begriff kataklastisch für unverschieferte Zermahlungsprodukte.

Ehe ich zu einer näheren Einteilung der besonders im Kebnekaisegebiet vorkommenden Typen der kataklastischen Gesteinsumformung übergehe, werde ich versuchen, die allgemeinen Gesichtspunkte kurz zusammenzufassen, die bei einer Systematisierung dieser Gesteinsgruppe in Betracht kommen, und die heutzutage in groben Zügen wohl eine ziemlich allgemeine Anerkennung beanspruchen können.

<sup>1</sup> Geol. För. Förh., Bd 32 (1910), p. 703.

<sup>2</sup> Ibid., Bd 37 (1915), p. 17.

Zuerst muss dann festgestellt werden, dass jedes Gestein einer Mylonitisierung unterworfen werden kann. Mylonite (und gleichgestellte Namen) müssen also als strukturelle Sammelnamen benutzt werden, die Gesteine verschiedensten Ursprungs, die durch kataklastisch-metamorphe Vorgänge einen einheitlichen Habitus erhalten haben, umfassen. Die Benennung wird dadurch keine genetisch-systematische Bedeutung beibringen und muss natürlich für eine stratigraphische Einteilung ohne Bedeutung sein; sie wird vielmehr nur darauf hinweisen, dass eine einheitliche mechanische Metamorphose grosse Gebiete unter sonst gleichen äusseren Bedingungen getroffen hat und den an dem Aufbau teilnehmenden Gesteinen verschiedensten Ursprungs einen einheitlichen Charakter verliehen hat.

Zweitens muss hervorgehoben werden, dass unter dem Begriff kataklastische Gesteine, Mylonite etc. nur solche Gesteine zusammengefasst werden, die der reinen mechanischen Zertrümmerungsmetamorphose unterworfen worden sind, ohne dass eine Umkristallisation der Gesteinsgemengteile die metamorphe Struktur beherrscht. Dabei darf man aber nicht glauben, dass die Mylonite aller Umkristallisationserscheinungen entbehren; oft ist im Gegenteil eine partielle Umkristallisation auch bei typischen Beispielen einer Mylonitisierung vorhanden. Zwischen der rein mechanischen Zertrümmerung und der unter vollständiger Umkristallisation sich vollziehenden Metamorphose ist deswegen jeder Übergang nachweisbar. Sogar in demselben Dünnschliff zeigen die Feldspäte oft noch mit aller Deutlichkeit die Einwirkung der Kataklastik, während Quarz und die femischen Mineralien schon unter Umkristallisation oder Mineralneubildung die Metamorphose durchgemacht haben.<sup>1</sup>

Die Grenze zwischen Mylonitisierung und Kristallisationschieferung ist deswegen ziemlich willkürlich. In der Tat muss es auch so sein, wenn nicht nur die Art der Metamorphose sondern auch die chemische Zusammensetzung des Gesteines für die strukturellen Veränderungen massgebend werden. Jeder im Gebirge arbeitende Geologe hat sicher oft genug die Erfahrung gemacht, dass, wo zufälligerweise ein basischeres Gestein unter typischen Granitmyloniten vorkommt, man gern ein kristallisationschiefriges Gestein bekommt. Die Metamorphose hat sicherlich auf beide Gesteine einheitlich gewirkt, aber Verschiedenheiten in der Zusammensetzung haben eine verschiedene Deformation des Gesteines hervorgerufen.

---

<sup>1</sup> Schon HORNE und TEALL (Mem. Geol. Surv. of Great Britain. Geol. structure of North-west Highlands (1907), p. 598) haben diese Erfahrung in folgenden Worten zum Ausdruck gebracht: »The mylonitic type may be regarded as characteristic of the zone of fracture and the granulitic type as characteristic of the zone of flow, but neither the two types nor the two zones are sharply separated from one another, for . . . quarts may be in the zone of flow while feldspar is still in the zone of fracture.»

Wir werden im folgenden die Tragweite des Begriffes Mylonitbildung derart definieren, dass *Kataklasstruktur trotz der immer mehr um sich greifenden Umkristallisation noch deutlich erkennbar ist, und dadurch dem Gestein seine strukturelle Eigenart verleiht*. Es wäre nicht geologisch gerechtfertigt die Grenze bei dem quantitativen Überwiegen der einen oder anderen Strukturfacies festzulegen.

Einige Haupttypen der mechanischen Zertrümmerungsmetamorphose können ohne weiteres ausgesondert werden und sind von verschiedenen Gegenden schon lange erkannt und beschrieben worden.

Einerseits entstehen bei der Mylonitisierung dünnstriefrige Gesteine mit einer ausgesprochenen Parallelstruktur, wo die »Zwischenklemmungsmasse«, die meistens eine durchgreifende Umkristallisation erlitten hat, mehr oder weniger vollständig zertrümmerte, aber nicht umkristallisierte Kristallaggregate des Ausgangsmaterials umschließt. Die Parallelstruktur wird vor allem durch eine Parallelanordnung der umkristallisierten Gemengteile oder durch eine orientierte Mineralneubildung längs der Verschiebungsebenen bedingt. Das sind die 'augen-schists' von LAPWORTH, 'les granites écrasés et laminés' von TERMIER.

Eine andere Ausbildung ist durch eine mehr richtungslose Zertrümmerung sämtlicher Gesteinsgemengteile kurz charakterisiert. Gesteine dieser Kategorie zeigen keine ausgesprochene Parallelstruktur oder Verschiebungserscheinungen. Mineralneubildung und Umkristallisation kommt nur in beschränktem Maasstab vor. Dieser Typus entspricht TERMIER's 'écrasement sans laminage'.

Kommen Verschiebungserscheinungen auch bei der rein mechanischen Kataklase zum Vorschein, ohne dass diese von Umkristallisation begleitet werden, wie man besonders in den Überschiebungsregionen der Hochgebirge oft beobachtet, treten neue charakteristische Mylonittypen auf, die sich wohl am ehesten mit STAUB's Typus D, mit KÖNIGSBERGER's 'Schiefermyloniten' decken.

Sind endlich die primären Strukturzüge durch die Metamorphose vollständig verwischt, sind relikte Porphyroklasten nicht mehr unter dem Mikroskope erkennbar, dann haben wir einen Ultramylonit, eine 'purée parfaite' vor uns. Solche Gesteine sind als Endglieder der normalen Mylonitierung anzusehen. In enger Beziehung zu diesem Typus tritt die Gruppe der gebänderten und verschiebten Ultramylonite auf, Gesteine, die aus mehreren Gesichtspunkten eine besondere Aufmerksamkeit beanspruchen und weiter unten näher besprochen werden sollen.

#### **Einteilung der Mylonite des Kebnekaisegebietes.**

Nach diesen allgemeinen Bemerkungen gehe ich nun dazu über, die kataklastischen Gesteine, die ich während meiner Arbeiten im Kebnekaisegebiet angetroffen habe, etwas näher zu beschreiben. Dabei möchte ich aber vorausschicken, erstens, dass die gebrauchte Nomenklatur eigent-

lich nur als Feldnamen aufgefasst werden darf, wo ich durch einen Suffix die charakteristische, strukturelle Eigenart der Gruppe habe hervorheben wollen. (Präfixe in Kombination mit Mylonit haben seit jeher eine genetische Bedeutung, z. B. Granitmylonit, Monzonitmylonit etc.) Zweitens möchte ich betonen, dass die Einteilung, die im folgenden durchgeführt wird, nicht als ein Versuch einer endgültigen Systematisierung der Mylonitgruppe aufgefasst werden darf. Die Einteilung scheint den Verhältnissen im Kebnekaise zu entsprechen und wird zum Vergleich ähnlicher Versuche aus anderen Gebieten veröffentlicht, ohne generelle Gültigkeit beanspruchen zu können.

Es werden auf Grund der Erfahrungen aus meinem Arbeitsgebiet vier Haupttypen der mylonitisierten Gesteine unterschieden, die mit wenigen Worten folgendermassen charakterisiert werden können.

*Kakirite.* In einem in makroskopischen Dimensionen brecciierten Gestein sind die relativ weniger zertrümmerten Bruchstücke des Ausgangsmaterials auf allen Seiten von Rutsch- oder Kluftflächen umgeben, in denen eine intensive Zermahlung neben Mineralneubildung sich geltend macht.

*Mylonitgneiss.* Umkristallisation und Kataklyse in wechselnden Proportionen vorhanden. Die Metamorphose vollzieht sich unter Verschiebung des Gesteines, wobei besonders Quarz und die dunklen Mineralien umkristallisieren und sich an den Verschiebungsebenen orientieren, die übrigen mechanisch zertrümmerten, Gesteinskomponenten umgebend.

*Mylonite.* Kataklystruktur gegenüber Umkristallisation ganz überwiegend. Ausgangsmaterial noch in relikten Porphyroklasten erkennbar.

Mylonite (im engeren Sinn). Eine hauptsächlich richtungslose Mikrobrecienbildung; oft hübsch entwickelte sekundäre Fluidalstruktur.

Mylonitschiefer. Hervortreten von Parallelstruktur bei der vorigen Gruppe, ohne dass sich dabei beträchtlichere Umkristallisation geltend macht.

*Ultramylonite.* Steigerung der Metamorphose voriger Gruppe. Die primären Strukturzüge ganz verwischt. Keine Porphyroklasten mehr erkennbar.

Ultramylonite (im engeren Sinn). Richtungslose Kataklaste. Dichte Gesteine von felsit- oder quarzitähnlichem Habitus. Chemische Veränderungen im Gestein nachweisbar.

Hartschiefer. Gebänderte und verschieferte Gesteine der ultramylonitisierten Metamorphose. Starke chemische Differenzierung in den verschiedenen Bändern.

Ehe ich zu einer näheren Beschreibung der einzelnen Gruppen übergehe, möchte ich eine Bemerkung von prinzipieller Bedeutung vorausschicken. Der Name Mylonit (im engeren Sinn) wird im folgenden für die richtungslose Mikrobrecienbildung reserviert, trotzdem diese Begrenzung des Begriffes vielleicht nicht einer allgemein angenommenen Definition entspricht, und zwar aus zweierlei Gründen. Teils sind die Mylonite in diesem Sinne die für eine kataklastische Metamorphose meist typische Ausbildung, und dürften deswegen den ursprünglichen Namen für mechanische Deformation für sich beanspruchen können. Teils entstehen die richtungslos mylonitisierten Gesteine bei geologisch weit verschiedenen Prozessen. Wir treffen sie zum Beispiel im schwedischen Grundgebirge,<sup>1</sup> in den jüngeren Dislokationsgebieten von Glen Coe<sup>2</sup> und in den kaledonischen Überschiebungsregionen der Hochgebirge. Dadurch dass der Mylonitbegriff gerade für diese Typen der mechanischen Deformation reserviert wird, bekommt er eine weitere geologische Tragweite und betont gleichzeitig, dass die Mylonitbildung durch weit verschiedene geologische Prozesse hervorgerufen werden kann.

Es folgt nun eine kurze Beschreibung der einzelnen Typen, wie sie unter den Gesteinen des Kebnekaisegebietes vertreten sind.

### *Kakirite.*

Der Name Kakirit rührt bekanntlich von SVENONIUS her und wurde für die stark zerbröckelten Gesteine der über dem Silur lagernden kristallinen Gesteine in der Gegend von Stora Sjöfallet gebraucht. HOLMQUIST<sup>3</sup> hat eine nähere Definition des Begriffes gegeben, indem er sie als kataklastische Gesteine ohne Parallelstruktur beschreibt, die »so dicht von kleinen, mattglänzenden Kluftflächen in allen Richtungen durchzogen sind, dass reine Brüche im Gestein mit dem Hammer nicht hervorgebracht werden können«. Auch HAMBERG<sup>4</sup> dürfte sich gerade auf diesen Typus

<sup>1</sup> GAVELIN, Om relationer m. n. graniter etc. inom Loftahammarområdet. Sveriges geol. Unders., Ser. C., N:o 224, p. 19.

<sup>2</sup> CLOUGH, MAUFE & BAILEY. Quart. Journ. Geol. Soc., Vol LXV (1909), p. 650.

<sup>3</sup> Geol. För. Förh., Bd. 32 (1910), p. 938.

<sup>4</sup> Geol. För. Förh., Bd. 32 (1910), p. 702.

beziehen, wenn er von den Gesteinen seiner Syenitscholle schreibt: »Eine eigentümliche mechanische Zertrümmerung der Syenite, Granite und vielleicht auch basischerer Gesteine in linsenförmige oder rhombische Stücke, die jedoch hauptsächlich ihre gegenseitige Lage beibehalten haben, ist für die östlichen Teile des Gebietes charakteristisch. Die dabei entstandenen Sprünge sind meist sehr schmal und wieder durch feinen Mineraldetritus verkittet. . . . Die Verschiebungen längs der Sprünge scheinen im allgemeinen sehr gering gewesen zu sein, mitunter Bruchteile von 1 mm.« HAMBERG nennt diese Gesteine wegen der meist geringen Bewegung der Bruchstücke »In-situ-Breccien«.

Ich fasse in Übereinstimmung mit oben gegebenen Definitionen die Kakirite als kataklastisch metamorphe Gesteine auf, in denen die Zertrümmerung eine makroskopische, aber nicht eine homogen-mikroskopische, Breccienbildung hervorgerufen hat. Das Gestein wird von unzähligen Rutschflächen in allen Richtungen durchzogen, an denen eine starke Zertrümmerung neben Mineralneubildung stattgefunden hat. Die zwischenliegenden Bruchstücke können dagegen relativ wenig gelitten haben, indem die einzelnen Mineralkörner oft nur starke optische Deformation zeigen, die primäre Struktur aber relativ gut erhalten bleiben kann. Der Druck hat sich mit anderen Worten zum grossen Teil in der Bildung der zahlreichen Rutschflächen ausgelöst, und hat sich dadurch im Gestein ungleichmässig geltend gemacht. *Den Kakiriten fehlt es an petrographischer Homogenität.*

Was das geologische Auftreten dieses Gesteinstypus betrifft, kann ich nur HAMBERG's Beobachtungen bestätigen, dass sie für den Ostrand der Überschiebungsregion charakteristisch sind. Weiter ins Gebirge hinein habe ich die Kakirite nicht mehr oder nur ganz ausnahmsweise vertreten gefunden.

#### *Mylonitgneiss.*

Diese Gruppe der kataklastischen Gesteine umfasst die Typen, in denen neben Kataklastik sich auch Kristallisationsschieferung geltend macht. Sie entsprechen den 'augen-schists' von LAPWORTH, dem 'granite écrasé et laminé' von TERMIER, dem flasrigen Gneiss von HOLMQUIST.

Die Struktur ist eine Kombination von Kataklastik und Kristallisationsschieferung, und zwar in sehr wechselnden Proportionen, die ebenso viel von der Gesteinszusammensetzung wie von der Art der Metamorphose abhängig sein können. Gewöhnlich zeigen die Feldspäte Kataklastikstruktur ohne grössere Umkristallisation, während die dunklen Mineralien unter Umkristallisation sich nach der Druckrichtung an den Verschiebungsebenen umgelagert und dadurch die Parallelstruktur hervorgerufen haben. Die relative Proportion zwischen Kataklastik und Kristallisationsschieferung ist deswegen oft von dem Gehalt an dunklen Mineralien stark abhängig; ein an dunklen Mineralien reiches Gestein wird sich viel

eher bei der Metamorphose als ein Mylonitgneiss entwickeln, als ein *acides es tut*, das überwiegend aus salischen Komponenten zusammengesetzt ist.

Durch das wechselnde Verhältnis zwischen Kataklyse und Umkristallisation zeigen die Mylonitgneisse jeden Übergang einerseits zu typischen Myloniten, andererseits zu wirklichen kristallinen Schiefen.

Recht häufig ist eine hübsche Augenstruktur für diese Typen charakteristisch (vergl. den Namen 'augen-schist' von LAPWORTH). Die Augen bestehen doch selten aus einheitlichen Kristallindividuen, sondern sind ein Aggregat von salischen Mineralkörnern, die von dunklen Bestandteilen umgeben sind und deswegen die Augenstruktur hervorrufen. Gelegentlich kommen doch grössere mehr oder weniger zertrümmerte Feldspatporphyroklasten vor, die dann nicht selten einen randlichen porphyroblastischen Zuwachs von Albitsubstanz aufweisen können.

In dem nordschwedischen Hochgebirge treten Mylonitgneisse sehr allgemein innerhalb der grossen Überschiebungsscholle auf, und sind wenigstens in typischer Entwicklung im allgemeinen eruptiven Ursprungs. Ich habe diese Gesteine weit verbreitet im Kebnekaisegebiet angetroffen. (Pl. IV, Fig. 1—2). Mit Vorliebe entwickelt sich dieser Typus über die ultramylonitisch metamorphosierten Bodenlager der grossen Überschiebungsscholle, oft eine Mächtigkeit von 50 m. und darüber erreichend. Nach oben nimmt allerdings die Umkristallisation allmählich zu und die Gesteine nähern sich den kristallinen Schiefen mehr und mehr, bis schliesslich auch die salischen Komponenten eine vollständige Umkristallisation durchgemacht haben und der letzte Rest der Kataklysestruktur verschwindet. Dann liegen aber schon regelrechte Glimmerschiefer und Gneisse, bei basischeren Gesteinen Granatglimmerschiefer und Amphibolite vor.

Ich habe für die Gesteine dieser ganzen Gruppe vorläufig den Namen Mylonitgneiss gebraucht. Die beiden Komponenten des Namens sollen die Kombination von Mylonit- und Gneissstruktur, von Kataklyse und Umkristallisation angeben. Wenn man daran festhält, dass nur Präfixe vor Mylonit genetische Bedeutung verleihen, kann der Name kein Missverständnis verursachen, und hat sich als brauchbarer Feldname an Stelle der langen früher notwendigen Umschreibungen erwiesen.

### *Mylonite und Mylonitschiefer.*

Wie bei den Kakiriten überwiegt in dieser Gruppe die Kataklysestruktur. Aber im Gegensatz zu der makroskopischen Breccienbildung des Gesteines bei den Kakiriten in »linsenförmige oder rhombische Stücke« tritt hier eine homogene Mikrobreccienbildung ein, indem nicht nur einzelne Zonen sondern die einzelnen Mineralkörner mehr oder weniger starke Zertrümmerungserscheinungen zeigen. Die einzelnen Kristalle sind

dann entweder von Trümmerzonen durchzogen oder ganz zu Mörtelnestern umgewandelt.

Bei steigender Intensität der Mylonitisierung werden die Trümmerzonen immer breiter, die Granulierung immer vollständiger, bis zuletzt die primäre Struktur nur noch in sporadischen relikten Porphyroklasten oder in porphyrischen Gesteinen in den oft gegen die Metamorphose unglaublich resistenten Einsprenglingen zu erkennen ist.

Eine geradezu prachtvolle sekundäre Fluidalstruktur kann sich oft bei diesem Stadium der Metamorphose entwickeln, so dass im Dünnschliff oft grössere Ähnlichkeit mit einem jungvulkanischen Gestein als mit einem so hochmetamorphen Produkt der Metamorphose herrscht. (Pl. V, Fig. 1).

Die Metamorphose dieser Art kann sich ganz richtungslos vollziehen, typische Mylonite in diesem engeren Sinn zeigen dann keine nennenswerte Parallelstruktur. Solche Typen scheinen sich mit TERMIER's 'écrasement incomplet sans laminage' vollkommen zu decken.

Wenn aber die Mylonite (im engeren Sinn) in typischer Ausbildung keine ausgesprochene Parallelstruktur besitzen, darf man deswegen nicht glauben, dass Verschieferungserscheinungen dieser Gruppe fehlen. Im Gebirge dürfte im Gegenteil eine mehr oder weniger deutlich hervortretende Verschieferung meistens vorhanden sein. Sind dunkle oder leicht zersetzbare Gemengteile vorhanden, dann treten gern Übergangsglieder zu den Mylonitgneissen auf, ist aber das Ausgangsmaterial von ausgesprochen salischem Charakter, kann ein Mylonitschiefer entstehen, bei dem die Kataklastenstruktur noch vollkommen dominiert, oder nur winzige Sericitblätter eine ungefährliche Parallelanordnung in langen Streifen einnehmen. Wenn man sich mit Mylonitbildung im Gebirge einseitig beschäftigen wollte, würde man diesen Typus als die normale Entwicklung der Mylonitbildung ansehen müssen; da aber ganz massige Mylonite auch im Kebnekaisegebiet vorkommen und um dem Mylonitbegriff eine grössere geologische Tragweite auch ausserhalb der Gebirgstektonik zu verleihen, wird in dieser Arbeit der Name Mylonit für die richtungslose Zertrümmerung reserviert. Wo eine Parallelstruktur, die dann wohl beinahe immer von Verschieferung begleitet wird, ohne Umkristallisation der Gesteinsgemengteile auftritt, wird von einem Mylonitschiefer gesprochen. Die Mylonitschiefer verhalten sich zu den Myloniten genau so wie die Hartschiefer zu den Ultramyloniten.

#### *Ultramylonite und Hartschiefer.*

Verschwinden schliesslich auch die letzten Relikte der ursprünglichen Struktur, sind die letzten Porphyroklasten nicht nur als selbständige Individuen sondern als überhaupt erkennbare Trümmerhaufen oder Mörtelnester verschwunden, dann haben wir das ultramylonitische Stadium der mechanischen Metamorphose erreicht. Es sind dabei homogen-dichte Ge-

steine von felsitähnlichem oder sogar oft quarzitähnlichem Aussehen entstanden, ein richtungsloser Brei von Trümmern der ursprünglichen Gesteinsgemengteile, ein 'purée parfaite', ein 'flinty crush-rock'.<sup>1</sup>

Es fällt natürlich oft sehr schwer, gerade bei dieser Gruppe eine sichere Diagnose der Ursprungsbeziehungen des Gesteins zu stellen, da jede Spur der primären Struktur verloren gegangen ist. Da bei diesen Gesteinen auch beträchtlichere chemische Veränderungen allem Anschein nach stattfinden können, verliert auch die chemische Zusammensetzung für eine genetische Bestimmung an Wert oder muss sogar ganz ausser Betracht gelassen werden. Diese Frage wird weiter unten näher besprochen werden.

Es erübrigt nun, die Gruppe der gebänderten, 'geschichteten', und verschieferten Ultramytonite, die s. g. Hartschiefer, etwas näher zu fixieren. Gerade bei dieser Gruppe gehen aber die Meinungen am weitesten auseinander, nicht nur betreffs der Genesis, sondern nicht weniger, in wie weit Strukturmomente und chemische Zusammensetzung von der Metamorphose beeinflusst worden sind.

Das Gesteinsmaterial dieser Gruppe ist im Kebnekaisegebiet überwiegend von ultramytonitischer Struktur, das heisst, es sind feinkörnige bis dichte pseudo-klastische Gesteine von felsitischem oder hälleflintähnlichem Aussehen. Jeder Rest von der primären Struktur ist im allgemeinen verloren gegangen. (Pl. V, Fig. 2).

Charakteristisch für die ganze Gruppe ist nun vor allem eine deutliche Bänderung oder Schichtung im Gestein, die gewöhnlich durch Farbenwechsel sowie durch Verschiedenheit in der Mineralzusammensetzung in den verschiedenen Bändern noch deutlicher zum Vorschein gebracht wird. Diese Bänderung kann von der zartesten Wechsellagerung in nur millimeterbreiten Schichten bis zu einer groben Bänderung mit dezimeterbreiten Bändern auftreten. (Pl. VI, Fig. 1—2).

Die kaum jemals fehlende Verschieferung scheint im engen Zusammenhang mit der Bänderung zu stehen, indem gerade die 'Schichtflächen' auch den Verschieferungsflächen entsprechen. Dieser Verschieferung scheint man deswegen einen ganz anderen geognostischen Wert zuschreiben zu müssen als der vorher beschriebenen Entwicklung bei den Mylonitgneisen. In der Gruppe der Mylonitgneisse tritt die Verschieferung als ein für das Gestein gleichförmig durchgehender Charakterzug auf, in der Gruppe der Hartschiefer dagegen entspricht sie einem mehr akzessorischen Strukturbegriff, der sich im Gestein sehr ungleichmässig geltend macht, und von der Bänderung, also von strukturellen oder chemischen Variationen im Gestein, im Detail regliert wird.

Die Bänderung tritt oft mit einer solchen Regelmässigkeit und mit einer solchen regionalen Verbreitung auf, dass man sich unwillkürlich fragen muss, ob eine solche Struktur anders als durch Sedimentation entstehen

<sup>1</sup> CLAUGH, MAUFE & BAILEY, a. a. O., p. 650.

kann. HOLMQUIST stellt sich, wie schon erwähnt, jetzt auf den Standpunkt, dass die Schichtung der Hartschiefer nur eine primäre Sedimentstruktur darstellen kann. Ohne eine bestimmte Auffassung über die Abiskoschiefer des Torneträskgebietes in dieser Hinsicht vertreten zu wollen, muss ich betreffs in vielen Beziehungen sehr ähnlicher Entwicklungsformen aus Kebnekaise den Standpunkt vertreten, dass die sogenannte 'Schichtstruktur' eine sekundäre, durch die Metamorphose hervorgerufene Erscheinung ist und zwar aus Gründen, die weiter unten näher auseinandergesetzt werden.

Wenn auch eine rein mechanische Kataklase für die ganze Gruppe der Hartschiefer charakteristisch ist, muss doch hervorgehoben werden, dass gelegentlich, und dann gewöhnlich in mehr zentralen Teilen des Hochgebirges, eine Umkristallisation beobachtet wird, die manchmal über die Kataklase überwiegen, oder sogar diese Struktur ganz verdrängen kann. Ich habe aber bei solchen Gelegenheiten nach einigem Suchen beinahe immer eine relikte Kataklastenstruktur noch nachweisen können, die ohne Zweifel beweist, dass zuerst die mechanische Zertrümmerung sich vollzogen hat und dass erst später Umkristallisationserscheinungen diese Struktur mehr oder weniger vollständig verhüllt haben.

### **Chemische Veränderungen bei der Mylonitbildung.**

Nicht weniger von Interesse als die strukturellen Verschiedenheiten bei den verschiedenen Gruppen der Mylonite sind die Fragen über chemische Veränderungen und Mineralneubildungen im Gestein im Zusammenhang mit den Zertrümmerungsprozessen.

Wenn wir unsere jetzigen Erfahrungen über chemische Veränderungen bei der mechanischen Gesteinsmetamorphose überblicken, müssen wir die Ergebnisse so zusammenfassen, dass die meisten Verfasser, die sich mit dieser Frage beschäftigt haben, keine grösseren Veränderungen zugeben wollen. Nur ausnahmsweise finden wir in der Litteratur Angaben, die ein entgegengesetztes Verhältnis zu erläutern versuchen.

Wird aber ein Versuch gemacht, die betreffenden Gesteine einer genaueren und allseitigen Prüfung zu unterwerfen, und Art und Intensität der bei der Metamorphose wirkenden geologischen Kräfte mit in Rechnung zu ziehen, so werden vielleicht scheinbare Gegensätze verständlicher werden und sich ein Weg öffnen, um diese viel umstrittene Frage von einem mehr objektiven Standpunkt aus angreifen zu können.

### Chemische Veränderungen bei den Mylonitgneissen und Myloniten.

Was zunächst die chemischen Veränderungen bei den Mylonitgneissen und damit verwandten Gesteinen betrifft, scheint deutlich aus der reichhaltigen Litteratur über diese Frage hervorzugehen, dass im allgemeinen kein beträchtlicher Stoffwechsel stattfindet. Es sind Beispiele genug vorhanden und durch zuverlässige Analysen belegt worden, dass nur ganz unbedeutende Differenzen in der chemischen Zusammensetzung zwischen Ausgangsmaterial und metamorphem Gestein dabei nachweisbar sind. Nur ausnahmsweise scheinen grössere chemische Veränderungen bei dieser Art der Metamorphose stattzufinden, und können sie dann gewöhnlich mit ganz besonderen, mit der Metamorphose sonst nicht notwendig verbundenen geologischen Prozessen in Zusammenhang gestellt werden.

Ich habe schon vorher einmal in anderem Zusammenhang<sup>1</sup> die Frage von chemischen Veränderungen im Gestein im Zusammenhang mit mehr durchgreifender dynamischer Metamorphose behandelt.

Es rührte sich damals um südpatagonische Quarzporphyre und ihre metamorphen Äquivalente innerhalb der Porphyroidformation. Ich suchte das Vorhandensein eines nicht unbeträchtlichen Stoffwechsels auch durch Analysen zu belegen. Die Resultate wurden später von STAUB<sup>2</sup> und BECKE<sup>3</sup> gegen die mannigfaltigen Angaben in entgegengesetzter Richtung als nicht genügend beweiskräftig angesehen. Die betreffenden Porphyroide gehören zu einer Übergangsgruppe zwischen Mylonitgneissen und Mylonit-schiefern, die wegen des beinahe vollständigen Mangels an dunklen Mineralien eine überwiegend kataklastische Struktur trotz kräftiger Verschieferung immer noch beibehalten haben. Betreffs chemischer Veränderungen bilden sie meiner Ansicht nach, wie bei der Beschreibung auch hervorgehoben wurde, eine Ausnahme, die in Zusammenhang mit ganz besonderen geologischen Ereignissen, in diesem Falle in Form einer kräftigen Hydratisierung bei der Mineralneubildung, gestellt werden muss.

Ich werde die Diskussion über diese Frage indes nicht an einige exotische Gesteinsproben anknüpfen, deren näheres geologisches Auftreten sich immer der nötigen Kontrolle entziehen muss. STAUB bezieht aber meine damaligen Ergebnisse auf chemische Veränderungen bei der Mylonitisierung im allgemeinen, stellt sich aber gegen die Annahme grösserer chemischer Veränderungen mit folgenden Worten ablehnend gegenüber: »Die Verschiedenheit in der stofflichen Zusammensetzung dürfte nicht auf die Rechnung der Mylonitisierung zu setzen sein, sondern wäre wohl

<sup>1</sup> Die Quarzporphyr- und Porphyroidformation in Südpatagonien, Bull. Geol. Inst. Upsala, Vol. XII, p. 36.

<sup>2</sup> R. STAUB, a. a. O., p. 81.

<sup>3</sup> Fortschritte der Min. etc., Bd. V. (1916), p. 234.

eher auf primäre Verschiedenheiten der Gesteine zurückzuführen oder es müssen, unabhängig von der Mylonitisierung, grosse Lösungsumsätze im Gestein eingetreten sein. Solche aber haben mit der Mylonitisierung nichts zu tun. Dann sind die Verschiedenheiten auf Metamorphose nicht aber auf Mylonitisierung zurückzuführen.»

Wir fassen nun die Begriffe Metamorphose und Mylonitisierung etwas verschieden auf. STAUB macht einen deutlichen Unterschied zwischen dem Akt der eigentlichen umkristallisierenden und ummineralisierenden Metamorphose und der rein mechanischen Gesteinsumformung (Mylonitbildung), während ich als meine Erfahrung aussprechen muss, dass die mineralneubildende Metamorphose in vielen Fällen sich nicht unabhängig von, sondern im Gegenteil im engsten Zusammenhang mit der Mylonitisierung vollzogen hat.

Der Umfang der chemischen Veränderungen bei der Mylonitbildung ist vor allem von der Art und Intensität der Mylonitisierung abhängig. Eine generelle Beurteilung der Grösse der chemischen Veränderungen im Gestein bei der mechanischen Metamorphose lässt sich deswegen nicht ohne weiteres geben. Bei der Mylonitgneissbildung oder entsprechenden metamorphen Entwicklung sind die chemischen Veränderungen auf ein Minimum heruntergebracht. Bei den Ultramyloniten scheinen sie ihr Maximum zu erreichen. Diese beiden extremen Entwicklungen sind aber durch allerlei Übergänge verbunden, wo die Frage über eventuelle chemische Veränderungen in jedem Falle näher geprüft werden muss.

Alle Beobachtungen scheinen indes die Annahme zu bestätigen, dass bei normaler Entwicklung der Metamorphose bei den Mylonitgneissen und bei der Gruppe der normalen Mylonite keine bedeutendere chemische Veränderung nachweisbar ist, und soweit eigene Erfahrung reicht, gilt dasselbe auch für das Kebnekaisegebiet und ich kann bezüglich dieser Gruppe dem Standpunkt von BECKE und STAUB beipflichten. Wo Ausnahmen nachgewiesen sind, scheinen exzeptionelle Vorgänge dafür verantwortlich zu sein, die nicht in genetischem Zusammenhang mit der mechanischen Metamorphose stehen müssen. Betreffs des patagonischen Beispiels kann ich also STAUB's Standpunkt auch vollkommen beitreten, gegen seine generelle Annahme und ganz besonders insoweit diese sich auf die Gruppe der Ultramylonite bezieht, dass überhaupt bei der mechanischen Metamorphose keine chemischen Veränderungen stattfinden, muss ich aus Gründen, die im folgenden Abschnitt näher auseinandergesetzt werden, eine abweichende Auffassung vertreten.

#### **Chemische Veränderungen bei den Ultramyloniten und Hartschiefern.**

Im scharfen Gegensatz zu den oben erwähnten Erfahrungen scheinen bei der Ultramylonit- und Hartschieferbildung im Kebnekaisegebiet be-

trächtlichere chemische Veränderungen geradezu der normalen Entwicklung der Metamorphose zu entsprechen.

Ich werde versuchen, diese Frage zuerst durch einige Beispiele zu beleuchten.

Zwei sehr verschiedene aber im Felde mit einander eng verbundene Gesteinsproben aus dem Bodenlager der Überschiebungsscholle im Savoyage liegen vor uns. In dem einen kann man ohne Schwierigkeit noch die primäre Eruptivstruktur erkennen, obwohl unter dem Mikroskop eine weitgehende richtungslose Zertrümmerung sich geltend macht. — Die andere Stufe stellt ein dichtes, grünliches, hübsch gebändertes Gestein dar. Die Mineralzusammensetzung ist in dem feinkörnigen Brei der Mineraltrümmer nicht leicht, kaum schätzungsweise anzugeben. Quarz, Feldspäte, Sericit und Chlorit sind neben Titanit- und Erzkörnern die Komponenten.

Die Schichtung ist derart regelmässig, dass man im ersten Augenblick unwillkürlich an eine primäre Sedimentationsschichtung denken muss. Eine nähere Beobachtung zeigt aber, dass die vermuteten Schichtebenen gleichzeitig Verschieferungsebenen sind, das Gestein ist parallel der 'Schichtung' stark verschiefert, die Verschieferungsebenen sind mit Sericit und Chlorit bekleidet.

Bei der Feldarbeit bekam ich nun die bestimmte Auffassung, dass diese beiden Gesteinstypen nur als verschiedene metamorphe Facies eines und desselben Eruptivgesteins aufzufassen wären. Es schien unmöglich, im Felde die beiden Typen auseinanderzuhalten oder eine geologische Kontaktlinie zwischen sie einzupassen. Versuche, das gebänderte Gestein als bei der Überschiebung eingeknetetes exogenes Material zu deuten, stossen auch immer auf neue Schwierigkeiten.

Zuletzt gelang es mir, im Mikroskop vereinzelte relikte Porphyroklasten eines Mikroklinpertites nachzuweisen, einen Feldspat, der für das betreffende Eruptivgestein charakteristisch ist. Da nun die mikroskopische Untersuchung dieselbe Auffassung zu bestätigen schien, als die Feldarbeit es getan hatte, musste ich weitere Bedenken fallen lassen, und ging daran, die Konsequenzen zu ziehen, die eine Annahme der genetischen Zusammengehörigkeit der beiden Gesteine mit sich führte. Einerseits müsste die zarte und anhaltende Schichtstruktur als eine sekundäre im Zusammenhang mit der Metamorphose entstandene Strukturerscheinung aufzufassen sein. Wenn man andererseits die eventuellen chemischen Veränderungen, die das Gestein bei der Metamorphose erlitten hat, festzustellen versucht, ergibt sich alsbald ein deutlicher Wechsel in der chemischen Zusammensetzung der verschiedenen Bänder. Im Grossen und Ganzen scheint aber eine Generalprobe, vom Wassergehalt der sekundären Mineralien abgesehen, noch approximativ der ursprünglichen Zusammensetzung des Eruptivgesteins entsprechen zu können. Es scheint mit anderen Worten im vorliegenden Fall eine chemische Gliederung stattgefunden zu haben, ohne

dass das Gestein im Ganzen seine chemische Zusammensetzung geändert hat.

Oft wird aber die Bänderung erheblich breiter als in dem oben erwähnten, dünn gebänderten Gestein und dabei wird auch die Möglichkeit, sich ein Gesamtbild der chemischen Zusammensetzung des Ursprungsmaterials zu bilden, erheblich erschwert. Besonders häufig treten dann die hälleflintähnlichen oder quarzitähnlichen Gesteine auf, die hauptsächlich nur aus Quarz und Feldspat zusammengesetzt sind. Eventuell ursprünglich vorhandene, dunkle Mineralien sind scheinbar beinahe vollständig weggeführt, oder sind an den Verschieberungsflächen zum Teil als Chlorit, Sericit, Epidot etc. wiederzufinden.

Ich werde wieder aus Kebnekaise ein Beispiel anführen. Im oberen Tarfalavagge wird der Talboden von Silur in normaler Lagerung eingenommen. An den Talwänden ist der Verlauf der Kontakte zwischen Silur und den überschobenen kristallinen Gesteinen ausserordentlich deutlich im Detail zu verfolgen. Die überschobenen Gesteine sind von quarzsyenitischer Zusammensetzung und zeigen trotz einer ziemlich intensiven mechanischen Deformation noch deutlich erhaltene primäre Strukturzüge, weshalb ihre Genesis nicht in Zweifel gezogen werden kann. An einer bestimmten Stelle geht nun der mylonitgneissähnlich deformierte Syenit in einen stark verschieferten Typus über, der nur Kataklasstruktur ohne Kristallisationsschieferung zeigt. Der Mylonitgneiss ist in einen Mylonit, oder nach oben angegebenen Einteilungsprinzipien richtiger in einen Mylonitschiefer übergegangen. Dieser Typus ist ganz zweifellos immer noch von den Syeniten ausgegangen.

Wir befinden uns nun aber nur drei Meter von dem Silurkontakte. Die sekundäre Kontaktlinie der Überschiebung ist an dieser Stelle in jedem Detail verfolgbar.

Innerhalb 2 Meter ändert sich nun das Gestein von einem Mylonitschiefer sicher eruptiven Ursprungs und mit noch wohl erkennbaren Porphyroklasten zu einem Ultramylonit mit vollkommen quarzitischem Aussehen und mit einem diffusen Wechsel von helleren und dunkleren Streifen. Parallel dieser ziemlich unvollkommenen Bänderung ist in diesem Falle keine Verschieferung wahrzunehmen, sondern das Gestein zeigt in dieser Richtung einen vollkommen unebenen und muscheligen Bruch. Senkrecht dagegen tritt eine deutliche Kluftrichtung hervor.

Wenn man vor diesem Profile steht und die geologischen Relationen der Gesteine näher betrachtet, scheint es unmöglich, in die zwei Meter, innerhalb welcher die Veränderung stattfindet, einen geologischen Kontakt zu verlegen. Die zwei Gesteine sind derart miteinander verbunden, dass eine Aussonderung von Gesteinen einer ganz neuen Formation nicht möglich wäre.

Ist aber der gebänderte Quarzit nur eine metamorphe Facies von einem Mylonitgneiss sicher eruptiven Ursprungs, müssen wir wieder die

Konsequenzen daraus ziehen. Die Bänderung hat hier lange nicht dieselbe Entwicklung erreicht wie in dem vorigen Beispiel, sondern ist mehr als eine Schlierenbildung aufzufassen. Man fühlt sich jedenfalls kaum versucht, diese Struktur als eine primäre Schichtstruktur zu deuten. Was die Frage der chemischen Veränderungen betrifft, so steht es für jeden ziemlich klar, dass wir es hier mit einem ganz gewaltigen Materialaustausch im Gestein zu tun haben müssen.

Die dunklen Mineralien des Ausgangsmateriales sind hier ganz verschwunden und aus einem relativ biotitreichen Quarzsyenit haben wir einen Brei von Quarz und Feldspattrümmern erhalten. Man kann weiter mit ziemlicher Bestimmtheit sagen, dass die relativen Proportionen zwischen Quarz und Feldspat nicht unbeträchtlich zu Gunsten des ersteren verschoben worden sind, so dass entweder Feldspatsubstanz weggeführt worden ist oder, was wahrscheinlicher erscheint, eine Zufuhr von Kieselsäure bei der Metamorphose stattgefunden hat.

Etwas weiter talaufwärts tritt nun bei genau denselben quarzitären Ausbildungsformen eine Verschieferung parallel der Bänderung ein. Die Schichtstruktur, die früher ohne gleichzeitige Verschieferung garnicht zum Vorschein kam, wird hier gleich wieder auffallend. Da man diese Horizonte nun Schritt für Schritt verfolgen kann, scheint es dem Verfasser nicht mehr zweifelhaft, dass wenigstens in diesem speziellen Falle, die 'Schichtstruktur' als eine sekundäre mit der Verschieferung in Zusammenhang stehende Erscheinung gedeutet werden muss.

Zuletzt noch ein Beispiel. An der südlichen Talwand des Ladjovagge, dem Ostende des Signetjåkko gegenüber, kommen gerade an der Überschiebungsebene eine Reihe von Gesteinstypen vor, die durch ihre vorzüglich regelmässige 'Schichtstruktur' die Aufmerksamkeit von weitem auf sich lenken. Die ganze Mächtigkeit dieses Gesteinstypus beträgt nur etwa sechs Meter.

Wo die Gesteine von hellen Farben sind, bestehen sie aus einem feinkörnigen Gemenge von Quarz und Feldspat neben spärlichen Muskovit- und Biotitblättchen. Mit circa zentimeterbreiten Zwischenräumen sind grüne Ränder von Chlorit mit auffallender Äquidistanz, vollkommen parallel zu einander eingelagert (Pl. VII). Der Quarz-Feldspatbrei zeigt gelegentlich noch eine deutliche, reliktkataklastische Struktur, während Umkristallisation die primäre Zertrümmerungsstruktur sonst zum grössten Teil schon verhüllt. Das Gestein spaltet leicht nach den Chloriteinlagerungen und zeigt auf solchen Flächen eine ebene wenn auch etwas runzelige mit Chlorit belegte Kluftfläche.

Scharf grenzt nun dieses eigentümliche Gestein an eine ganz abweichende Facies, die kurz als ein aus Quarz, Muskovit, Granat und Chlorit zusammengesetzter Glimmerschiefer bezeichnet werden kann. Die Struktur zeigt eine für die Mylonitgneisse typische Kombination von Kataklastik und Kristallisationsschieferung.

Was diese Gesteine ursprünglich gewesen sind, lässt sich nicht mehr mit Sicherheit sagen. Es ist immerhin möglich, dass hier primäre Sedimente vorhanden sind, es ist auch möglich, dass eingeknetetes Sedimentmaterial in einem ultramylonitisch veränderten Eruptivgestein vorliegt, es ist aber auch gut denkbar, dass die Wechsellagerung von hellen, quarzitischen und dunklen glimmerschieferähnlichen Zonen nur einer im Zusammenhang mit der Ultrametamorphose entstandenen, chemischen Differentiation entspricht, und also nur eine bedeutend weiter geführte Separierung der dunklen und hellen Gemengteile des Ausgangsmateriales darstellt, als in einem früheren Beispiel auseinandergesetzt wurde. Ein nebenbei anstehendes Gestein mit einer nur millimeterbreiten Bänderung und mit einer im Verhältnis zu den beiden vorhergehenden Typen intermediären chemischen Zusammensetzung scheint für die letztere Annahme zu sprechen.

Dass die durchaus regelmässige Schichtstruktur eine primäre Sedimentationsschichtung darstellen könnte, scheint mir in jedem Falle ausgeschlossen. Die durchgehend kräftige Zermahlung, die das Gesteinsmaterial durchgemacht hat, konnte unmöglich eine primäre Schichtung so vollkommen unberührt davonkommen lassen. Übrigens fallen die 'Schicht'ebenen in diesem Falle mit aller erwünschter Deutlichkeit mit den Chloriteinlagerungen so vollkommen zusammen, dass man die regierende Einwirkung der Bänderung auf die vermuteten Schichtebenen und Verschiebungsebenen, die in diesem Falle vollständig übereinstimmen, kaum verleugnen kann. Die überaus regelmässige Schichtung muss im vorliegenden Falle als eine sekundäre, im Zusammenhang mit der Metamorphose entstandene Druckerscheinung gedeutet werden.

Von allen den oben beschriebenen Hartschiefertypen oder nahestehenden Mylonittypen bekommt man selten eine grössere Mächtigkeit als 5–6 Meter zu sehen. Immer sind diese Gesteine wenigstens im Kebnekaisegebiet auf die untersten Horizonte der grossen Überschiebungsschollen beschränkt. Wo aber die tektonischen Kontakte zwischen Silur und den kristallinen Gesteinen entblösst sind, treten sie auffallend konstant auf, nicht nur am Ostrande der Gebirgskette sondern weit hinein ins Gebirge, wo man, auch wenn Umkristallisation sich in weitem Masstab geltend macht, doch gelegentlich relikte Kataklyse immer noch nachweisen kann, und dadurch die Zugehörigkeit der Gesteine zu den Myloniten mit Bestimmtheit beweisen.

Es scheinen nur zwei Möglichkeiten bei der Deutung dieser ganzen Gesteinsgruppe übrig zu bleiben. Entweder müssen die quarzitischen oder hällflintähnlichen Mylonite ein vollkommen fremdes Formationsglied darstellen, was aber bei der konstanten Verbreitung dieser Typen immer gerade in den untersten Lagen der Überschiebungsscholle schwer denkbar ist, oder müssen sie als eine stark veränderte Facies der überliegenden Gesteinsformationen aufgefasst werden, eine Ansicht, die hier wegen nach-

weisbarer Übergangsglieder als eine wahrscheinlichere Arbeitshypothese verfochten wird. Ist aber dies der Fall, dann müssen ganz gewaltige chemische Veränderungen im Gestein bei der Metamorphose stattgefunden haben, Veränderungen, die gerade von der Ultramylonitisierung und von den damit zusammenhängenden Zustandsveränderungen im Gestein hervorgerufen worden sein müssen.

Die mikroskopische Analyse der Ultramylonite und Hartschiefer hat bei verschiedenen Gelegenheiten eine derart abweichende chemische Zusammensetzung zwischen Ausgangsmaterial und Endprodukt der Metamorphose dargelegt, dass man von quantitativen Analysen als Belegmaterial einer Ursprungsbestimmung in diesem Falle ganz absehen müsste. Die Analyse z. B. eines quarzitischen Ultramylonits würde, wenn die oben gegebenen Erklärungen richtig sind, überhaupt keine Auskunft über das Ausgangsmaterial geben können.

Einige Kieselsäurebestimmungen werden immerhin angeführt werden, um den Masstab der chemischen Veränderungen bei einer Ultramylonitisierung zu beleuchten. Ein lichtgrüner, hübsch gebänderter, hälleflintähnlicher Mylonit aus dem Tarfalavagge enthält 83,30 %  $\text{SiO}_2$ ; ein vollkommen quarzitähnlicher Typus von dem Südabhang Kebnetjåkko's 90,66 %  $\text{SiO}_2$ . Da letzteres Gestein beinahe ausschliesslich aus einem Brei von Quarz und Feldspat besteht, dürfte es also circa 25 % Feldspat enthalten. Eine quantitative Analyse des vermuteten Ausgangsmateriales ist von D:r NAIMA SAHLBOM ausgeführt worden und wird zum Vergleich hier angeführt. Die Differenzen bei der Kieselsäure sprechen für sich selbst; die Fe-Mg-komponenten sind in dem metamorphen Gestein beinahe vollständig weggeführt worden.

	I	I a	I b
$\text{SiO}_2$	62,92	104,87	70,69
$\text{TiO}_2$	0,72	0,90	0,61
$\text{Al}_2\text{O}_3$	16,89	16,56	11,16
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	2,95	1,84	—
FeO	1,97	2,74	4,33
MnO	0,07	0,10	0,07
MgO	0,73	1,82	1,23
CaO	1,90	3,39	2,28
$\text{K}_2\text{O}$	6,51	6,92	4,66
$\text{Na}_2\text{O}$	4,47	7,21	4,86
$\text{P}_2\text{O}_5$	0,24	0,17	0,11
$\text{H}_2\text{O}+$	0,58	3,22	—
	<u>99,95</u>	<u>149,74</u>	<u>100,00</u>

I Mylonitgneiss, Kebnetjåkko, Südabhang.

I a Molekularproportionen der Anal. I.

I b D:o auf 100 umgerechnet.

Die geologischen Verhältnisse im Felde scheinen mit Bestimmtheit darauf hinzudeuten, dass das quarzitisches Gestein mit 90 %  $\text{SiO}_2$  und der syenitische Mylonitgneiss mit 62,92 %  $\text{SiO}_2$  trotz vollkommen abweichender chemischer Zusammensetzung ursprünglich dasselbe Gestein darstellten.

### Die Bildungsbedingungen des Hartschiefers.

In den oben angeführten Beispielen habe ich die nahe geologische Verwandtschaft zwischen den Hartschiefen und Ultramyloniten im allgemeinen und kataklastischen Gesteinen sicher eruptiven Ursprungs mehrmals hervorgehoben. Es muss aber zum Schluss zugestanden werden, dass im Felde ein ganz allmählicher Übergang zwischen den gebänderten Myloniten und den übrigen Mylonittypen nicht immer nachweisbar ist. Obwohl die beiden Gesteinsreihen geologisch an einander gebunden sind und stratigraphisch einander ersetzen können, gibt es gelegentlich einen chemischen sowie einen strukturellen Hiatus zwischen denselben. Man darf aber diesen Umstand nicht überschätzen, wenn sich eine natürliche Erklärung dafür finden lässt. Ich denke mir, dass man den Verlauf der Bänderungsprozesse und damit verbundenen chemischen Veränderungen sich folgendermassen denken könnte. Mit zunehmender Intensität der Mylonitisierung treten gerade die günstigen Bedingungen für eine Stoffwanderung im Gestein ein, und das nicht nur in dem Sinn, dass eine Anreicherung gewisser Bestandteile in der Form von Mineralneubildung an den Verschieferungsebenen stattfindet, sondern, es wird von der Verschieferung unabhängig die Möglichkeit für Materialaustausch im Gestein geboten.

STAUB bemerkt, dass bei grösseren chemischen Veränderungen: »unabhängig von der Mylonitisierung, grosse Lösungsumsätze im Gestein« eintreten müssen. »Solche aber haben mit der Mylonitisierung nichts zu tun. Dann sind die Verschiedenheiten auf Metamorphose, nicht aber auf Mylonitisierung, auf Deformation zurückzuführen.« Dazu möchte ich bemerken, dass man sich diese Metamorphose bei der Ultramylonitisierung als von den Deformationsprozessen selbst hervorgerufen denken kann und also nicht zwei getrennte, geologische Faktoren anzunehmen braucht. Es handelt sich nicht, oder braucht sich meiner Meinung nach dabei nicht um fremde Lösungsgenossen zu handeln, sondern gerade mit dieser Form der mechanischen Metamorphose wäre eine gewisse grössere molekulare Beweglichkeit verbunden, die durch eine bei der intensiven Reibung der Gesteinskomponenten hervorgerufene Temperatursteigerung begünstigt wird. Stets vorhandene Bergfeuchtigkeit dürfte dabei auch eine erleichternde Rolle spielen. Ich meine also, dass die ummineralisierende Metamorphose nicht immer von der mechanischen Deformation auseinander gehalten werden kann, und dass die eventuellen chemischen Veränderungen gerade bei der Ultramylonitisierung nicht den einen oder den anderen Prozessen allein zugeschrieben werden können, da diese in Kausalzusam-

menhang mit einander stehen und von einander abhängig sind. Dabei muss ich auch die Bemerkung HOLMQUIST's<sup>1</sup> ablehnen, dass ich, um die Bänderung der Mylonite zu erklären, zu einer Hilfhypothese greifen müsse, nämlich eine »metasomatische Umlagerung des Materiales«. Bei einer Ultramylonitisation denke ich mir eine derartige metasomatische Umlagerung als die Folge der Zustandsveränderungen im Gestein, die gerade durch die mylonitisierenden Kräfte hervorgerufen wird.

Aus der vorhergehenden Beschreibung der Ultramylonite und Hartschiefer geht deutlich hervor, dass bei dem Studium dieser Gesteine ganz besondere Schwierigkeiten vorhanden sind, sich eine bestimmte Auffassung über die Genesis der Formation zu bilden. Besonders schwierig kann es oft sein, bei der intensiven Metamorphose zu entscheiden, welche Strukturen eventuell relict primäre sein können und welche späteren Veränderungen im Gestein zugeschrieben werden müssen. Bei der Feldarbeit habe ich wiederholt bei den Hartschiefern eine so regelmässige 'Schicht'struktur gefunden, dass sich immerwieder Zweifel einstellen, ob man es nicht doch mit einer primären Sedimentstruktur zu tun hätte. Man steht oft vor der ziemlich paradoxalen Frage, ob wir bei diesen hochmetamorphen Gesteinen überhaupt sicher zwischen Schichtung und Verschieferungsebenen unterscheiden können. Ganz abgesehen von der früher schon erwähnten Unwahrscheinlichkeit, eine primäre Schichtstruktur so vollkommen intakt unter sonst so stark gefalteten und veränderten Gesteinen zu finden, glaube ich die Antwort im dem Umstand suchen zu müssen, dass die vermuteten Schichtenflächen bei näherer Beobachtung beinahe durchwegs auch Verschieferungsebenen darstellen. Und wo das nicht der Fall ist, wie in einem oben gegebenen Beispiel, wo der Pseudoquarzit überhaupt keine Verschieferung zeigt, da fehlt auch die zarte Schichtenstruktur und wir begegnen an ihrer Stelle einer schlierenartigen Bänderung, deren Entstehung aus eruptivem Material ohne Bedenken angenommen werden kann.

Die geologischen Ergebnisse im Kebnekaise scheinen mir keinen anderen Ausweg bei der Deutung des Hartschieferproblems übrig zu lassen als sich HOLMQUIST's Standpunkt von 1903 anzuschliessen, den er mit folgenden Worten zum Ausdruck bringt: »Auch in der Struktur zeigen die Hartschiefer, der gebänderte Typus nicht ausgenommen, starke mechanische Deformation, die es mir wahrscheinlich machte, dass die Hartschiefer Endprodukte der dynamischen Metamorphose seien. In Übereinstimmung hiermit wurde die sehr regelmässige Schichtstruktur der Hartschiefer am Abisko und in anderen Gebieten, wenn auch mit einigem Bedenken, als eine metamorphische Druckstruktur aufgefasst.« HOLMQUIST hat zwar diesen Standpunkt jetzt ganz aufgegeben; für die gebänderten Hartschiefer des Kebnekaisegebietes scheint mir aber aus folgenden rein geologischen Gründen keine andere Erklärung haltbar.

I. Von der Schichtstruktur abgesehen besitzen die betreffenden Gesteine durchwegs eine ultramylonitische Struktur, wo nicht eine im

<sup>1</sup> Geol. För. Förh., Bd 37 (1915), p. 668.

Verhältnis zu der kataklastischen Metamorphose sekundäre Kristallisations-schieferung sich geltend macht. Es erscheint dem Verfasser vollkommen undenkbar, dass bei einer derartigen intensiven Zermahlung der Gesteine eine primäre Schichtstruktur, wenn auch nur ganz lokal, so vollkommen unversehrt erhalten bleiben könnte. Der geschichtete Hartschiefer kommt aber auf grossen Flächen mit, trotz intensiver Mylonitisierung der Gesteine, immer gleich regelmässiger, vollkommen planparalleler Schichtstruktur vor, während alle anderen Formationen in derselben Gegend, wo noch primäre Strukturzüge erkennbar sind, durchgreifende Störungen in der Raumverteilung der Gesteinsgemengteile zeigen.

2. Im Felde können die Hartschiefer oft nicht von Myloniten sicher eruptiven Ursprungs abgegrenzt werden, und treten überall im engsten Zusammenhang mit denselben auf.

3. Der Hartschiefertypus tritt im Kebnekaisegebiet sowie in den verschiedensten anderen Gegenden in Nordschweden, Norwegen und Schottland, immer gerade an den grossen Überschiebungsebenen im untersten Teile der regionalen Überschiebungsscholle auf. Es wäre wohl doch mehr als eigentümlich, wenn in diesen weit auseinander liegenden Gegenden die untersten Horizonte der Scholle immer aus einer sedimentären Formation beständen, die sonst in dem geologischen Bau der betreffenden Gegend nicht vertreten ist.

4. Dieses Verhältnis wird noch eigentümlicher, wenn man bedenkt, dass die chemische Zusammensetzung der Hartschiefer keiner normalen Sedimentzusammensetzung entspricht. Die gebänderten Mylonite bestehen gewöhnlich aus einem Brei von Quarz- und Feldspattrümmern neben einem wechselnden Gehalt an Glimmermineralien. Ein Sparagmit wäre dabei ein denkbare Ausgangsmaterial für eine Hartschieferbildung. Aber Sparagmite sind keine allzu gewöhnlichen Sedimente, deren sonstige Ausbreitung gar nicht mit dem Auftreten von Hartschiefern übereinstimmt.

5. Es muss zwar zugegeben werden, dass die 'Schichtstruktur' der Hartschiefer im Felde oft sehr spontan auftreten kann; vermittelnde Strukturmodifikationen zwischen richtungslosen Myloniten und dem gebänderten Hartschiefer sind gewöhnlich nicht nachweisbar. Aber dieser strukturelle Hiatus scheint nur die natürliche Folge davon zu sein, dass die molekuläre Beweglichkeit innerhalb des Gesteines, welche die notwendige Voraussetzung einer chemischen Gliederung in Bänder sein muss, erst bei der Ultramylonitisierung hervorgerufen wird und deswegen streng an diesen Typus gebunden sein muss.

Die geologischen Aufnahmen im Kebnekaisegebiet scheinen mir deswegen durchgehend darauf zu deuten, dass der ganzen, stets an die Überschiebungsebenen gebundenen Formation der gebänderten Hartschiefer keine stratigraphische Selbständigkeit zuerteilt werden darf. Dagegen entspricht sie einem tektonischen Leithorizont von grossem, diagnostischem Wert, gebunden an den Raum, wo gerade die geologischen Voraus-

setzungen ihrer Bildung zu finden sind. Es scheint weiter unzweideutig, dass die ausgezeichnete Schichtstruktur als eine Folge der Ultramylonitisation verschiedener — im vorliegenden Falle hauptsächlich eruptiver — Gesteine gedeutet werden muss.

Gelegentlich kann man ganz deutlich beobachten, wie die mechanische Metamorphose sich in mehreren Stadien vollzogen hat. Zuerst muss gegebenermassen eine Ultramylonitisation das Gestein zu einem gleichkörnigen Brei verwandelt haben, wobei eine Diffusionsdifferentiation Anlass zu einer Bänderung gegeben hat. Etwas nachträglich muss die Verschieferung des Gesteines sich vollzogen haben, wobei die schon vorhandene chemische Differentiation in den verschiedenen Bändern auf die Verschieferungsebenen reglierend eingewirkt haben muss. Dass die tektonischen Störungen, welche die im festen Gestein sich vollziehende Metamorphose veranlassen, in verschiedenen Epochen gewirkt haben müssen, davon kann man sich übrigens auf mehreren verschiedenen Lokalitäten bestimmt überzeugen, indem ein schon fertiggebildeter gebänderter Ultramylonit wieder aufgebröckelt, wieder mylonitisiert werden kann, wobei im Verhältnis zu der ersten Verschieferung sich neue abweichende Verschieferungsrichtungen entwickeln können.

Mit der vorhergehenden Auseinandersetzung habe ich nicht verneinen wollen, dass unter den Ultramyloniten und Hartschiefern des Kebnekaisegebietes nicht auch ursprüngliche Sedimente vorhanden sein können. Ich glaube im Gegenteil, dass Gesteinen weit verschiedenen Ursprungs ein so gleichartiger Habitus in diesem Stadium der Metamorphose aufgedrückt werden kann, dass eine Entscheidung oft unmöglich ist. Der jetzt vorhandenen Schichtstruktur bei den Hartschiefern scheint man doch aus oben angeführten Gründen jede Beweiskraft absprechen zu müssen. Die Verhältnisse im Kebnekaise haben den Verfasser zu der Überzeugung geführt, dass selbst die zarteste 'Schichtstruktur' eine sekundäre durch die Metamorphose hervorgerufene Erscheinung sein kann und also ebenso leicht aus Sedimenten als aus massigen Gesteinen entstehen kann.

Versagen petrographische und chemische Bestimmungsmethoden bei der Untersuchung von Gesteinstypen dieser Art, dann muss man selbstverständlich sich auf möglichst genaue geologische Daten zur Entscheidung der Genesis verlassen. Im vorliegenden Falle scheinen alle Beobachtungen auf massige Gesteine als Ausgangsmaterial der Kebnekaise Hartschiefer hinzudeuten, obwohl ein dem ursprünglichen Gestein sowohl strukturell als mineralogisch und chemisch vollkommen abweichendes Endglied der Metamorphose vorliegt, dessen Natur aber gerade durch seine geologische Entwicklung eine annehmbare Erklärung finden dürfte.

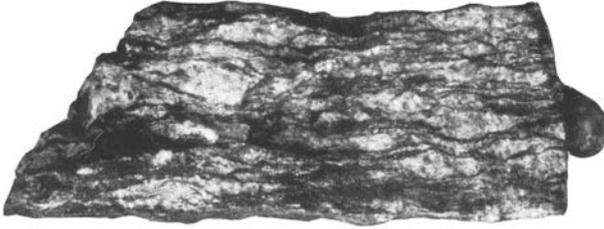


Fig. 1. Mylonitgneiss, Kebnetjåkko. Nat. Grösse.

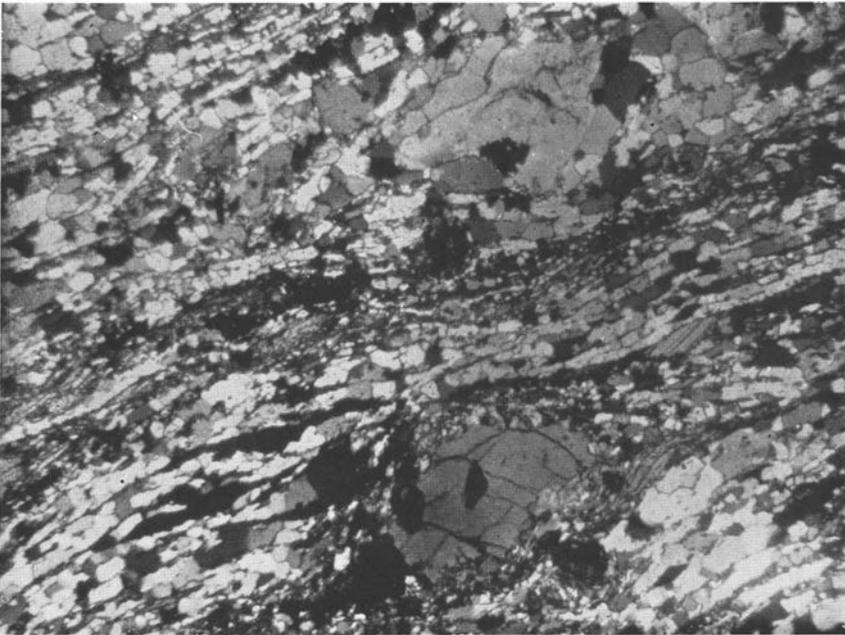


Fig. 2. Mylonitgneiss, Kebnetjåkko.  
Mikrophotographie von Fig. 1, zeigt die Kombination von Kataklaste  
und Kristallisationsschieferung.

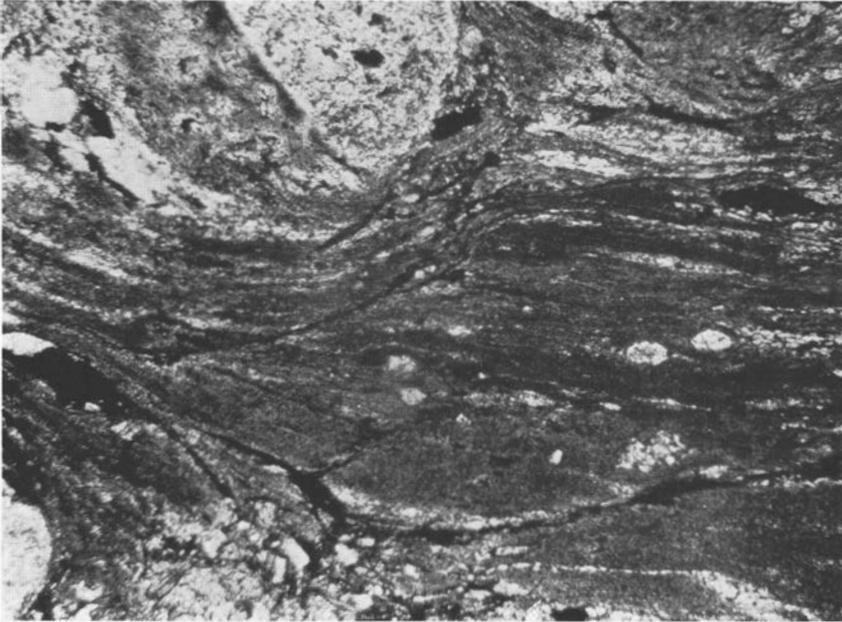


Fig. 1. Mylonit, Tjäcktjavagge, Richtungslose Mylonitisierung und sekundärer Fluidalstruktur.

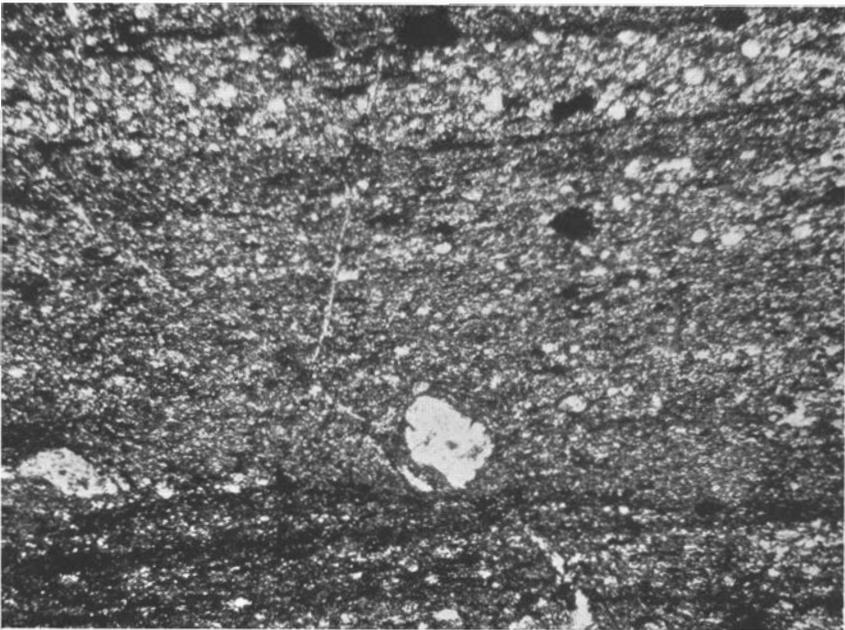


Fig. 2. Ultramylonit, Tjäcktjavagge, mit Andeutung beginnender Bänderung.



Fig. 1. Hartschiefer, Savovagge. Nat. Grösse. Zeigt u. d. M. noch deutliche Porphyroklasten eruptiven Ursprungs.

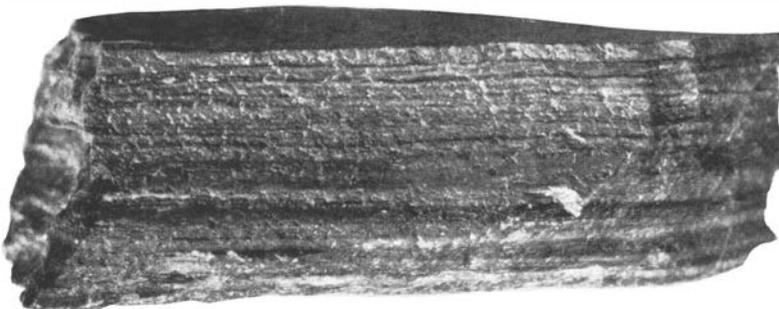


Fig. 2. Quarzitischer Hartschiefer, Tarfalavagge. Nat. Grösse.



Hartschifer, Ladjovagge. Nat. Grösse.

Die in dem hellen quarzitären Teil äquidistant eingelagerten dunklen Ränder sind mit Clorit belegte Verschiebungsflächen; die dunklen Streifen links sind an dunklen Mineralien reichere Bänder. Im quarzitären Teil ist noch relikte Kataklastik neben später eingetretene Kristallisationsschieferung wahrzunehmen.