

Zeitschrift: Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen = Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie
Band: 53 (1973)
Heft: 1

Artikel: Die quantitative Erfassung von Migmatiten im Aufschlussbereich (Erläutert am Beispiel des Lauterbrunner Kristallins)
Autor: Rutishauser, Heinz
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-41375>

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 27.01.2026

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

Die quantitative Erfassung von Migmatiten im Aufschlussbereich

(Erläutert am Beispiel des Lauterbrunner Kristallins)

Von *Heinz Rutishauser* (Bern)*)

Mit 20 Textfiguren und 1 Kartenbeilage

Zusammenfassung

Die quantitative Erfassung von Migmatiten ist weitgehend von einer dem Objekt angepassten Kartierung abhängig. Da die Kartiereinheiten bei migmatitischen Gesteinen meist sehr klein sind, versagen die konventionellen Methoden der geologischen Aufnahme.

In der hier vorgeschlagenen Methode der Kartierung werden extrem vergrösserte Flugaufnahmen als Unterlagen für die Feldaufnahmen verwendet, was ein reproduzierbares Kartieren kleinster Gesteinseinheiten mit Hilfe von Identifikationen zweiter Ordnung ermöglicht. Die Verbindung von der Zentralprojektion der photographischen Flugaufnahme zur Orthogonalprojektion der geologischen Karte wird durch ein System korrespondierender Punkte hergestellt.

Eine weitere Voraussetzung für die quantitative Erfassung von Migmatiten sind sehr gute Aufschlussverhältnisse, die in der Schweiz in grösseren Flächen nur in den Vorfeldern der sich seit längerer Zeit zurückziehenden Gletscher vorhanden sind. Einer gezielten Handstückentnahme, wie sie für die Untersuchung von Migmatiten unbedingt nötig ist, sind die vom Gletscher freigegebenen, polierten Felsen allerdings sehr hinderlich. Deshalb wurde ein neuartiges, von einer Person allein transportierbares Kernbohr-Gerät für die Handstückentnahme verwendet.

Die auf Grund der detaillierten Feldaufnahme erkannte Zonierung des Lauterbrunner-Kristallins und die Resultate der quantitativen Erfassung der in diesem Kristallin enthaltenen Schollenkomplexen (vorwiegend Amphibolite, Kalksilikatgesteine und Marmore) führten zu neuen Erkenntnissen, die im Gegensatz zu der bis jetzt entwickelten Ansicht stehen, wonach die nördliche Zone des Aarmassivs durch eine Intrusion einer granitischen Schmelze in einen bereits vorhandenen Gesteinskomplex entstanden sein soll.

Das Lauterbrunner-Kristallin ist vielmehr ein in situ entstandener, mächtiger Migmatitkomplex, der in den westlich anschliessenden Kristallin-Massiven der Alpen ebenfalls aufgeschlossen ist.

*) Adresse des Autors: Dr. H. Rutishauser, Mineralogisch-Petrographisches Institut der Universität, Abteilung für Geochemie, Sahlistrasse 6, CH-3012 Bern.

Abstract¹⁾

The quantitative evaluation of migmatites is dependent on the selection of appropriate mapping scale. Since units in migmatitic rocks are generally small scale, the usual methods of geological mapping are not applicable.

In the proposed method of mapping, enlarged air-photographs are used as a base for the field-work, which allow reproducible mapping of the smallest rock-units with the aid of identifications of second order. The exact relationship between the central-projection of the air-photo and the orthogonal-projection of the geological map is set up by a system of corresponding points.

A further requirement for the quantitative evaluation of migmatites is very good outcrops, which in Switzerland are found in larger areas only in the front of glaciers which have been receding over long intervals. The surface polished by glaciers allow for selective sampling. For this study a new portable drill-coring machine has been designed.

The detailed mapping revealed different zones in the Lauterbrunner Crystalline Complex and these together with the results of the quantitative evaluation of the xenoliths which are an inherent part of the complex, lead to new hypothesis. Previous ones envisages the formation of the Lauterbrunner Crystalline Complex as an intrusion of a granitic melt into a preexisting rock-complex. The present study of the Lauterbrunner Crystalline Complex suggests that it is a large migmatite complex formed in situ, the continuation of which can be found in other crystalline massifs of the alps, situated more to the west.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	100
1. Problemstellung	101
2. Das Untersuchungsgebiet	101
3. Methodik	104
3.1. Kartierung	104
3.2. Probeentnahme	108
4. Resultate der Untersuchungen	109
4.1. Allgemeines	109
4.2. Die quantitative Erfassung homogener Teilbereiche und aus homogenen Teilbereichen bestehenden Einheiten	110
4.3. Resultate der auf Grund der grossmassstäblichen Kartierung synoptischen Betrachtungsmöglichkeit der untersuchten Aufschlussfläche	116
Literaturverzeichnis	119

VORWORT

Die vorliegende Arbeit ist eine stark gekürzte Fassung einer detailreichen Untersuchung des Lauterbrunner-Kristallins. Die als Dissertation mit dem gleichen Titel an der Universität Bern abgefasste Originalarbeit umfasst 344 Seiten (130 Tafeln, 46 Figuren und 12 Tabellen). Sie kann an den folgenden Stellen eingesehen oder entliehen werden:

¹⁾ Herrn Dr. B. Gulson sei an dieser Stelle für die Korrektur des Abstract herzlich gedankt.

- Eidgenössische Landesbibliothek, Bern.
- Stadt- und Universitätsbibliothek, Bern.
- Mineralogisch-Petrographisches Institut der Universität Bern, Sahlistrasse 6, Bern.

Die Ausarbeitung der Feldarbeiten wurde dank einer vom Nationalfonds finanzierten Assistentenstelle an der Abteilung für Geochemie des Mineralogisch-Petrographischen Institutes an der Universität Bern ermöglicht. Dem Leiter dieser Abteilung, Herrn Prof. Dr. Th. Hügi, bin ich zu grossem Dank verpflichtet. Herrn M. Zurbuchen, Dipl.-Ing. ETH und Lektor für Photogrammetrie an der Universität Bern, danke ich für die Unterstützung bei der Kartierung und Herrn H. Gugger, Dipl.-Ing. ETH, für die Überlassung seines damals in Entwicklung begriffenen Schlagbohreinsatzes zum Bohren von Steinkernen. Im weiteren möchte ich Herrn Oberförster R. Schwammberger danken, der es mir in seiner Funktion als Obmann des Bergrates des Schweizerischen Naturschutzgebietes im Oberen Lauterbrunnental ermöglichte, die Hütte des Naturschutzes auf Oberhorn als Standquartier zu benützen.

1. PROBLEMSTELLUNG

Migmatite weisen fast ausschliesslich regionale Dimensionen auf. Ihre kleinsten, gegenseitig abgrenzbaren Teilbereiche sind dagegen meist sehr klein. Grundlegend für die quantitative Erfassung von Migmatiten sind deshalb grossmassstäbliche Kartierungen, deren Massstäbe auf die Grösse der abgrenzbaren Teilbereiche abgestimmt sind.

Als Hauptproblem der vorliegenden Arbeit stellt sich die Frage, ob die geologische Kartierung nach der methodischen Seite so erweitert werden kann, dass mit möglichst wenig Zeitaufwand komplizierte Durchdringungsstrukturen von migmatitischen Gesteinen über möglichst grosse Aufschlussflächen mit optimaler Genauigkeit kartiert werden können.

Bei grösser werdendem Massstab können immer kleinere Objekte abgebildet werden, wobei die von der Kartierung erfassbare Fläche allerdings auch immer kleiner wird. Werden dagegen, verteilt über einen migmatitischen Körper, verschiedene Aufschlussflächen im Detail kartiert, so sind die Voraussetzungen für eine unvollständige Induktion gegeben, das heisst, es können den ungeprüften Fällen hypothetisch die Eigenschaften zugeschrieben werden, die den geprüften ausnahmslos eigen sind.

Leider war es im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich, verschiedene Aufschlussgebiete im gleichen Gesteinskörper mit Hilfe der an einem Beispiel erarbeiteten Methode zu untersuchen. Dessen ungeachtet stellt sich die Frage, ob die am Einzelfall gewonnenen petrologischen Einsichten für den gesamten Gesteinskörper Gültigkeit haben.

2. DAS UNTERSUCHUNGSGEBIET

Das Untersuchungsgebiet liegt im Oberen Lauterbrunnental, dem Einzugsgebiet der Weissen Lütschine oberhalb Stechelberg (Berner Oberland).

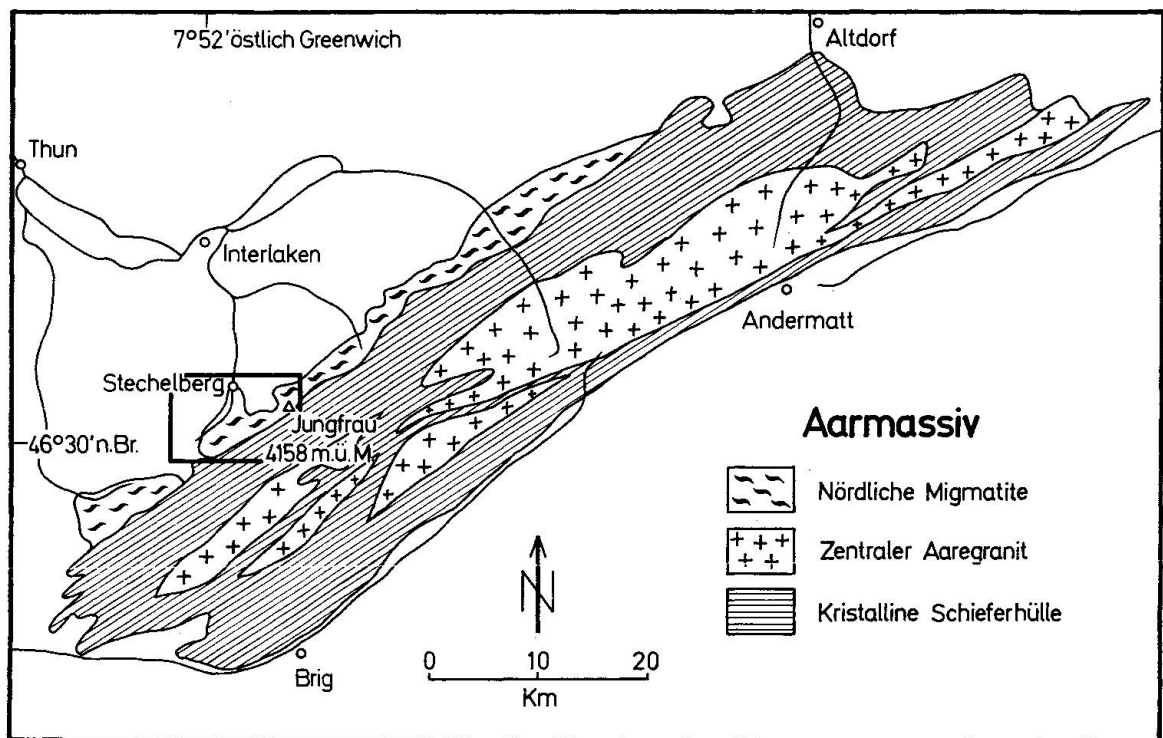


Fig. 1. Lage des Lauterbrunner-Kristallins im Aarmassiv. Zu den nördlichen Migmatiten gehören die über die Gipfelregion der Jungfrau miteinander in Verbindung stehenden, identischen Kristallin-Komplexe von Lauterbrunnen und Innertkirchen. Eng verwandt mit diesen Gesteinen ist der im Westen anschliessende Gastern-Migmatitgranit, der als Palingenit mit dem Lauterbrunner-Kristallin am Absturz der Kanderfirs (Alpetli-Gletscher) einen echten Intrusivkontakt bildet.

Im Oberen Lauterbrunnental ist das Lauterbrunner-Kristallin, das die westliche Fortsetzung des Innertkirchner-Kristallins bildet, aufgeschlossen. Beide Kristallgebiete gehören zu den nördlichen Migmatiten des Aarmassivs (Fig. 1). Die nördlichen Migmatite entsprechen in der bis anhin üblichen Nomenklatur der Gastern-Innertkirchner-Granitzone (HÜGL, 1956, Tafel V; GWINNER, 1971, Abb. 347).

Geographische Lage des detailliert kartierten Bereiches (ca. 50 000 m²) im Lauterbrunner-Kristallin:

- Nördliche Breite: 46° 29' 57"
- Östliche Länge: 7° 52' 02"
- Koordinaten im offiziellen Landesnetz: 632 800/149 750

Fig. 2. Oberes Lauterbrunnental mit Weissler Lütschine (WL), Oberhornsee (O), Tschingelgletscherzunge (T) und Breithorngletscher (B). Der im Übersichtsplan 1/10000 als Wetterlückengletscher (W) bezeichnete Seitenarm des Breithorngletschers bedeckte noch vor ca. 40 Jahren das in der Aufnahme umrahmte und im Detail kartierte Gebiet des Lauterbrunner-Kristallins. Zu beachten ist, dass die Karte (Tafel-Beilage) gegenüber der Photographie um ca. 180 Grad gedreht ist. Flugaufnahme H. Rutishauser, 11. September 1966, 1800 Meter über Grund.



Vergleiche mit den folgenden Kartenwerken:

- Landeskarte der Schweiz
1/50 000, Blatt Jungfrau, Nr. 264
- Übersichtsplan (Grundbuchvermessung)
1/10 000, Blatt 1248,4; Tschingelhorn
- Geologische Spezialkarte der Schweiz, Nr. 113
1/25 000, Carte Géologique de la Chaîne de la Jungfrau
L. W. COLLET et ED. PARÉJAS (1928)
- Geologische Generalkarte der Schweiz
1/200 000, Blatt Sion, Nr. 6
- Geologische Karte der Schweiz
1/500 000 (A. SPICHER, 1972)

Das untersuchte Gebiet gehört zu den weitgehend schuttfreien Aufschlüssen, die durch den starken Gletscherrückgang der letzten Jahrzehnte im Oberen Lauterbrunnental freigegeben worden sind. (Fig. 2, vergleiche mit RUTISHAUSER, 1968, 1971, 1972.)

3. METHODIK

3.1. Kartierung

Die kartographische Erfassung homogener Teilbereiche (MEHNERT, 1968, S. V) von migmatitischen Körpern bedingt grossmassstäbliche Kartierunterlagen (siehe zum Beispiel SEDERHOLM, 1967, S. 20 und S. 111). Die offiziellen Kartenwerke genügen den Anforderungen unseres speziellen Problems aus massstäblichen Gründen nicht. Hervorzuheben ist zudem, dass jede topographische Karte ein schematisches Abbild der Erdoberfläche darstellt, und nur ein kleiner Teil des Karteninhaltes ist im Gelände den entsprechenden Punkten und Linien eindeutig zuordbar (vgl. dazu HELBLING, 1948, S. 36). Benutzt man dagegen Photographien (im vorliegenden Fall Flugaufnahmen), die praktisch unendlich viele Dingpunkte des Dingraumes enthalten, wobei Bildpunkte den Dingpunkten (und umgekehrt) einander eindeutig zuordbar sind, dann ist es ohne weiteres möglich, durch Identifikationen auch die kompliziertesten geologischen Formen linienmässig, rasch und reproduzierbar festzuhalten.

Der Begriff der Identifikation ist ausserordentlich wichtig in der Methode der Luftbildinterpretation. Vom ITC (International Training Centre for Aerial Survey, Delft, Holland) stammt die folgende Definition (FINSTERWALDER und HOFMANN, 1968, S. 395):

Identifikation = das Erkennen von Formen und Gegenständen aller Art auf Luftbildern.

Die Identifikation weiter gefasst heisst, ein Objekt, das in der Photographie abgebildet ist, in der Natur auffinden, oder umgekehrt, ein Objekt in der Natur seiner entsprechenden Abbildung auf der Photographie zuordnen. Wenn das zu Identifizierende in der Photographie nicht abgebildet ist, kann es in einer Flugaufnahme mit Hilfe der unzähligen Anhaltspunkte dennoch lagerichtig und flächentreu eingezeichnet werden. Dieses Vorgehen wird in der Folge als Identifikation zweiter Ordnung bezeichnet.

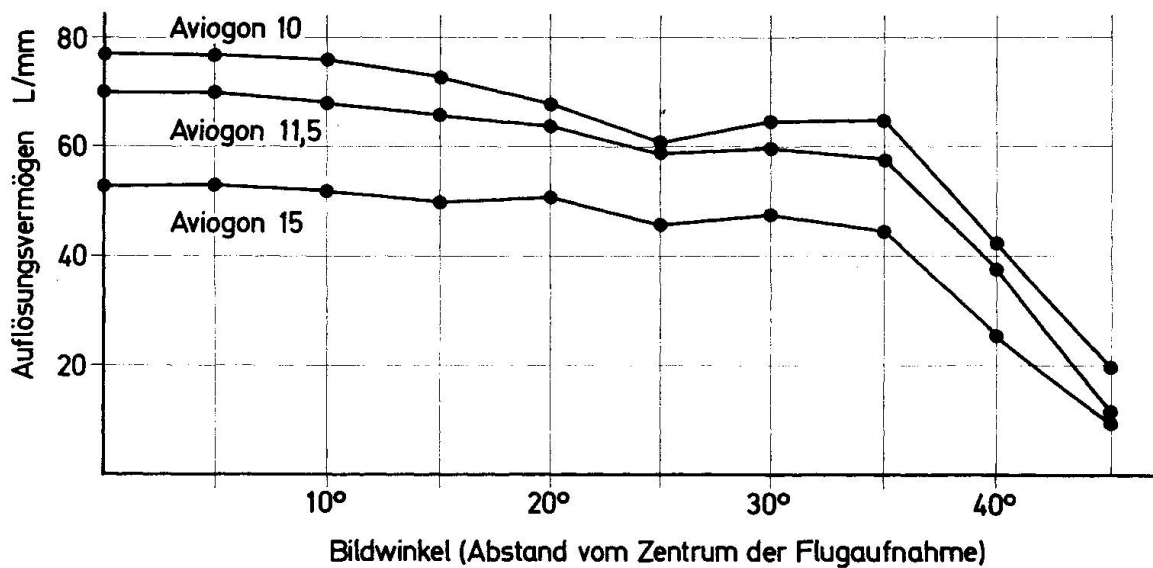


Fig. 3. Auflösungsvermögen von Wild-Objektiven des Typus Aviogon mit den Brennweiten 10 cm, 11,5 cm und 15 cm. Die Daten der Objektive wurden von der Firma Wild AG, Heerbrugg, Schweiz, freundlicherweise für die vorliegende Untersuchung zur Verfügung gestellt.

Die Grösse der noch distinkt in der Photographie abgebildeten Bildpunkte hängt unter anderem auch vom Auflösungsvermögen (AV) des Aufnahmeobjektives ab. In Fig. 3 ist das AV (Linien pro mm = L/mm) der gebräuchlichsten Wild-Objektive vom Typus Aviogon in Abhängigkeit des Bildwinkels aufgetragen. Aus Fig. 3 ist ersichtlich, dass bis zu einem Bildwinkel von 35° mit einem AV von 50 und mehr L/mm gerechnet werden darf. Daraus lässt sich die Beziehung zwischen der abzubildenden Objektgrösse und dem kleinsten noch zulässigen Bildmassstab der Flugaufnahme berechnen (Fig. 4). Die Möglichkeit, den Bildmassstab zu wählen, ist allerdings begrenzt, da dieser bei einer Flugaufnahme von der Flughöhe und dem verwendeten Objektiv abhängig ist (Fig. 5).

Das Lauterbrunner-Kristallin weist migmatitischen Charakter mit vorwiegend Schollen-Struktur («raft-structure», MEHNERT, 1968, S. 10) auf. Entsprechend der Häufigkeit von Schollen in der Grössenordnung von 25 cm ist

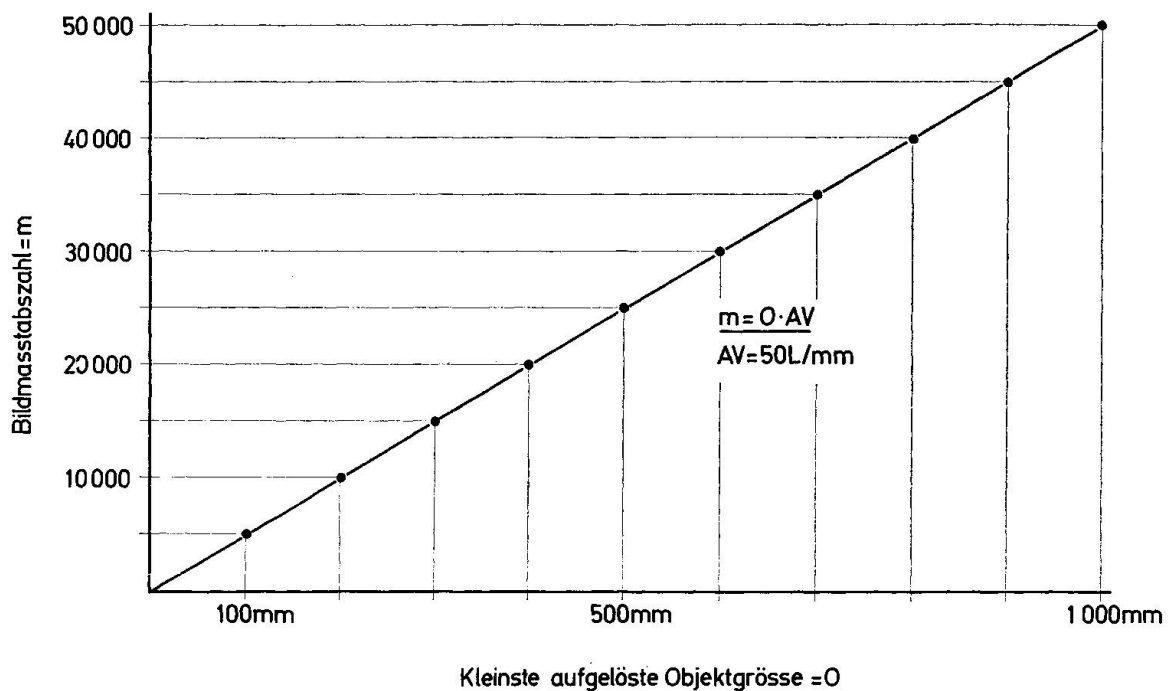


Fig. 4. Beziehung zwischen der kleinstmöglichen Bildmassstabszahl (m) und der aufgelösten Objektgrösse (o) bei einem Auflösungsvermögen (AV) von 50 Linien pro mm (L/mm). Sollen in einer Flugaufnahme z. B. Gegenstände in der Grössenordnung von 100 mm noch distinkt abgebildet werden, dann darf der Bildmassstab nicht kleiner sein als $1/5000$. Obschon die Abbildungsqualität nicht allein vom AV der Aufnahmeobjektive abhängt, sind Berechnungen auf Grund des labormässig ermittelten Auflösungsvermögens eines Objektives sehr nützlich für die Planung von Flugaufnahmen.

der Massstab $1/250$ der günstigste, um das Gestein kartographisch zu erfassen (berechnet auf Grund der kleinstmöglichen zeichnerischen Darstellbarkeit von 1 mm). Damit Objekte dieser Grösse in der Flugaufnahme noch erkennbar sind, ist ein Bildmassstab von $1/12\,500$ nötig (Fig. 4). Selbstverständlich ist nicht zu erwarten, dass in der Flugaufnahme Migmatitstrukturen selbst abgebildet werden. Für eine Identifikation zweiter Ordnung genügt es, wenn Objekte (z. B. Gerölle, Schlagschatten) in der geforderten Grössenordnung erkennbar und damit identifizierbar sind.

Ein Bildmassstab von $1/12\,500$ erfordert bei Verwendung eines Objektives mit 15 cm Brennweite eine Flughöhe von 1875 m über Grund (Fig. 5). Die Verhältnisse im Oberen Lauterbrunnental (Relief, Verlauf des Tales) liessen sogar eine minimale Flughöhe von 1000 m über Grund zu, was einen Bildmassstab von ca. $1/6600$ ergab. Um eine massstabsgerechte Kartierunterlage ($1/250$) für die Feldarbeit zu erhalten, war es nötig, die Flugaufnahme 26mal linear zu vergrössern. Die Qualität des heute verwendeten Aufnahmемaterials ist derart gut, dass im vorliegenden Fall selbst Gegenstände kleiner als 25 cm identifizierbar waren.

Durch die extreme Vergrösserung entsteht nun aber ein Missverhältnis zwi-

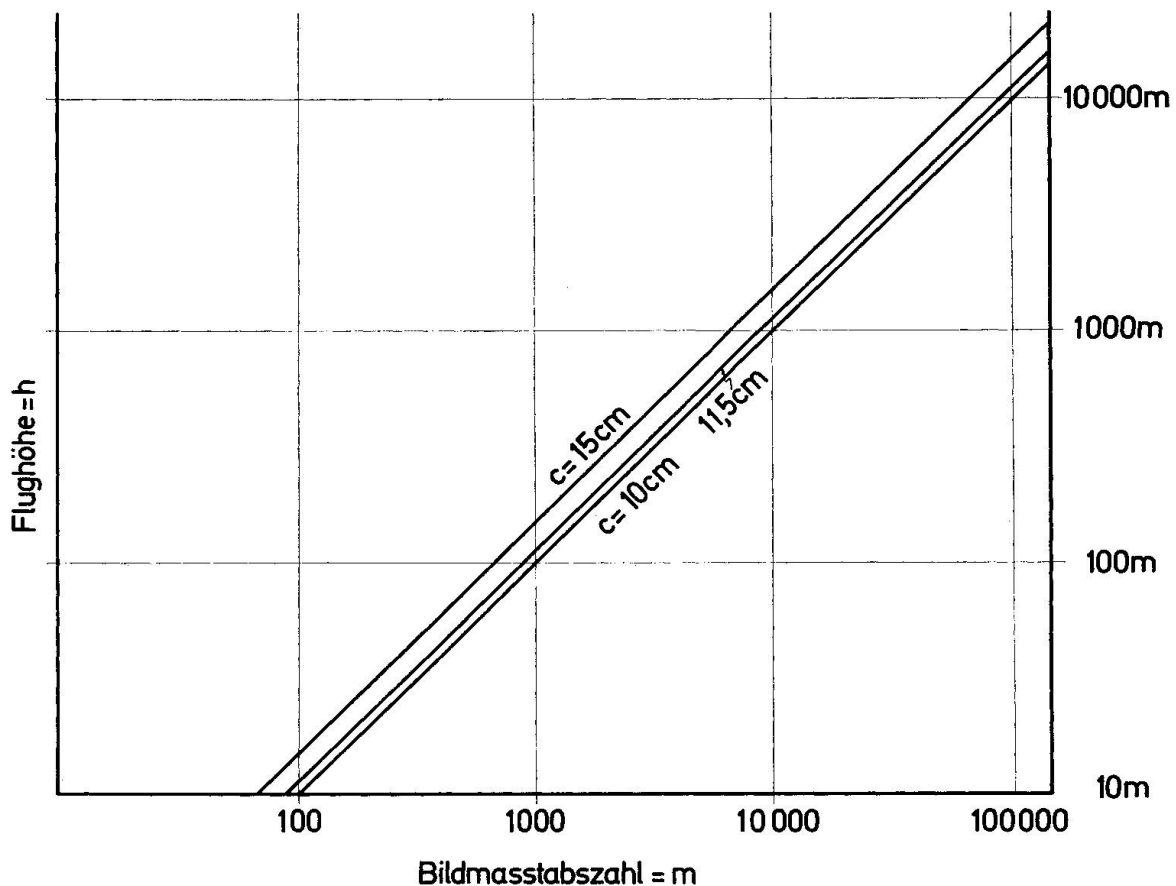


Fig. 5. Beziehung zwischen Flughöhe (h) und Bildmassstabszahl (m) für Objektive (Typus Aviogon) mit verschiedenen Brennweiten (c).

schen Kartiermassstab und ursprünglichem Bildmassstab der Flugaufnahme, was eine gleichzeitige Auswertung der topographischen Formen und der Identifikationen mit Hilfe des Stereoautographen nicht mehr erlaubt (vgl. dazu HELBLING, 1948, S. 16 und S. 20, 21). Die komplexe Formenmannigfaltigkeit der Identifikationen auf der zentralperspektivischen Ausschnittvergrößerung einer Flugaufnahme kann in diesem Fall nur mit Hilfe einer Entzerrung in die orthogonale Projektion der Karte übertragen werden. Voraussetzung für eine Entzerrung ist die Kenntnis der Lage von 4 Geländepunkten, die in der Luftaufnahme abgebildet sind. Eine fehlerfreie Entzerrung ist allerdings nur von einer idealen Ebene möglich, und da dies praktisch kaum je der Fall sein wird, bilden die Höhenunterschiede innerhalb der zu entzerrenden Fläche die Hauptfehlerquelle. Für Nadiraufnahmen ist die radiale Versetzung der Bildpunkte gegenüber den Bildpunkten des Grundrisses leicht ableitbar (FINSTERWALDER und HOFMANN, 1968, S. 208ff.). Die Berechnung zeigt deutlich, dass eine Entzerrung von grösseren Aufschlussflächen mit sehr grossen Fehlern behaftet sein muss. Es besteht nun aber die Möglichkeit, die Geländeoberfläche in lauter annähernd ebene Teilstücke verschiedener Stellung und

Neigung zu zerlegen und Stück für Stück zu entzerren (differentielle Entzerrung). Dies bedingt wiederum pro Flächeneinheit 4 Punkte, deren Lage bekannt sein muss und die auf der Luftaufnahme abgebildet sind.

Praktisches Vorgehen bei der Kartierung

1. Auswertung von Flugaufnahmen mit Hilfe des Stereoautographen (vergleiche mit ZURBUCHEN und RUTISHAUSER, 1967) in grösstmöglichem Massstabsbereich. Die Auswertung ergibt die Topographie, die Orientierung im Landesnetz, die Kartierung grösserer geologischer Objekte und ein System korrespondierender Punkte, d. h. Punkte, deren Lage durch die Auswertung bekannt ist und die auf der Photographie identifiziert worden sind. Nachträgliche Vergrösserung der Auswertung auf den gewünschten Kartenmassstab, d. h. Anpassung an den Massstab der vergrösserten Luftaufnahme, die für die geologische Feldkartierung verwendet wird.
2. Übertragen der korrespondierenden Punkte auf eine Ausschnittvergrösserung der Luftaufnahme, deren Bildmassstab der Grösse der zu kartierenden Objekte angepasst ist. Feldkartierung.
3. Differentielle, optische Entzerrung mit Hilfe der korrespondierenden Punkte.

Bei Verwendung von Helikoptern wäre es ohne weiteres möglich, die Flughöhe so abzustimmen, dass der Originalmassstab der Flugaufnahme sowohl den Anforderungen der instrumentellen Auswertung wie der Feldkartierung entsprechen würde. Erfolgreiche Versuche wurden von ROBISON und WHITEM, 1967, durchgeführt. In diesem Falle wäre eine differentielle Entzerrung überflüssig, und es könnte die Topographie und die Feldidentifikationen in einem Arbeitsgang ausgewertet werden.

3.2. Probeentnahme

In migmatitischen Gesteinen sollte die Probeentnahme gezielt und reproduzierbar erfolgen. Die Reproduzierbarkeit wird durch eine grossmassstäbliche, detailreiche Kartierung gewährleistet. Problematisch ist das gezielte Schlagen von Handstücken an gletschergeschliffenen Aufschlüssen. Der grösste Teil der Handstücke wurde deshalb für die vorliegende Untersuchung mit Hilfe einer von einer Person allein transportierbaren Bohrmaschine entnommen («Kobra» der Firma Atlas Copco, Schweden, mit besonderem Einsatz²⁾ für das Bohren von Steinkernen, siehe Fig. 6). Fig. 7 zeigt, mit welcher Präzision gezielte Proben mit diesem Gerät entnommen werden können.

²⁾ Bezugsquelle für den speziellen Schlagbohreinsatz: H. Gugger, Dipl.-Ing. ETH, Brühlzelgli, 3232 Ins, Schweiz.

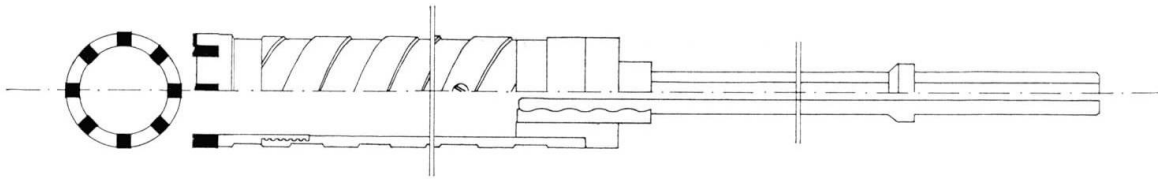


Fig. 6. Einsatz für das Trocken-Bohren von Steinkernen mit der handelsüblichen Bohrmaschine «Kobra» (Firma Atlas Copco, Schweden). Durchmesser des Kernes 4,5 cm. Grösstmögliche Länge des Kernes 50 cm. Der Einsatz besteht aus drei ineinanderschraubbaren Teilen: Dem Ansatzstück, dem Rohr und der Krone, in die Hartmetall-Zähne eingesetzt sind.

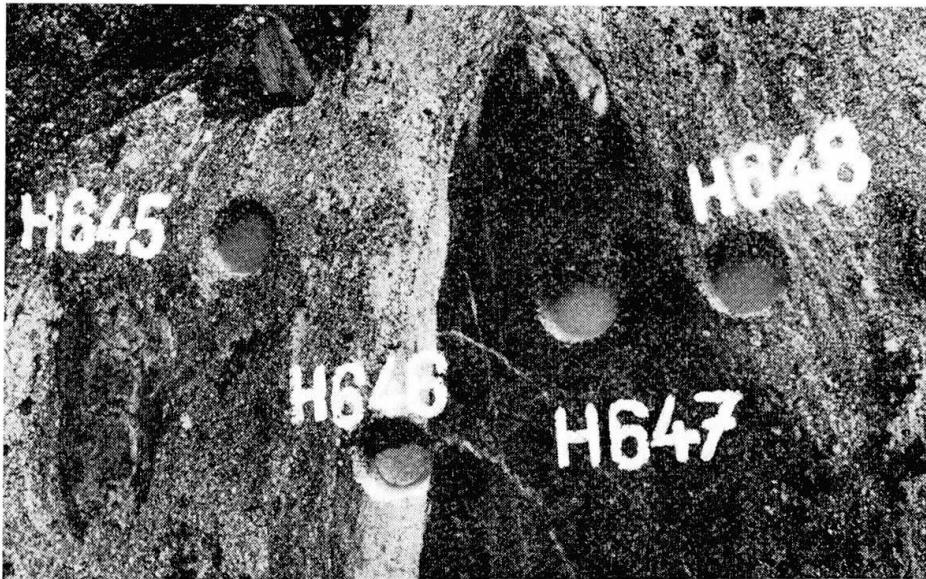


Fig. 7. Beispiel einer gezielten Probeentnahme in einer vom Gletscher polierten Aufschlussfläche. Durchmesser der Bohrlöcher 7 cm. Länge der Bohrkerne ca. 5 cm.

4. RESULTATE DER UNTERSUCHUNGEN (VERGLEICHE MIT DER KARTENBEILAGE)

4.1. Allgemeines

Eine grossmassstäbliche Kartierung ermöglicht:

- A. Homogene Teilbereiche quantitativ zu erfassen und durch ein additives Verfahren in grössere Einheiten zusammenzufassen. Verschiedene Bereiche von migmatitischen Körpern können so gegenseitig verglichen werden. Sind graduelle Übergänge von weniger metamorphen zu anatektischen Gesteinen vorhanden, erlaubt das Vorgehen unter anderem auch die Frage abzuklären, ob eine Anatexis in situ oder unter Stoffzufuhr stattgefunden hat.
- B. Eine synoptische Betrachtung komplexer Gesteinsstrukturen, d. h., ein grösserer Aufschlussbereich wird überschaubar (vgl. dazu SEDERHOLM, 1907; 1967, S. 20).

4.2. Die quantitative Erfassung homogener Teilbereiche und aus homogenen Teilbereichen bestehenden Einheiten

Bis jetzt ist nur ein Aufschlussbereich von ca. 50 000 m² im Lauterbrunner-Kristallin grossmassstäblich kartiert worden. Es fehlen somit die Vergleichsmöglichkeiten mit anderen Aufschlussbereichen, und es ist verfrüht, Stoffbilanzen zu berechnen. Exemplarisch kann allerdings gezeigt werden, dass die erarbeitete Feldmethode ausserordentlich rasch die notwendigen Grundlagen für die quantitative Erfassung von migmatitischen Gesteinen zu liefern vermag. Der zeitliche Aufwand, unter Ausklammerung der im Hinblick auf eine Publikation nachträglichen kartographischen Ausarbeitung, betrug für die Karte im Massstab 1/250:

	Feldarbeit	Bureauarbeit
A. Geodätische Arbeiten. Auswertung (Topographie, identifizierte Elemente wie korrespondierende Punkte). Vergrösserung der Originalauswertung	3 Tage	5 Tage
B. Feldkartierung	8 Tage	—
C. Differentielle Entzerrung	—	8 Tage
	11 Tage	13 Tage

Bei entsprechender Übung und Sachkenntnis ist es ohne weiteres möglich, eine Karte wie die vorliegende in 11 Tagen Feldarbeit und 13 Tagen Bureauarbeit soweit vorzubereiten, dass diese als Grundlage für Messungen verwendet werden kann. Die topographische Feldarbeit reduziert sich somit auf ein Minimum, und der Grossteil der Zeit bleibt für geologische Erhebungen. Dazu gehört an erster Stelle das Ausscheiden kleinster Teilbereiche. Diese Aufgabe kann nur mit Hilfe feldgeologischer Beobachtungen gelöst werden. Nachträgliche Laboruntersuchungen können einzig für die Stoffberechnungen entscheidend sein, eine im Felde einmal getroffene Grenzziehung aber nicht mehr beeinflussen.

Für die quantitative Erfassung von migmatitischen Gesteinen nimmt der Begriff der Homogenität eine zentrale Stellung ein. Wenn definiert wird, dass homogene Gegenstände oder Strukturen in allen Teilen gleich beschaffen sind, hängt die Qualität der Homogenität weitgehend von der Grösse des betrachteten Teilbereiches ab.

Ob ein Gestein inhomogen oder homogen ist, muss im Felde entschieden werden. Dieser Entscheid beruht weitgehend auf einer Intuition. Die nachträglich im Labor erfolgende Untersuchung diskursiver Art hat einsinnigen Charakter und kann sich – wie bereits erwähnt worden ist – rückwirkend nicht auf Grenzziehungen zwischen Teilbereichen in migmatitischen Gesteinen auswirken.

Die Kontrollmöglichkeit, ob ein aus verschiedenen Mineralien aufgebautes Gestein auch wirklich homogen ist, das heisst, ob die Mineralien regelmässig verteilt sind, liegt bei der Modalanalyse. CHAYES (1956) hat experimentell

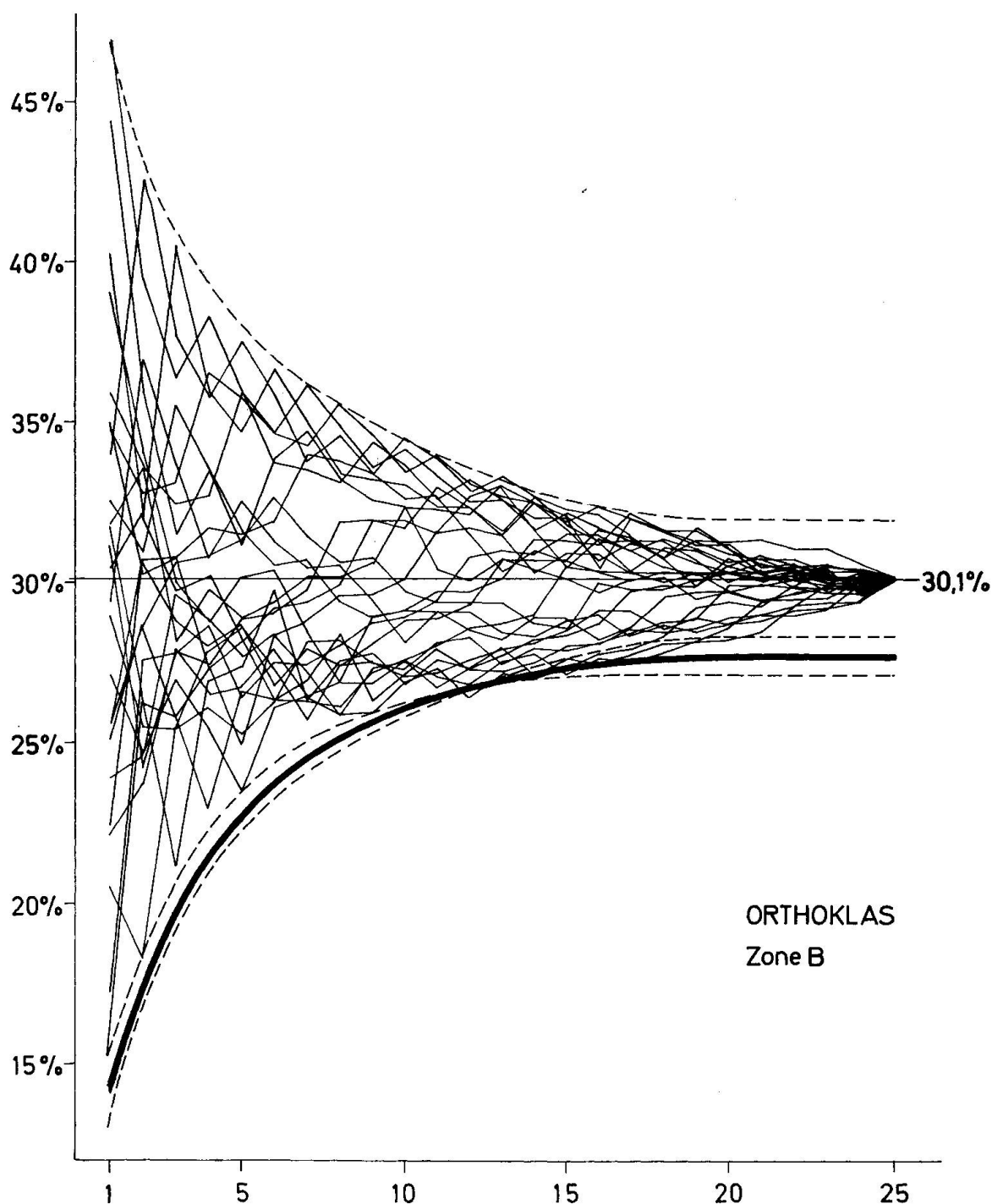


Fig. 8. Quantitativer Nachweis des Homogenitätsgrades des Gesteins der Zone B (erläutert am Beispiel des Orthoklas). Berücksichtigt wurden 25 Modalanalysen in 25 Kombinationsmöglichkeiten (ohne Änderung der Reihenfolge). Für jede Kombinationsmöglichkeit sind die Durchschnittswerte in steigender Anzahl zusammengefasster Modalanalysen verbunden worden. Die gestrichelten Kurven begrenzen maximale positive und negative Abweichungen vom arithmetischen Mittel der 25 Modalanalysen bei steigender Zahl zusammengefasster Analysen. Wenn das Gestein tatsächlich homogen ist, dann liegen diese Kurven spiegelbildlich zum arithmetischen Mittel der gesamten Zahl Analysen. Für alle Mineralien der Zone B, die im Felde als homogen taxiert worden ist, liegen diese Kurven wie das Beispiel des Orthoklas zeigt tatsächlich annähernd spiegelbildlich zum Mittelwert der gesamten Zahl Analysen.

nach statistischen Gesichtspunkten die Beziehungen zwischen Korngrösse und Grösse der zu analysierenden Dünnschliff-Fläche bestimmt. Wendet man die von CHAYES geforderten Regeln an, dann ist bei Nichtübereinstimmen der Resultate entweder das untersuchte Gestein nicht homogen oder dann sind die von CHAYES aufgestellten Regeln nicht von allgemeiner Gültigkeit. Diese Regeln wurden durch eine Analysenreihe von nach statistischen Gesichtspunkten entnommenen Proben der im Felde als homogen taxierten Zone B (vergleiche Karten-Beilage) überprüft, wobei eine gute Übereinstimmung festgestellt werden konnte.

Die quantitative Überprüfung der Homogenität mit Hilfe von Modalanalysen kann nach zwei Methoden durchgeführt werden. Steht eine grössere Anzahl von Modalanalysen zur Verfügung, können für die einzelnen Mineralien die maximalen positiven und negativen Abweichungen vom arithmetischen Mittel der gesamten Modalanalysen mit Kurven verbunden werden. Wenn das Gestein tatsächlich homogen ist, müssen dieselben spiegelbildlich bezüglich des arithmetischen Mittels verlaufen (Fig. 8).

Werden nur so viele Analysen angefertigt wie CHAYES (1956) für eine bestimmte Korngrösse und Analysenfläche vorschlägt, kann der Grad der

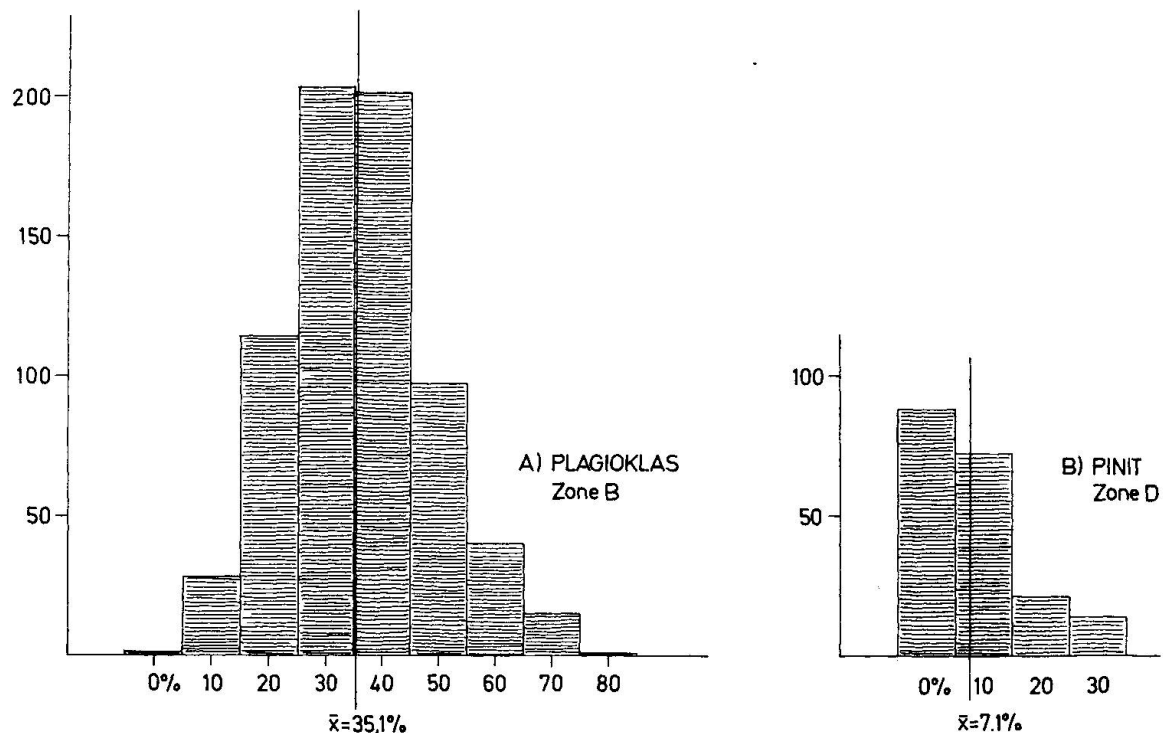


Fig. 9. Vergleich des Homogenitätsgrades der Gesteine in den Zonen B und D. Trägt man die Häufigkeit der Prozentgehalte einzelner Mineralien in der kleinsten Messeinheit bei der Modalanalyse graphisch auf, dann resultiert in einem homogenen Gestein eine annähernde Normalverteilung. Fig. 9A zeigt die Verteilung der Häufigkeit des Plagioklas im homogenen Gestein der Zone B. In Fig. 9B bestätigt die Verteilung der Häufigkeit des Pinits die Inhomogenität des Gesteins der Zone D. (Die Prozentgehalte der Mineralien pro Messlinie sind in den folgenden Klassen zusammengefasst worden: 0% = 0–4%; 10% = 5–14%; 20% = 15–25%; usw.)

Homogenität quantitativ erfasst werden, indem die Prozentgehalte der einzelnen Mineralien in der kleinsten Messeinheit der Modalanalyse berücksichtigt werden. Trägt man die Häufigkeit der Prozentgehalte der einzelnen Mineralien pro Messlinie graphisch auf, darf erwartet werden, dass in einem homogenen Gestein eine angenäherte Normalverteilung der einzelnen Komponenten resultiert (Fig. 9A). Dies ist für das homogene Gestein der Zone B tatsächlich auch für alle Mineralien weitgehend der Fall.

Anders in der Zone D, wo die Häufigkeit der Prozentgehalte der Mineralien Orthoklas und Pinit bei Berücksichtigung der kleinsten Messeinheit bei der Modalanalyse auffallend nicht normal verteilt ist (Fig. 9B). Dies stimmt mit dem Feldbefund überein, wonach das von grünen Pinitflecken durchsetzte Gestein der Zone D als deutlich inhomogen taxiert worden ist.

Über eine grössere Fläche sind die Pinitflecken allerdings regelmässig verteilt, und bezüglich eines vergrösserten Teilbereiches ist das Gestein wiederum homogen. Werden Teilbereiche in der Grössenordnung der bei der Modalanalyse berücksichtigten Fläche als grundlegend betrachtet, ist ein Gestein, das erst im vergrösserten Teilbereich homogen erscheint, als gleichmässig heterogen zu bezeichnen, weil die Bestimmung der Volumenanteile der einzelnen Mineralien mit Hilfe von Modalanalysen allein nicht mehr möglich ist.

Als zweite Messgrundlage kann in diesem Fall die Aufschlussphotographie zusätzlich verwendet werden. Die flächenmässigen Anteile unterscheidbarer, in sich homogener Partien können nach den gleichen Kriterien wie bei Modalanalysen bestimmt werden. Ist die volumenmässige Zusammensetzung der in sich homogenen Partien von gleichmässig heterogenen, abgrenzbaren Teilbereichen eines migmatitischen Körpers durch Modalanalysen bekannt, kann die durchschnittliche mineralogische Zusammensetzung eines solchen gleichmässig heterogenen Teilbereiches bestimmt werden.

Abgrenzbare Teilbereiche in migmatitischen Gesteinen können vorerst also entweder homogen oder gleichmässig heterogen sein. Beide Ausbildungen sind annähernd quantitativ und reproduzierbar erfassbar. Nur semiquantitativ und nicht reproduzierbar erfassbar sind demgegenüber ungleichmässig heterogene Gesteine, das heisst Teilbereiche von migmatitischen Gesteinen, die wohl gegenüber anderen reproduzierbar abgrenzbar sind, in denen aber Variationen verschiedener Mineralien vorkommen, die fliegend ineinander übergehen. Methodisch kann man in diesem Falle so vorgehen, dass Typen ausgeschieden werden, deren mineralogische Zusammensetzung auf Grund von Modalanalysen bekannt ist. Anschliessend sind die flächenmässigen Anteile dieser Typen durch Abtasten mit einem Quadratnetz zu bestimmen. Ein Beispiel eines solchen ungleichmässig heterogenen Teilbereiches stellt das Hauptgestein der Zone C dar (vergleiche mit der Karten-Beilage). Dieses wurde im kartierten Bereich in 194 mehr oder weniger gleich grosse Areale eingeteilt und einzeln mit Hilfe eines Quadratnetzes abgetastet (Fig. 10).

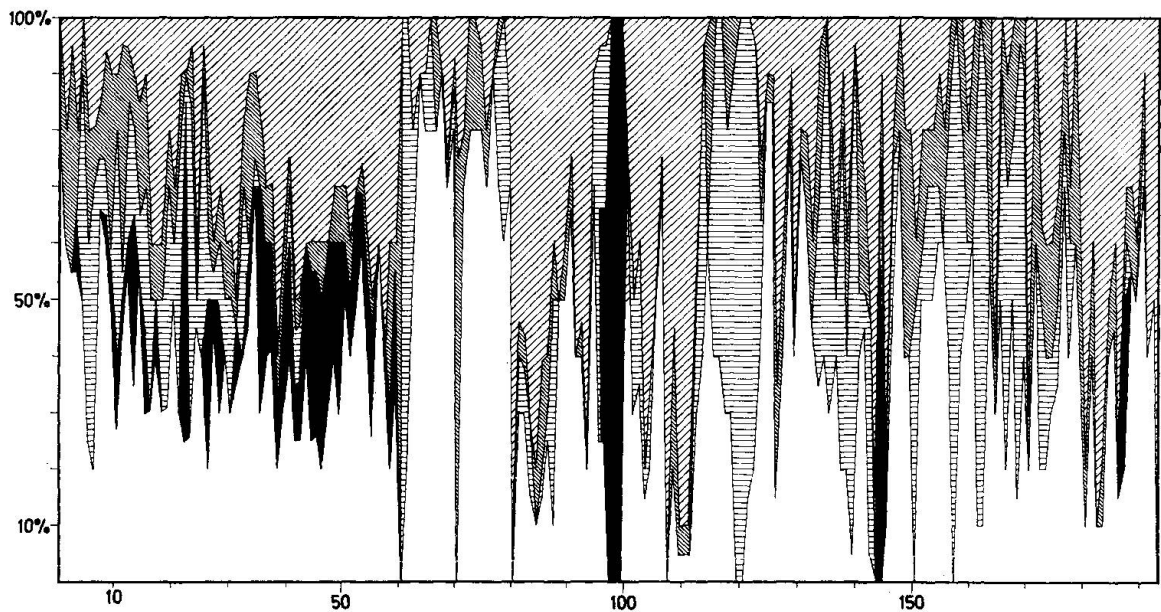
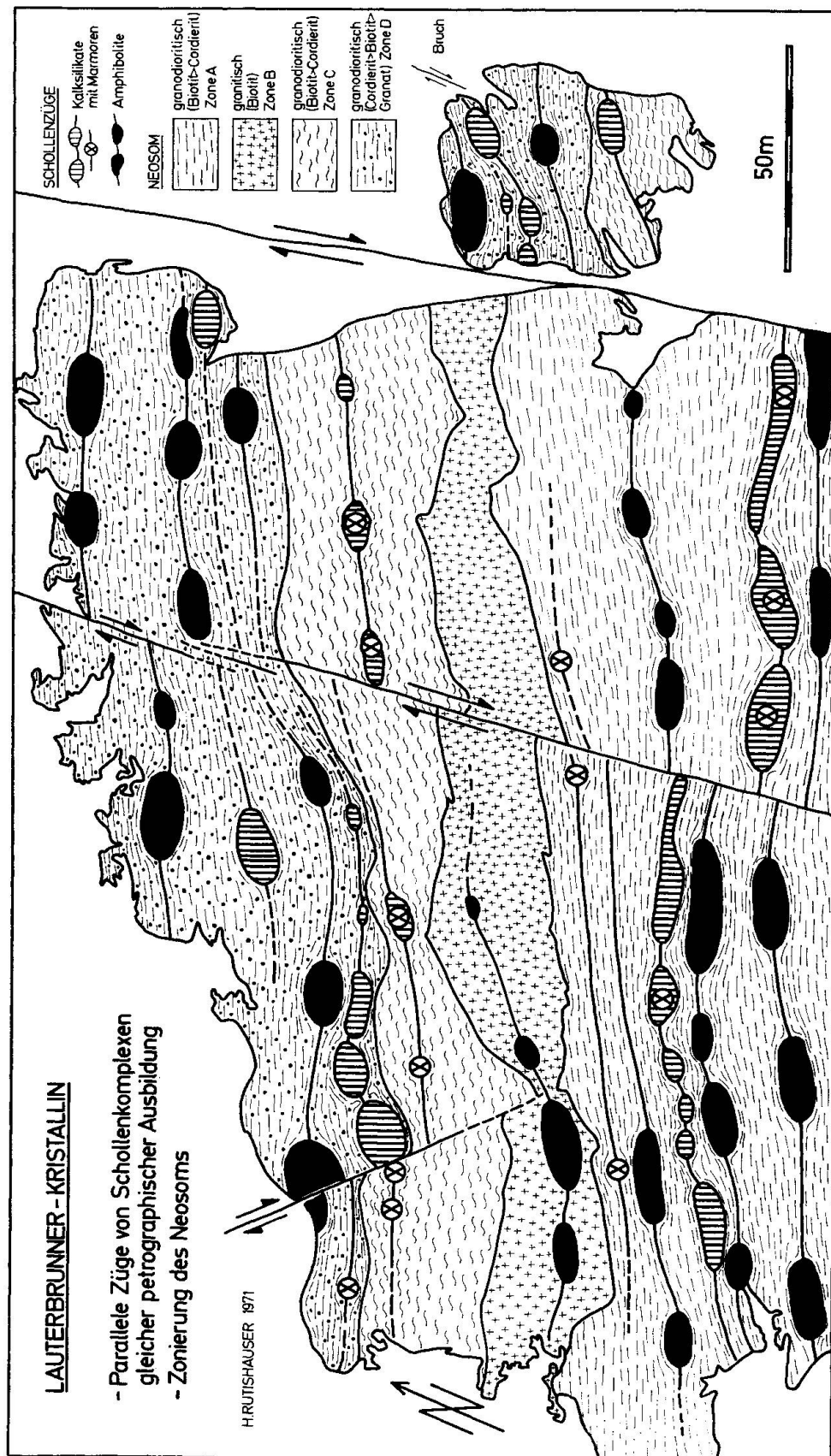


Fig. 10. Flächenanteile verschiedener Gesteinstypen im Hauptgestein der Zone C. Abszisse: Areale in denen der flächenmässige Anteil der verschiedenen Gesteinstypen mit einem Quadratnetz bestimmt wurde. Ordinate: Prozentuale Flächenanteile der verschiedenen Gesteinstypen für jedes Areal (100%). Die Punkte auf der Ordinate wurden für jeden Gesteinstyp mit Kurven verbunden. Die Flächen zwischen den Kurven stellen die Anteile der verschiedenen Gesteinstypen anschaulich dar.

Zusammenfassend kann über die quantitative Erfassung von migmatitischen Gesteinen folgender Arbeitsgang skizziert werden, wobei das Grundelement ein reproduzierbar abgrenzbarer Teilbereich darstellt (dieser kann entweder homogen, gleichmässig heterogen oder ungleichmässig heterogen sein):

Fig. 11. Schematische Darstellung des kartierten Bereiches im Lauterbrunner-Kristallin (vergleiche mit der Karten-Beilage). Wenn die im vorliegenden Modell vertretene Ansicht, dass die Schollen Teilstücke (Boudins) von kompetenten Lagen eines ehemals geschichteten Gesteinskörpers darstellen, richtig ist, dann sollten, obschon die einzelnen Schollen durch die Wirkung der Dilatation auseinandergerissen worden sind, einzelne parallele Schollenzüge voneinander unterschieden werden können. Die Schwierigkeit, solche Schollenzüge festzustellen, liegt nicht nur in der praktischen Undurchführbarkeit einer strengen Klassifikation der Schollen, sondern auch in der Tatsache, dass das Lauterbrunner-Kristallin an steil stehenden Nord-Süd-Brüchen in einzelne Teilstücke zerlegt worden ist. In der aus hauptsächlich amphibolitischen Schollen bestehenden Zone A ermöglichen die eingeschalteten Schollen aus Kalksilikaten das Erkennen von Schollenzügen. Den gleichen Dienst erweisen die in der Minderheit vorhandenen amphibolitischen Schollen der Zone D. Für den ganzen Aufschluss sind die reinen Marmorschollen oder Marmorlagen innerhalb von Kalksilikatgesteins-Schollen äusserst wichtig. Schreitet man von solchen in Richtung des Streichens der Zonierung der Matrix (Neosom), dann kommt man unfehlbar nach einer gewissen Distanz zu einer nächsten. In der Darstellung wurde versucht, die Zonierung der Matrix im Lauterbrunner-Kristallin dahin zu ergänzen, indem die nach dem Mineralinhalt identischen Schollenkomplexe zusammengefasst wurden. Die verbindenden Linien weisen auf ihre ehemalige Zusammengehörigkeit im Paläosom hin (vergleiche Fig. 16). Die ausgeschiedenen Züge liegen nicht nur unter sich, sondern auch ausnahmslos zur festgestellten Zonierung der Matrix parallel. Selbstverständlich handelt es sich hier um eine Interpretation. Reproduzierbar ist einzig die Parallelität der Züge unter sich und zur allgemeinen Zonierung, nicht aber die Zahl der Züge.



- Planimetrierung gegenseitig abgrenzbarer Teilbereiche. Grundlage: Grossmassstäbliche geologische Karte auf photogrammetrischer Grundlage.
- Bestimmung des Modalbestandes der Teilbereiche:
 - direkt auf Grund von Modalanalysen bei *homogenen Teilbereichen*;
 - bei *gleichmässig heterogenen Gesteinen* durch Planimetrierung von Aufschlussphotographien in denen der Modalbestand von ausscheidbaren Elementen durch Modalanalysen bekannt ist;
 - bei *ungleichmässig heterogenen Gesteinen* durch Abtasten mit Hilfe eines Quadratnetzes unter Ausscheidung von typischen Gesteinen, deren Modalbestand durch Modalanalysen bekannt ist.

Diese Vorgehen hat zu den folgenden quantitativen Mineralbeständen in den verschiedenen Zonen (vgl. mit der Karten-Beilage) des kartierten Aufschlusses geführt:

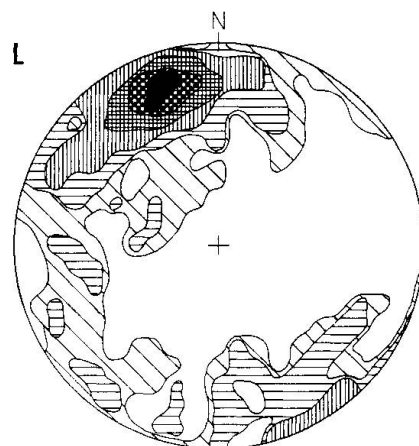
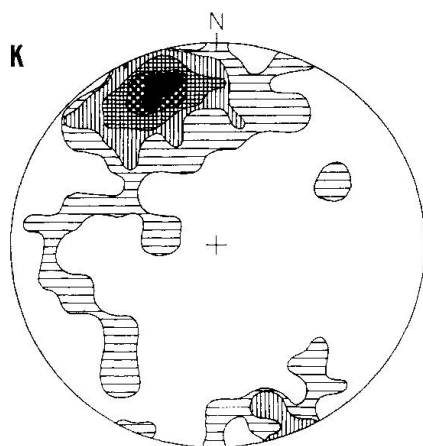
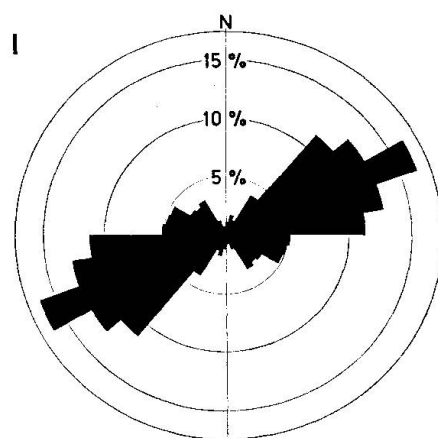
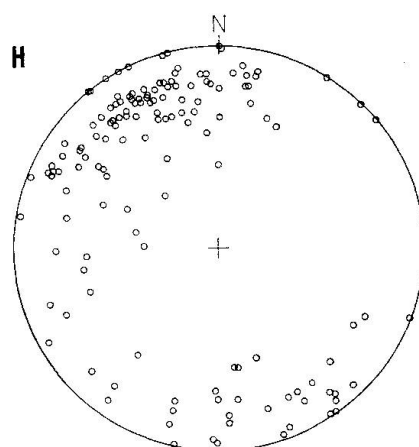
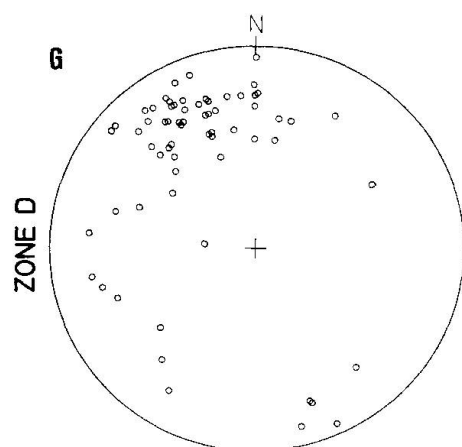
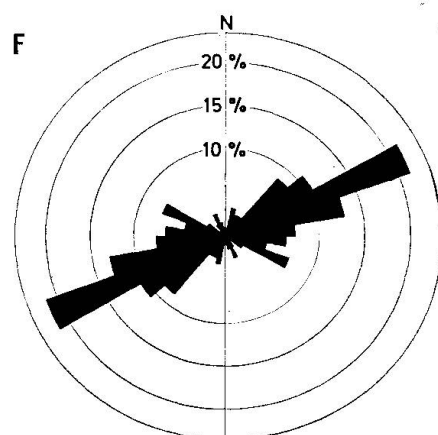
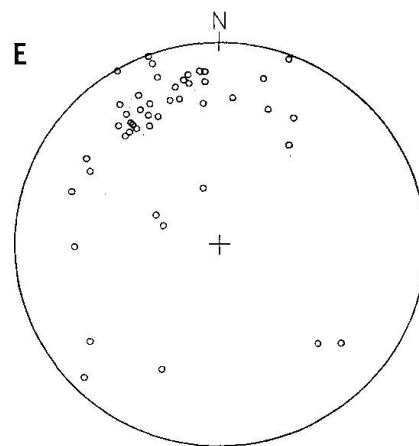
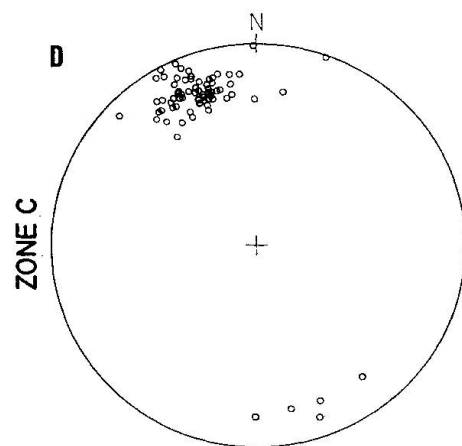
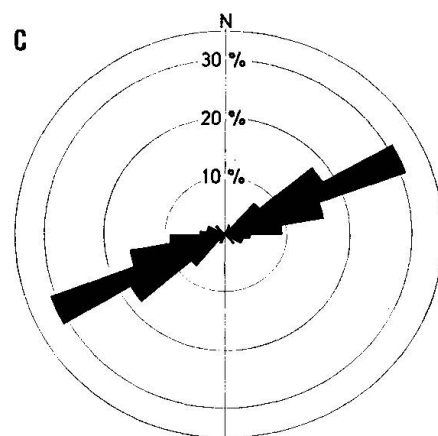
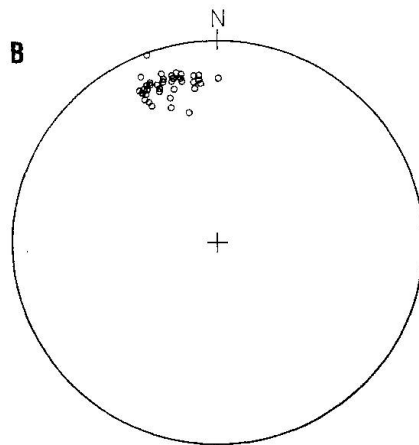
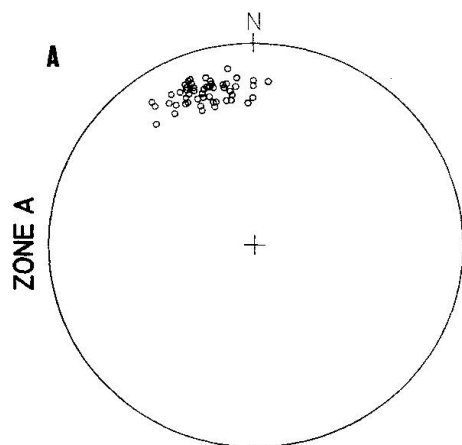
	Zone A	Zone B	Zone C	Zone D
Plagioklas	33,3%	36,1%	36,4%	28,5%
Orthoklas	12,8%	28,3%	13,6%	14,5%
Quarz	29,7%	29,1%	27,7%	30,5%
Biotit	14,0%	6,2%	14,6%	11,1%
Pinit	10,2%	0,3%	7,7%	15,4%
	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

4.3. Resultate der auf Grund der grossmassstäblichen Kartierung synoptischen Betrachtungsmöglichkeit der untersuchten Aufschlussfläche

Das Lauterbrunner-Kristallin enthält ausserordentlich viele Einschlüsse, die sich mit wenigen Ausnahmen scharf vom Hauptgestein abheben. Für die nachfolgenden Überlegungen, die zum Hauptresultat der Untersuchung hinführen, genügt eine einfache Einteilung in Matrix (entspricht dem eigentlichen Lauterbrunner-Kristallin oder in der früheren Nomenklatur dem Lauterbrunner-Granit) und Schollen (diese entsprechen den Einschlüssen).

Fig. 12. Darstellung des Parallelgefüges der Matrix, der räumlichen Lage der Schollen und der aus der Karte entnommenen Richtungen der Schollen-Achsen. *Zone A*: Flächentreue, stereographische Projektion (untere Halbkugel) von Flächenpolen des Parallelgefüges (A); flächentreue, stereographische Projektion (untere Halbkugel) von Flächenpolen der Foliation von Schollen (B); Richtung der Längsachsen von Schollen, zusammengefasst in Intervallen von je 10 Grad. Die Häufigkeit der Richtungen ist in Prozenten angegeben, d. h. als Radiuslängen der Sektoren (C). Für die *Zone C* (D, E, F) und die *Zone D* (G, H, I) sind die gleichen Darstellungen gewählt worden.

Zusammenfassende Darstellung: Flächentreue Zentralprojektion (untere Halbkugel) von 186 Flächenpolen des Parallelgefüges der Matrix. Die Flächen umfassen Punkte mit folgender Zahl Flächenpole pro 1% Fläche der gesamten Projektionsfläche (in Prozenten der gesamten Zahl Flächenpole): 0,5%–1%; 1,5–5%; 6–12%; 15–22%; 25–30% (K). Flächentreue Zentralprojektion von 225 Flächenpolen der Foliation von Schollen: 0,5%; 1–1,8%; 2,2–2,8%; 4,5–7%; 9–13%; 15–15,5% (L).



PARALLEL-GEFÜGE

SCHOLLEN

Gemäss dem Resultat der quantitativen Erfassung der Matrix besteht diese aus Gesteinen granodioritischer und granitischer Zusammensetzung. Bei den Schollen sind Marmor- und Amphibolitschollen in vielen Fällen eindeutig als solche bestimmbar. Die restlichen Schollen sind stets Mischtypen zwischen zwei Ausbildungsarten, die selten rein vorkommen. Je nach dem, welche Lagen in diesen oft sehr fein geschichteten Schollen vorherrschen, kann unterschieden werden zwischen feinkörnigen Biotitgneis-Schollen und Kalksilikatgestein-Schollen.

Die Matrix und die Schollen weisen folgende Merkmale auf:

- A. Die Matrix ist zониert, wobei die Zonengrenzen untereinander deutlich parallel verlaufen. In einer Zone dominiert ein Gestein bestimmter petrographischer Ausbildung (Karten-Beilage, Fig. 11).
- B. Die im Handstück massig erscheinende Matrix weist im Aufschlussbereich ein deutliches Parallelgefüge auf, das parallel der Zonierung der Matrix verläuft (Fig. 12).
- C. Die Schollen sind in der Mehrzahl in eine bestimmte Richtung eingeregelt. Die Einregelung ist besonders gut bei den grossen Schollen (Zone A: durchschnittliche Länge der Schollenachse aus 1081 Messungen = 79 cm); sie nimmt ab je kleiner die Schollen werden (Zone D: durchschnittliche Länge der Schollenachse aus 1061 Messungen = 44,5 cm) (Fig. 12).
- D. Die Orientierung der Schollen, das heisst, die räumliche Lage der Schollen-Foliation, stimmt sowohl mit dem Parallelgefüge wie mit der Zonierung der Matrix überein (Fig. 12).
- E. Das Verhältnis der Längsachsen zur Dicke der Schollen ist konstant (Messungen an 1268 Schollen).
- F. Boudin-Strukturen sind an den Schollen wie in der Matrix nachweisbar (Fig. 13 bis 20).
- G. Schollen gleicher petrographischer Zusammensetzung sind in zueinander parallelen Zügen angeordnet (Fig. 11).
- H. Die Schollenzüge liegen parallel zur Zonierung der Matrix (Fig. 11).

Daraus lässt sich schliessen: Die Schollen des Lauterbrunner-Kristallins sind Teile von kompetenten Gliedern eines ehemals geschichteten Gesteinskörpers. Die Matrix repräsentiert die inkompetenten Schichtglieder. Die Boudinierung der kompetenten Schichten und das Parallelgefüge der inkompetenten Matrix entstanden durch die gleiche Druckwirkung und in der gleichen Zeit.

Dies geht daraus hervor, dass die «scar-folds» der inkompetenten Schichten kontinuierlich von einer Schollenreihe über das Parallelgefüge der Matrix in diejenige anderer Schollenzüge übergehen. Zudem sind rudimentäre Boudin-Strukturen zwischen den einzelnen Schollenzügen in der Matrix vorhanden (Fig. 20).

Die kompetenten Schichten des Lauterbrunner-Kristallins sind von den inkompetenten stofflich verschieden. Erhöhte Temperatur bewirkte eine tiefgreifende Umwandlung der inkompetenten Schichtglieder, während sich die kompetenten Schichten als weitgehend resistent erwiesen und infolge von Druckeinwirkungen (Dilatation) auseinandergerissen wurden. Die Migmatisierung des Lauterbrunner-Kristallins mündete in eine selektive Anatexis aus, die sich in situ abspielte. Die heute in Form von Schollen (Boudins) vorliegenden Bauteile des Kristallins repräsentieren denjenigen Teil des Paläosoms, der während der Anatexis keine grundlegende Umformung erlitt. Aus dieser Sicht ist es verständlich, dass keine merklichen stofflichen Zusammenhänge zwischen den Schollen und der Matrix bestehen.

Die Ansicht, dass das Lauterbrunner-Kristallin (möglicherweise auch das hier nicht im Detail untersuchte Innertkirchner-Kristallin) in situ durch eine Migmatisierung entstanden ist, steht im Gegensatz zu der bisher vertretenen Ansicht, wonach die nördliche Zone des Aarmassivs intrusiv-magmatischer Entstehung sein soll. Die Matrix würde in diesem Falle einer ehemals in ein präexistierendes Gestein intrudierenden Schmelze entsprechen und die Schollen wären Reste des präexistierenden Gesteins selbst. Diese Meinung stützt sich auf eine Beobachtung von SAUER (1900), wonach die von den früheren Autoren mehrheitlich als graue Gneise bezeichneten Gesteine von Lauterbrunnen und Innertkirchen wegen ihrem Gehalt an fremden Einschlüssen als Granite bezeichnet werden. SAUER (1906):

... wobei sich unter anderem die sogenannten Gneise von Innertkirchen als echte, Schollen von hochmetamorphosierten krystallinen Kalkstein führende, Granite herausgestellt haben ...

Nun sind aber die Schollen im Lauterbrunner-Kristallin eindeutig durch Dilatation auseinandergerissene Boudinzüge. Eine solche Bildung ist nur möglich in einem unter starker Kompression stehenden Gesteinskörper, was eine Stoffzufuhr in Form einer granitischen Schmelze verunmöglicht.

LITERATURVERZEICHNIS

SMPM = Schweiz. Mineralogische und Petrographische Mitteilungen

- CHAYES, F. (1956): Petrographic Modal Analysis. J. Wiley & Sons, New York.
FINSTERWALDER, R. und W. HOFMANN (1968): Photogrammetrie. Walter de Gruyter, Berlin.
GWINNER, M. (1971): Geologie der Alpen. Schweizerbart, Stuttgart.
HEBLING, R. (1948): Photogeologische Studien. (Im Anschluss an geologische Kartierungen in der Schweiz, insbesondere der Tödikette.) Orell Füssli, Zürich.
HÜGI, TH. (1956): Vergleichende petrologische und geochemische Untersuchungen an Graniten des Aarmassivs. Beitr. geol. Karte Schweiz, NF 94.

- MEHNERT, K. R. (1968): Migmatites and the origin of granitic rocks. Elsevier Publishing Company, Amsterdam.
- ROBISON, F. B. and L. I. WITHEM (1967): Helicopter Photography and Mapping, Photogrammetric engineering. October, 1967, S. 1167–1170.
- RUTISHAUSER, H. (1968): Graphische Darstellung und Berechnung der Veränderung des Schmadri- und Breithorn-gletschers sowie der Tschingelgletscherzunge in der Zeit von 1927 bis 1960. Die Alpen 40, S. 98–103.
- (1971): Ein Versuch der Korrelation von Zungenänderungen eines Einzelgletschers mit ortsfremden Temperaturmessungen. Mitt. Natf. Ges. Bern, NF 28, S. 3–15.
- (1972): Beobachtungen zur Bildung von Jahresmoränen am Tschingelgletscher (Berner Oberland). Eclogae geol. Helv. 65/1, S. 93–105.
- SAUER, A. (1900): Geologische Beobachtungen im Aarmassiv. Sitz. Ber. Akad. Wiss. Berlin, 34.
- (1906): Über die Erstfelder Gneise am Nordrande des Aarmassivs. Ber. 38. Vers. Oberrhein. geol. Ver. Konstanz 26. 4. 1905, S. 25–27.
- SEDERHOLM, J. J. (1907): Om granit och gneis, deras uppkomst, uppträdande och utbredning inom urberget i Fennoskandia. Bull. Comm. géol. Finl. 23.
- (1967): Selected works granites and migmatites. Olivier and Boyd, Edinburgh and London.
- ZURBUCHEN, M. und H. RUTISHAUSER (1967): Beispiel einer geologischen Kartierung in grossem Massstab mit Hilfe des Stereoaographen. SMPM 47/2, S. 625–632.

Manuskript eingegangen am 30. November 1972.



Fig. 13. Initialstadium der Boudinierung einer kompetenten Schicht aus Plagioklas, Quarz, Diopsid und Hornblende. Gut zu erkennen ist das Einbiegen (scar-folds) der inkompetenten Biotitgneisschichten gegen die entstehende Einschnürung (Neck). Die hellen, unregelmässigen Flecken bestehen aus tonigen Gletscherablagerungen wie sie im kartierten Bereich sehr häufig vorkommen (Bildbreite 2 m).

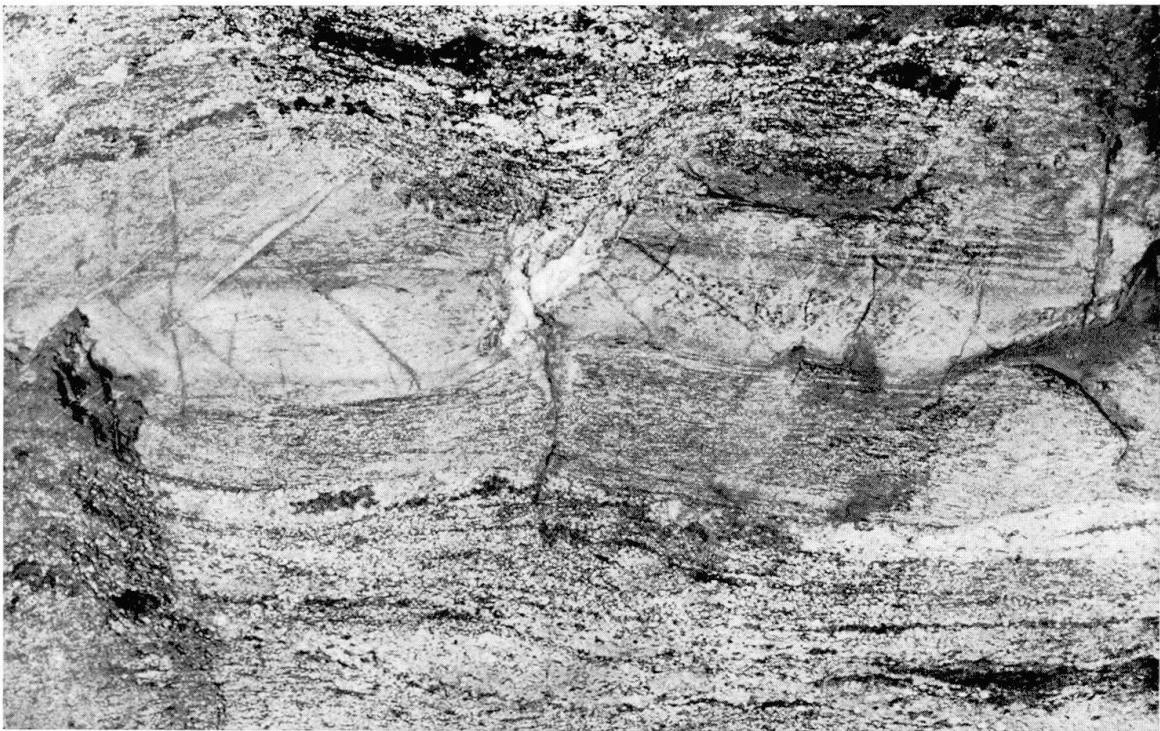


Fig. 14. Boudinierte kompetente Schicht mit einer ähnlichen Zusammensetzung wie diejenige in Fig. 13. Im heterokinetischen Raum der Neck-Zone hat sich eine pegmatoide Phase gebildet und die inkompetenten Biotitgneisschichten bilden ausgeprägte scar-folds (Bildbreite 1 m).



Fig. 15. Doppelboudinierung einer kompetenten Schicht. Innerhalb des grossen mittleren Boudins weist eine Kalksilikatschicht eine Einschnürung auf, die in den äusseren Biotitgneislagen des Boudins nicht ausgebildet ist (Bildbreite 3 m).

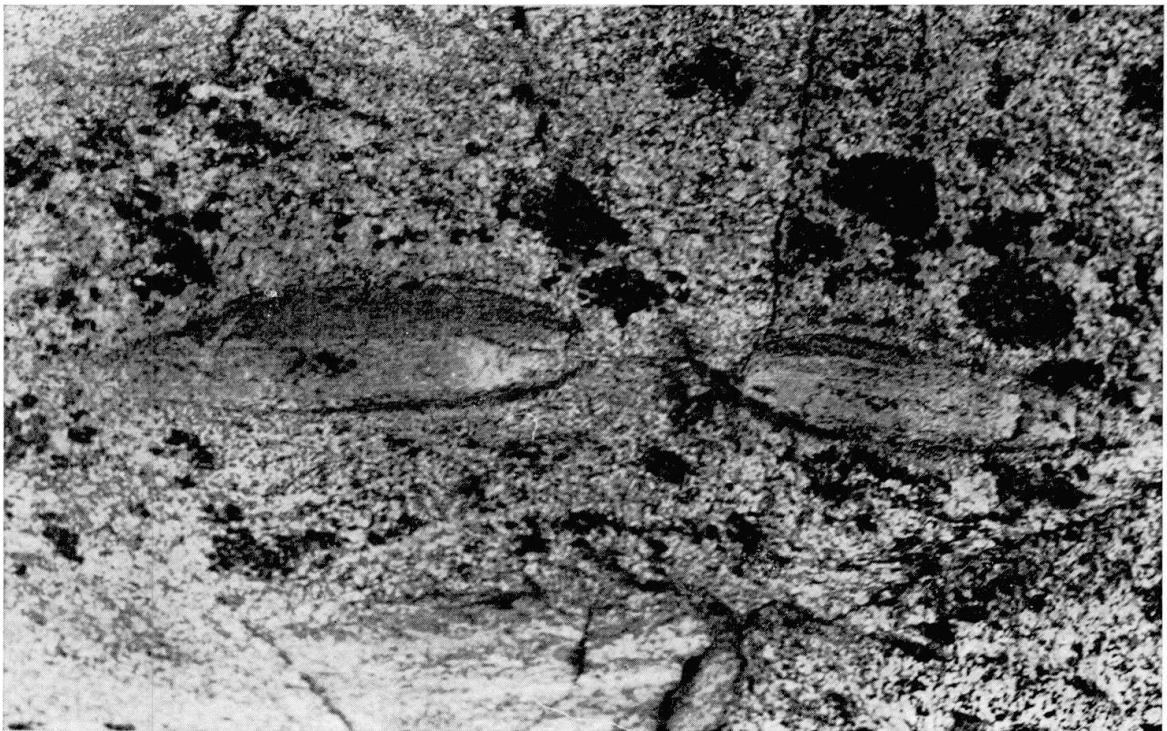


Fig. 16. An den beiden kleinen Boudins ist die Wirkung der Dilatation deutlich erkennbar. Die ursprünglich parallel zueinander liegenden Biotitlagen der kompetenten Schicht konvergieren gegen die Enden der Boudins und stehen miteinander in Form einer Narbe (scar) von einem Boudin zum anderen in Verbindung (Bildbreite 30 cm).

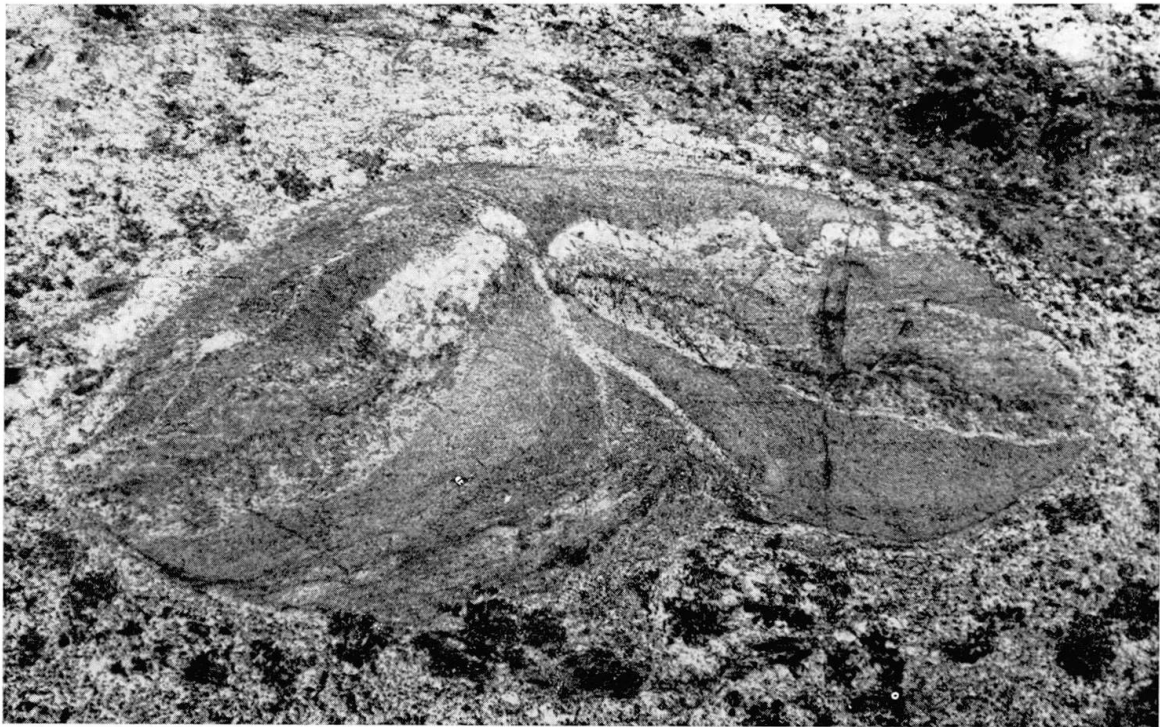


Fig. 17. Die kompetenten Schichten brauchen nicht unbedingt an jeder Neck-Zone in einzelne Schollen abzureissen. Das Beispiel zeigt eine isolierte Scholle (Boudin) mit einer ausgeprägten Einschnürung (Bildbreite 50 cm).



Fig. 18. Isoliertes Boudin in modellhafter Ausbildung. Man beachte das Anschmiegen der inkompetenten Biotitgneisschichten und die konkave Ausbildung des linken Endes des Boudins. Die ehemalige Neck-Zone zeichnet sich links durch pegmatoide Bildungen ab (Bildbreite 1,5 m).
Vergleiche mit dem ähnlich geformten Boudin in Fig. 7 unterhalb der Zahl H 645.



Fig. 19. An grösseren geschichteten Schollen des Lauterbrunner-Kristallins zeichnet sich die Wirkung der Dilatation auch in der Ausbildung von Boudins in den einzelnen Lagen ab. Im oberen Drittel der Aufnahme ist ein Teil einer Lage bereits zu einem kleinen Boudin umgeformt worden, dessen Gestalt auffallend mit derjenigen des Boudins in Fig. 18 übereinstimmt. Der pegmatoide, helle Teil besteht aus Material, das aus der Scholle selbst stammt (Bildbreite 80 cm).

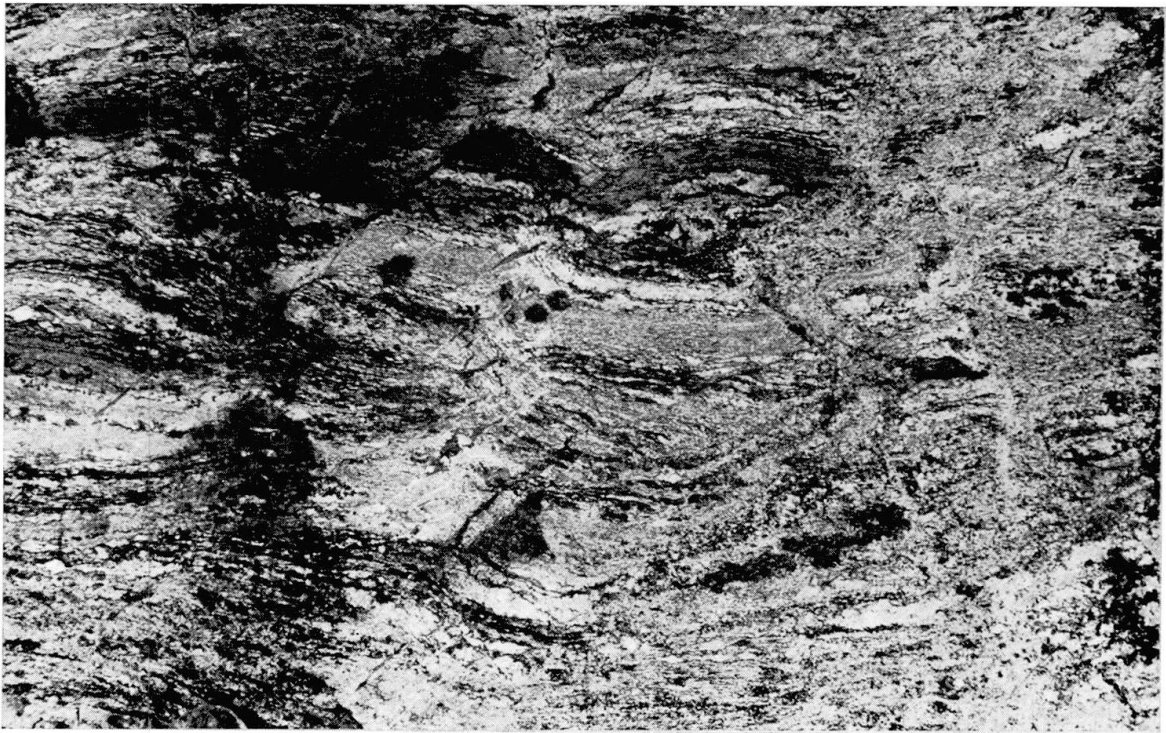


Fig. 20. Stellenweise ist die Matrix des Lauterbrunner-Kristallins deutlich gneisig ausgebildet. In solchen Bereichen ist häufig ein rudimentäres Boudinage feststellbar.

