

# Die historische Entwicklung der Ansicht über die Entstehung des Lauterbrunner Kristallins (Aarmassiv)

Autor(en): **Rutishauser, H.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern**

Band (Jahr): **30 (1973)**

PDF erstellt am: **12.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-319580>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

H. Rutishauser

## Die historische Entwicklung der Ansicht über die Entstehung des Lauterbrunner Kristallins (Aarmassiv)

### *Zusammenfassung*

Das Lauterbrunner Kristallin (bis jetzt üblicherweise als Lauterbrunner Granit bezeichnet) gehört zum Aarmassiv und ist in dem Teil aufgeschlossen, der im Norden unter die autochthonen Sedimente und helvetischen Decken abtaucht und sehr wahrscheinlich ein viel größeres Areal unter dem Mittelland einnimmt, als das nach dem kleinen Aufschlußbereich allgemein vermutet wird.

Entsprechend der Literatur über das nördliche Aarmassiv kann die bisherige Erforschung des Lauterbrunner Kristallins in zwei Epochen eingeteilt werden: in eine Zeit vor und in eine solche nach SAUER (1900, 1906). Während im letzten Jahrhundert die Beschreibung des Gesteins im Vordergrund stand, haben sich die späteren Autoren auch mit der Frage der Entstehung dieses Kristallins auseinandergesetzt. Dies führte dazu, daß die Bildung des Lauterbrunner Kristallins bis jetzt als magmatische Intrusion in ein präexistierendes Gestein erklärt worden ist, wobei das aufsteigende Magma dieses zuerst gesprengt und beim Aufstieg die Bruchstücke zum Teil aufgeschmolzen haben soll.

Dank des starken Gletscherrückganges wurden in den letzten Jahrzehnten im Oberen Lauterbrunnental sehr gute Aufschlüsse frei. Detailuntersuchungen zeigten, daß viele Beobachtungstatsachen mit Hilfe eines Intrusionsmodelles nicht befriedigend erklärt werden können. In einem neuen Modell wird postuliert, daß das Lauterbrunner Kristallin in situ entstanden ist, das heißt, als geschlossenes System in einem Erdkrustenteil, dessen Temperatur- und Druckverhältnisse sich im Laufe der Zeit verändert haben.






Wird die Bildung des Lauterbrunner Kristallins auf diese Weise erklärt, ergeben sich konsequenterweise neue Fragestellungen. Unter anderen kann in diesem Falle die Grenze zu den im Süden anschließenden kristallinen Schiefern (zum Teil als Erstfelder Gneise bezeichnet) nur eine graduelle sein, und die bis anhin übliche Zonierung im nördlichen Teil des Aarmassivs wird dadurch problematisch.

Im Hauptteil der Arbeit werden die im Laufe der Zeit geäußerten Meinungen über die Entstehung des Lauterbrunner Kristallins erörtert und mit dem neuen Modell verglichen. Der Sinn der Arbeit ist letztlich eine Standortbestimmung, und es ist zu hoffen, daß die aufgezeigten Probleme zu weiteren Untersuchungen in diesem komplexen Gestein der nördlichen Zone des Aarmassivs anregen.

Adresse des Verfassers: Dr. Heinz Rutishauser, Grütstraße 15, 8704 Herrliberg.

PETROGRAPHISCHE DETAILKARTE DES  
LAUTERBRUNNER-KRISTALLINS

HEINZ RÜTISHAUSER 1972

- |   |   |   |                         |
|---|---|---|-------------------------|
|  | LAUTERBRUNNER-KRISTALLIN                |  | MORÄNENBEDECKUNG        |
|  | SCHOLLEN                                |  | GLETSCHERSTÄNDE         |
|  | IN SITU GEBILDETE<br>APLITISCHE PARTIEN | 1911  | 1911, bzw. 1918 u. 1933 |

50 Meter

Aequidistanz 1m



### Die geologische Stellung des Lauterbrunner Kristallins im Aarmassiv

Das Lauterbrunner Kristallin ist im Oberen Lauterbrunnental aufgeschlossen (als Oberes Lauterbrunnental wird das Einzugsgebiet der Weißen Lutschine oberhalb Stechelberg im Berner Oberland bezeichnet, Abb. 1).

In geologischem Sinn ist das Obere Lauterbrunnental ein tektonisches Fenster, und das Lauterbrunner Kristallin selbst gehört zum präpermischen Grundgebirge (Basement) der Alpen, das im Aarmassiv und den anderen Externmassiven aufgeschlossen ist.

Es ist deutlich zu betonen, daß Größe und Form der aufgeschlossenen Areale des Grundgebirges alpin-tektonisch bedingt und weiter eine Folge der postalpinen

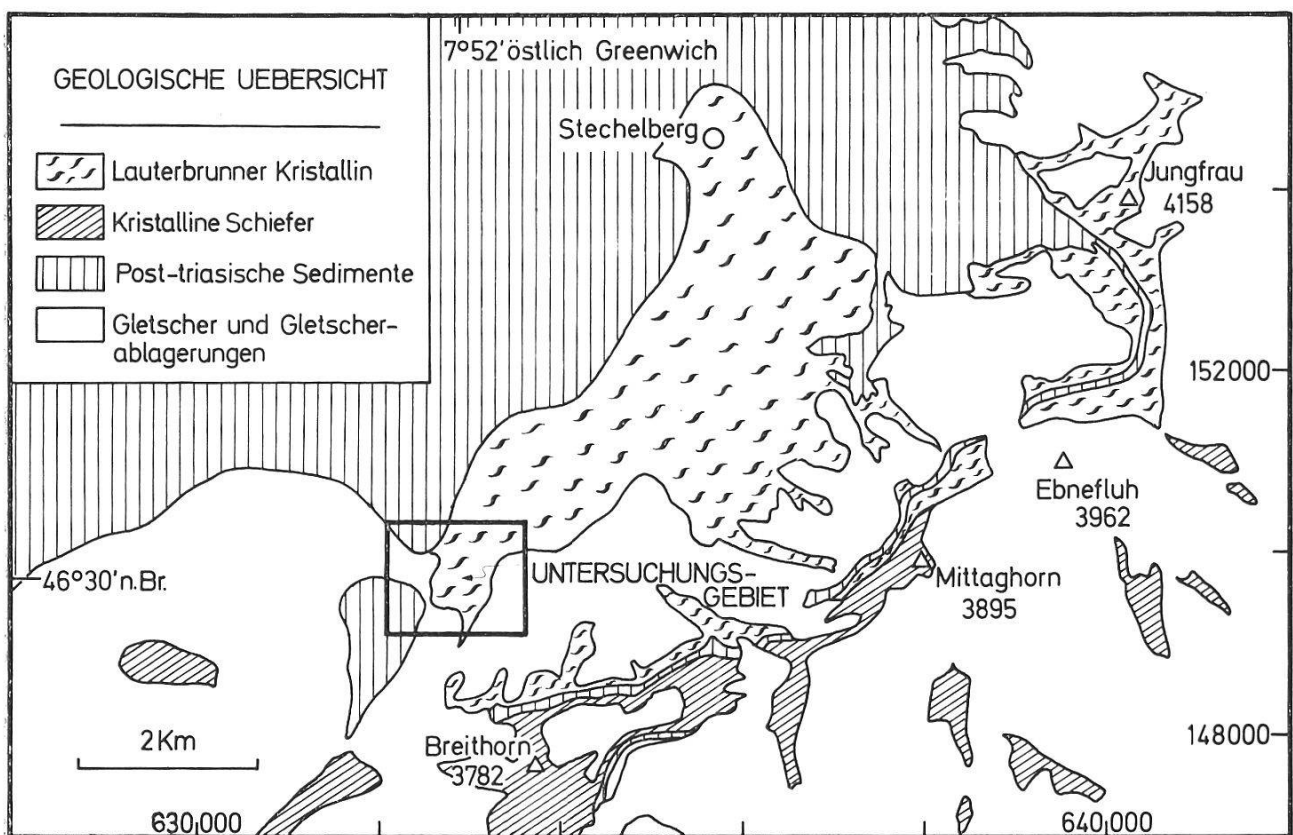


Abb. 1 Oberes Lauterbrunnental und Lauterbrunner Kristallin (vgl. mit der Landeskarte 1:50 000, Blatt Jungfrau, Nr. 264, und der geologischen Karte von COLLET und PARÉJAS, 1928). Im näheren Untersuchungsgebiet (umrahmter Bereich) wurden zwei größere Teilbereiche des Kristallins in den letzten Jahren in großem Maßstab kartiert. Eine Karte ist in RUTISHAUSER (1973 A) publiziert worden. Sie zeigt, daß im Bereich der heutigen Eisrandlage des Wetterlückengletschers (Seitenarm des Breithorn-gletschers) das Lauterbrunner Kristallin außerordentlich schollenreich ist. Die der vorliegenden Arbeit beigelegte Karte umfaßt die Aufschlüsse entlang der Zunge des Tschingelgletschers, die diese in den Jahren 1916 bis 1918 und nach dem Vorstoß 1933 eingenommen hat (vgl. dazu Abb. 2 und Abb. 3/4 in RUTISHAUSER 1971. Zu beachten ist, daß die beigelegte Karte gegenüber der Abb. 4 in RUTISHAUSER, 1971, um etwa 180 Grad gedreht ist). Hier fällt eine Zone auf, die hauptsächlich aus in situ gebildeten, hellen und konkordant zum allgemeinen Parallelgefüge des Lauterbrunner Kristallins eingelagerten aplitischen Partien besteht (vgl. mit Abb. 4). Diese Zone wurde von Hugi, E. als Intrusivkontakt zwischen Gastern- und Lauterbrunner Kristallin interpretiert.

Erosion sind. Die nördliche Grenze und die heutige Oberfläche des Lauterbrunner Kristallins haben keine Bedeutung in der Erklärung der Entstehung dieses Teils des Grundgebirges. Wir kennen den prätriasischen, vertikalen Erosionsbetrag und die nördliche Ausdehnung dieses Gesteins unter den helvetischen Decken und dem Mittelland nicht.

Das Lauterbrunner Kristallin gehört nach der allgemein üblichen Nomenklatur zur nördlichsten Zone des Aarmassivs, die weder in ihrer Benennung noch in ihrer südlichen Begrenzung einheitlich aufgefaßt wird (HÜGI, 1956: Tafel V; BADOUX, 1967: Fig. 2; HÜGI, 1967: Fig. 1; GWINNER, 1971: Abb. 347). Alle diese Autoren vertreten immerhin die gleiche Meinung, wonach im Bereich des Berner Oberlandes Gastern-, Lauterbrunner und Innertkirchner Granit als zu derselben Zone gehörend betrachtet werden.

Auf Grund von Detailuntersuchungen im Lauterbrunner Kristallin (RUTISHAUSER, 1972 A, 1973 A, 1973 B) wurde für die Entstehung des Lauterbrunner Kristallins das folgende Modell erarbeitet:

*Das Lauterbrunner Kristallin ist ein in situ und durch ausgeprägte selektive Anatexis entstandenes migmatitisches Gestein prätriasischen Alters. Das Ausgangsmaterial für das Paläosom wie für das Neosom ist eine ursprünglich geosynklinale Sedimentserie, die vor der tiefgreifenden anatektischen Umprägung mindestens eine Phase der Regionalmetamorphose durchlaufen hat. Posttriasisch wurde das Lauterbrunner Kristallin nur noch rupturrell überprägt.*

Dort, wo die Oberfläche des Lauterbrunner Kristallins schutfrei ist und der Gletscher das Gestein polierte, erkennt man darin kubikdezimeter- bis mehrere kubikdekametergroße Brocken von Fremdgestein (z. B. Marmore, Amphibolite, feinkörnige Biotitgneise und Kalksilikatgesteine). Diese Schollen scheinen gleichsam in einem Substrat granitähnlicher Zusammensetzung, das über größere Bereiche mannigfachen Wechsellagen unterworfen ist, zu schwimmen (vgl. mit der Kartenbeilage und der Karte in RUTISHAUSER, 1972 A, 1973 A). In einer vereinfachten Darstellung besteht das Lauterbrunner Kristallin demnach aus einer Matrix und darin eingeschlossenen Schollen. Phänomenologisch ist das Lauterbrunner Kristallin auf den ersten Blick ein migmatitisches Gestein mit Schollenstruktur (raft-structure) entsprechend der Nomenklatur von MEHNERT, 1971, S. 10. Daß es sich tatsächlich aber um eine Dilatationsstruktur (surreitic-structure) in vorgerücktem Stadium der Anatexis handelt, konnte erst nach eingehenden Detailuntersuchungen festgestellt werden (RUTISHAUSER, 1972 A, 1973 A, 1973 B).

Die Modellvorstellung beruht auf den folgenden Beobachtungstatsachen:

1. Die Matrix ist zониert, wobei die Zonengrenzen untereinander deutlich parallel verlaufen. In einer Zone dominiert ein Gestein bestimmter petrographischer Ausbildung.

2. Die im Handstück massig erscheinende Matrix weist im Aufschlußbereich ein deutliches Parallelgefüge auf, das parallel der Zonierung der Matrix verläuft.
3. Die Schollen sind in der Mehrzahl in eine bestimmte Richtung eingeregelt. Die Einregelung ist besonders gut bei den großen Schollen, sie nimmt ab, je kleiner die Schollen werden.
4. Die Orientierung der Schollen, das heißt die räumliche Lage der Schollenfoliation, stimmt sowohl mit dem Parallelgefüge wie mit der Zonierung der Matrix überein.
5. Die Foliation der Schollen liegt parallel zur Längserstreckung der Schollen.
6. Das Verhältnis der Längsachsen zur Dicke der Schollen ist konstant.
7. Boudinstrukturen sind an den Schollen wie in der Matrix nachweisbar.
8. Schollen gleicher petrographischer Zusammensetzung sind in zueinander parallelen Zügen angeordnet.
9. Die Schollenzüge liegen parallel zur Zonierung der Matrix.

Diese Beobachtungen werden in RUTISHAUSER (1972 A) eingehend diskutiert und mit zahlreichen Abbildungen belegt. Die Entstehung des Lauterbrunner Kristallins kann danach folgendermaßen skizziert werden (vgl. mit Abb. 2, A bis D): Durch Temperaturerhöhung entstehen in einem geschichteten Gesteinskörper kompetente und inkompetente Lagen (A). Auf Druckeinwirkungen senkrecht zur Schichtung reagieren die inkompetenten Schichten mit plastischem Fließen parallel der Schichtung. Als Folge der Dilatation (Kräftewirkung senkrecht zur primären Druckrichtung) zerbrechen die starren kompetenten Schichten (B und C), und in die Zwischenräume wird Material der inkompetenten Lagen eingepreßt (D). Dieser Mechanismus ist als sogenanntes Boudinage allgemein bekannt. Die Teilstücke der kompetenten Schichten nehmen dabei ganz bestimmte Formen an, die experimentell nachgebildet werden können (RAMBERG, 1955).

Die Form der Schollen im Lauterbrunner Kristallin, ihre Anordnung und alle anderen angeführten Beobachtungstatsachen fügen sich sehr gut in das Modell der Abbildung 2 ein. Es ist deshalb unwahrscheinlich, daß in einen unter Kompression stehenden Gesteinskörper entsprechend dem Intrusionsmodell eine Schmelze eindringen konnte. Diese entstand vielmehr bei der Temperaturerhöhung aus Schichtgliedern geeigneter chemischer Zusammensetzung. Diese liegen heute in Form der Matrix des Lauterbrunner Kristallins vor. Die Bildung konnte nur in situ erfolgen (vgl. dazu z. B. MEHNERT, 1971; RAMBERG, 1955; JONES, 1959).

*Vergleich der bisherigen Ansichten über die Entstehung des Lauterbrunner Kristallins mit der vom Autor erarbeiteten Modellvorstellung*

In den Jahren der Erforschung des Aarmassivs hat sich eine Lehrmeinung herauskristallisiert, nach der die nördlichste Zone des Massivs (Innertkirchner–Lauterbrunner–Gastern-Zone) als große Intrusivzone interpretiert wird. Die erweiterten Kenntnisse auf Grund von Detailuntersuchungen führten zu einer neuen Modellvorstellung, anhand deren das Zustandekommen dieser Gesteinszone auf eine grundsätzlich andere Weise erklärt wird.

Eine Standortbestimmung drängt sich auf. Aus der Literatur ist zu entnehmen, daß im letzten Jahrhundert, bevor die Publikationen von SAUER (1900, 1906) erschienen sind, die reine Gesteinsbeschreibung im Vordergrund stand. Die späteren Autoren haben sich vermehrt mit der Frage der Entstehung des Lauterbrunner Kristallins und ganz allgemein der Gesteine der nördlichsten Zone des Aarmassivs auseinandergesetzt. Es bleibt einer späteren Arbeit vorbehalten, diese genetischen Spekulationen im Rahmen des weltweit diskutierten Granitproblems zu beleuchten.

Kein einziger Autor hat je ein klares Modell über die Entstehung der Gesteine der nördlichen Zone erarbeitet, und so blieb die wohl interessanteste Frage unbeantwortet: Woher stammt das Magma, das eine unabdingbare Voraussetzung darstellt für die Entstehung der nördlichen Aarmassivzone entsprechend den Vorstellungen eines Intrusionsmodells?

Im Rahmen des neuen Modells erübrigt sich diese Frage: Wir sind nicht gezwungen, Stoffwanderungen über große Distanzen anzunehmen, und dennoch genügt das Modell vollständig, die Beobachtungen im Lauterbrunner Kristallin zwangslos zu erklären.

Letztlich gilt es auch zu zeigen, daß sehr viele Beobachtungen der alten Geologen auch heute noch große Bedeutung haben können. Meisterhafte Schilderungen sind allgemein nicht bekannt oder werden, da nicht ins Schema passend, ignoriert. Der Kreis könnte geschlossen werden mit den Beobachtungen von HUGI, Fr. J. (1830, S. 27 und 28). Es dürfte mit einiger Mühe verbunden sein, so treffend das Lauterbrunner Kristallin in der neueren Literatur beschrieben zu finden.

In der Folge geht es darum, anhand des Literaturstudiums die Beobachtungstatsachen aufzuspüren, die dem Intrusionsmodell zugrunde liegen, und die aus diesen Beobachtungen gezogenen Schlüsse kritisch zu beleuchten.

Alle Autoren sind sich darin einig, daß das Lauterbrunner Kristallin mit dem Innertkirchner Kristallin identisch ist. Diese beiden Gesteine werden auch in der vorliegenden Arbeit als zur gleichen Zone gehörend betrachtet.

NIGGLI, E. (1953, S. 34) hat, nach Hugi E. und Huttenlocher, den Innertkirchner Granit (den diese Autoren mit dem Gasterngranit gleichsetzen) folgendermaßen charakterisiert:

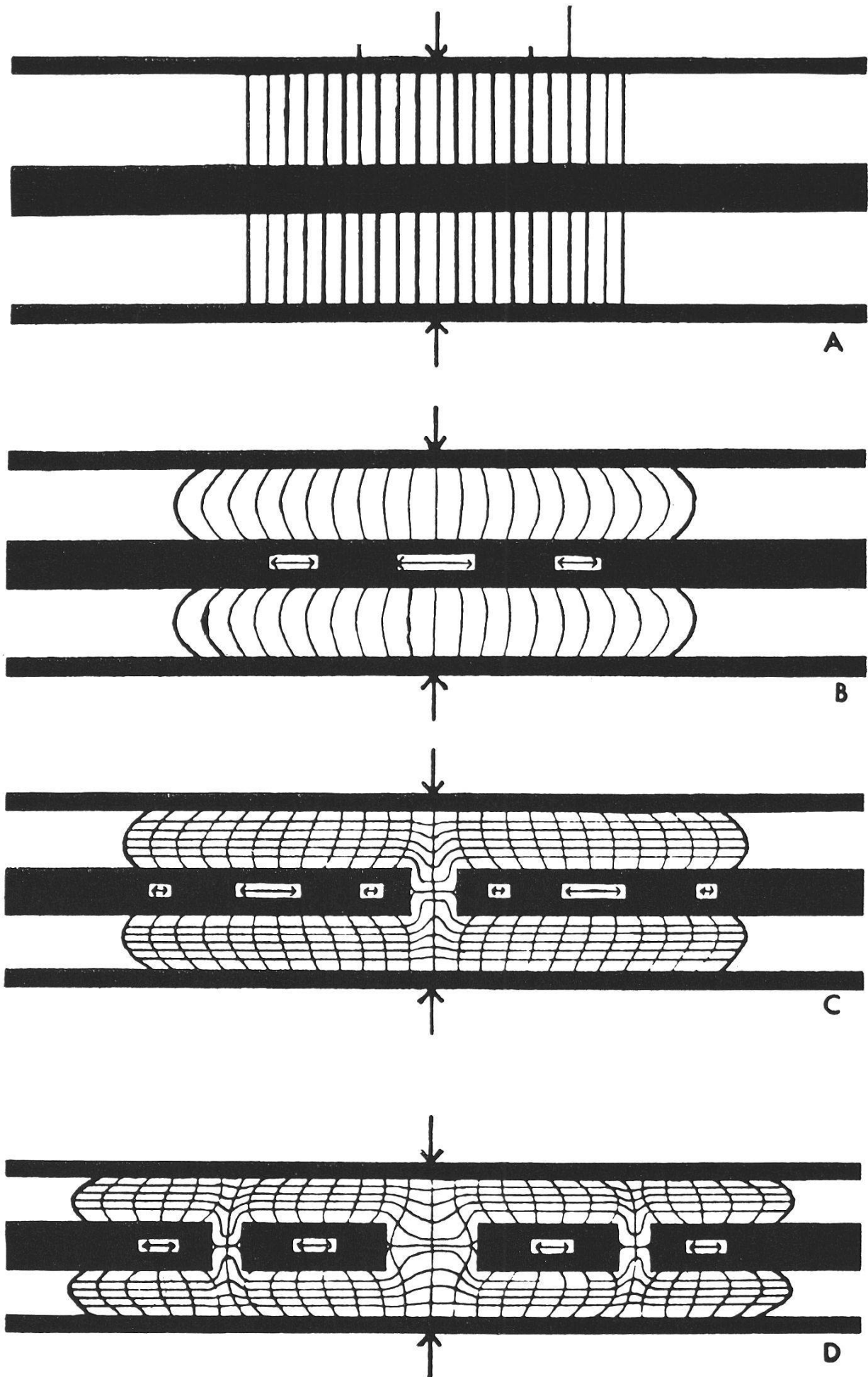


Abb. 2 Entwicklung von Boudinstrukturen nach RAMBERG, 1955, Fig. 2. Erläuterungen im Text.



«Nach E. Hugi (1934) geht der Gasterngranit nach Osten in den Innertkirchner Granit über, welcher zahlreiche Scholleneinschlüsse und Schlieren halbverdauter Schollen enthält. Der Granit ist häufig kaum als solcher im Handstück erkennbar: infolge intensiver Resorption seiner Schieferhülle ist er reich an Al-Mineralien wie Pinit (Cordierit) und Almandin, ferner ist er stark alpin zerruschelt und brecciert. H. Huttenlocher (1947) ist der Auffassung, daß dieser resorptionsreiche hybride Granit in großer Tiefe und bei hoher Temperatur kristallisiert ist.»

Die Ansicht, daß es sich beim Innertkirchner Granit um eine Intrusion handelt, wird auch in jüngeren Publikationen von anderen Autoren vertreten. So zum Beispiel von HÜGI (1956, S. 9), HÜGI (1967, S. 324) und LABHART (1967, S. 807/8/9).

Bei einer chronologischen Durchmusterung der Literatur stellen wir fest, daß bis 1900 die Gesteine von Lauterbrunnen und Innertkirchen wechselnd einmal als Gneise und dann wieder als Granite beschrieben worden sind. GRUNER (1760, Bd. I, S. 114) kennzeichnet das Lauterbrunner Kristallin als Gneisbergstein und ESCHER (1807, S. 239) als granitartige Gebirgsart, die häufig in Gneis und stellenweise sogar in Glimmerschiefer übergehe. HUGI, Fr. J. (1830, S. 27 und 28) ist bereits erwähnt worden. Er unterscheidet zwischen Granit und altem Gneisgebilde, worin wir unschwer die beiden Bauteile des Lauterbrunner Kristallins erkennen können.

In der «Geologie der Schweiz» beschreibt STUDER (1851, S. 182) das Lauterbrunner Kristallin sowohl als Granit wie auch als Gneis. In einer späteren Publikation (STUDER, 1863, S. 596) wird wie bei FELLEBERG (1864, S. 361) ausschließlich Gneis als Bezeichnung verwendet. STUDER (1865, S. 389) beschreibt wie 1863 das fragliche Gestein als Gneis. In der gleichen Arbeit (S. 401) erscheinen weiter hinten die zuvor als Gneise bezeichneten Gesteine allerdings wiederum vorwiegend als Granite:

«Die nördliche Granitzone, welche die mittlere Schiefer-Hornblende-Zone von den Kalksteingebirgen des Berner Oberlandes und Vierwaldstättersees trennt, ist durch ihre Breite und die Erhebung ihrer Gipfel weit weniger ausgezeichnet als die südliche. Der Granit scheint mehr vereinzelt Massen als ein zusammenhängendes Ganzes zu bilden, und oft wird er durch granitischen Gneis vertreten, zwischen welchem und den südlich anstoßenden krystallinen Schiefen keine scharfe Trennung möglich ist.»

Die Schwierigkeit der Charakterisierung des Lauterbrunner Kristallins wird schließlich durch den Kompromiß von STUDER auf S. 403 der gleichen Arbeit deutlich:

«... aber auch der gneisartige Granit von Lauterbrunnen kann mit keinem eher verglichen werden als mit demjenigen, der zwischen Martigny und St-Maurice, auf dem rechten Rhoneufer, als das östliche Ende der nördlichen savoyischen Centralmasse betrachtet werden muß. Beide Granite sind feinkörnig und aus ähnlichen Elementen zusammengesetzt; beide enthalten, als hinzutretenden Gemengtheil, ein graulich grünes, noch nicht analysiertes Mineral, das der ältere Escher als Speckstein bezeichnet, das mir aber eher Pinit zu sein scheint; beide neigen sich zum Gneis, mit steil südlich fallender Schieferung.»

FELLENBERG (1868, S. 442) jedoch bezeichnet nach seinen Besteigungen von Mönch und Wetterhorn die östliche Fortsetzung des Lauterbrunner Kristallins weiterhin als Gneis, währenddem BALTZER (1878 A, S. 26), ähnlich wie Studer, die Frage offenläßt, ob es sich im Norden des Aarmassivs nun um eine Granit- oder Gneiszone handelt. Eine bemerkenswerte Schilderung gibt der gleiche Autor (BALTZER, 1878 B, S. 458) von der gleichen Zone:

«... so trifft er, von Süden kommend, vor Guttannen auf die nördliche Gneiszone. Er wird erstaunt sein von der Mannigfaltigkeit der Gesteinsvarietäten. Da beobachtet man Eurite, Quarzit, Glimmerquarzit, Marmor, namentlich aber Gneisabarten in großer Mannigfaltigkeit. Wie Blätter eines Buches liegen die verschiedenen Gneisschichten eine auf der anderen. Dabei sind die verschiedenen Gneise (Granitgneis, Glimmergneis, granatführender Gneis, Gneise mit eigenthümlichen, dem Glimmer verwandten Mineralien) in der Regel scharf durch die Schichtfugen voneinander abgesetzt. Ganz regelmäßige Lagen von Eurit, Quarzit, Marmor und Topfstein schalten sich ein, welche großes Aushalten im Streichen zeigen und sich weithin verfolgen lassen. Ohne Bedenken ist man geneigt, die Begrenzungsebenen der verschiedenartigen Gesteine als Schichtflächen anzuerkennen, um so mehr als an der Zusammensetzung einer solchen Schicht niemals stark verschiedenes Material sich beteiligt, der Gesteinswechsel steht in strengstem Zusammenhang mit der Schichtabsonderung. Ferner schneiden diese Schichtfugen niemals, soviel ich bis jetzt sah, durch Krystalle hindurch, was doch der Fall sein müßte, wenn diese Gneise früher Granite gewesen und die Fugen Klüftung waren. Kurz der Schluß erscheint gerechtfertigt, hier wirkliche Schichtung, wie in sedimentären Schichten, anzunehmen.»

In seinem berühmten Werk («Der mechanische Contact von Gneiß und Kalk im Berner Oberland») kennzeichnet BALTZER (1880, S. 14) wie FELLENBERG (1886, S. 12), BALTZER (1888, S. 29), FELLENBERG (1890, S. 565) und FELLENBERG und MOESCH (1893, S. 50) die Gesteine der nördlichen Zone des Aarmassivs eindeutig als Gneise.

Zu einer Änderung in der Beurteilung der Zone führten die Publikationen von Sauer um die Jahrhundertwende. SAUER (1906, S. 25) bezieht sich auf seine Arbeit von 1900:

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

Nach der Veröffentlichung der ersten Arbeit von Sauer schreibt BALTZER (1903, S. 320):

«Vom centralen Granit oder Protogyn ist nach dem gegenwärtigen Stand unserer Kenntnisse der nördlichere, an Plagioklas reichere Granit (körniger Innertkirchner Gneis meiner alten Profile) wohl zu unterscheiden.»

Die Beobachtungen über Einschlüsse (Schollen) in den Gesteinen des Aarmassivs häufen sich nach 1900. Von BALTZER (1906, S. 146) werden Schollen von der Urweid bei Innertkirchen beschrieben. Die steil geschieferten Gneise des Gadmentales bezeichnet er als geschieferten Granit (Innertkirchner Granit).

TRUNINGER (1911 A) beschreibt kontaktmetamorphe Sedimentschollen im «Eruptivgneis». Auf Seite 484 steht die Notiz, wonach SAUER (1900) die kontaktmetamorphe Natur von Kalkeinlagerungen erkannt habe, und nach LOTZE (1914, S. 265) ergeben mikroskopische Untersuchungen mit voller Gewißheit, daß der «Gneis» von Innertkirchen in Wirklichkeit ein typischer Granit mit normaler Ausscheidungsfolge ist.

HUGI, E. (1915) bezieht sich bei seinen weiteren Untersuchungen im Lauterbrunnental ebenfalls auf Sauer:

Seite 359. «Im Jahre 1900 hat Sauer als erster gezeigt, daß ein Teil der sogenannten Gneise der nördlichen Gneiszone als ächte Granite zu deuten sind. Durch Vermehrung des Beobachtungsmaterials zwischen Sustenpaß und Grindelwald konnte ich 6 Jahre später neue Beweise für die eruptive Natur der nördlichen Gneise erbringen, und ich habe deshalb damals schon für diesen Teil des Aarmassivs die Benennung nördliche Granitzone vorgeschlagen. In neuerer Zeit haben sich TRUNINGER, STAUB, KÖNIGSBERGER und jüngst auch LOTZE in allen wesentlichen Punkten derselben Auffassung angeschlossen. Im oberen Lauterbrunnental liegen die Beweise für die eruptive Natur des oberen ‚Gneises‘ besonders klar zutage . . .»

Seite 365. «1. Der sogenannte ‚Gneis‘ des oberen Lauterbrunnentales, der ein Teilstück der nördlichen Gneiszone darstellt, ist ein ächter Granit (Orthogneis). Als solcher hat er bei seiner Eruption zahlreiche Sedimentschollen aufgenommen und kontaktmetamorph verändert. Diese Sedimente bestanden zum Teil aus Tonschiefern. Der Granitkontakt hat aus ihnen reine Marmore, mineralreiche, silikatführende, kristalline Kalke, Hornfelse und Glimmer- und Hornblendeschiefer hervorgehen lassen.»

Im gleichen Sinne wird der Innertkirchner Granit von HUGI, E. (1920, S. 484) als Orthogneis dargestellt. In HEIM (1922) werden die Resultate der Forschungen zusammengefaßt:

Seite 127. «A. Sauer war nun der erste, der den Einschlüssen in Gneis und Granit der nördlichen Gneiszone nachging und durch dieselben die Granitnatur dieser nördlichen Gneiszone nachwies. Seinem Beispiel folgten: Truninger, E. Hugi und Lotze. Sie alle stellten fest, daß Granit und Einschluß prätriasisch sind und diese CM der Rand des mesozoischen und tertiären Sedimentmantels nicht ergreift.»

Seite 131. «Der ‚graue Jungfraugneis‘ ist also ein Granit, der in seiner Intrusion dem Gasterngranit vorangegangen ist und ihn gegen E ablöst.»

Seite 133. «Zusammenfassung. Die nördliche Gneis- und Granitzone des Aar-M. (Zone I) besteht fast durchwegs aus Orthogesteinen, aus granitischen Intrusivgesteinen, von denen Gastern und Innertkirchen ganz oder teilweise granitisch massigen Charakter behalten haben, während die damit abwechselnden meistens die noch in ihrer Entstehung unerklärte primäre Gneisschieferung aufweisen (Erstarrungsgneis).»

COLLET und PARÉJAS (1931, S. 25) bezeichnen das Lauterbrunner Kristallin als Gasternkristallin, währenddem WYSS (1932, S. 11) die Zone der nördlichen Gneise (Baltzer und Fellenberg) in Innertkirchner und Gasterngranit sowie Erstfelder Gneis aufteilt. Die in jüngeren Publikationen am häufigsten zitierte Arbeit ist diejenige von HUGI E. (1934). In ihr faßt der Autor Gastern- und Innertkirchner Granit zusammen und bezeichnet diese als nördliche Zone des Aarmassivs.

Auch HUTTENLOCHER (1947) bestimmt die in Frage stehenden Gesteine als resorptionsreiche Granite und Granodiorite (Zone von Gastern und Innertkirchen).

Die Arbeit von Neidinger (1948) ist die einzige, die sich im Rahmen einer Dissertation mit dem Lauterbrunner Kristallin befaßt. Sie spricht sich unmißverständlich dahin aus, daß das Kristallin durch eine granitische Intrusion in eine metamorphe Gesteinsserie entstanden sei.

Ausgenommen von Geologen der welschen Schule, sind die fraglichen Gesteine von allen späteren Autoren als Granite bezeichnet worden. Der Begriff Migmatit wird von KRUMMENACHER (1959, S. 247) zum erstenmal verwendet, und CHESSEX et al. (1964, S. 44) schlagen vor, den von ihnen so genannten «Migmatite à pinite» als «série de Lauterbrunnen-Innertkirchen» vom Gasterngranit abzutrennen.

Es ist bereits am Anfang auf die erstaunliche Tatsache hingewiesen worden, daß das Innertkirchner/Lauterbrunner Kristallin als Granit bezeichnet wird. Einer der Autoren (HÜGI, 1956), die diese Zone als Granitzone erklären möchten, äußert selbst Zweifel in dieser Hinsicht. Er schreibt auf Seite 10, daß die allgemein für Granite typische massige Beschaffenheit dem Innertkirchner Granit fehlt. Die Unsicherheit in der Klassifizierung dieses Gesteins zeigt sich deutlich in der verschiedenen Namengebung vor 1900. Selbst beim gleichen Autor finden sich die Bezeichnungen Gneis und Granit in wechselndem Gebrauch im Laufe der Zeit.

Zum erstenmal hat HUGI, Fr. J. (1830, S. 27 und 28) die Ansicht vertreten, daß Teile des Gesteins durch ein aus der Tiefe aufsteigendes Magma gebildet worden seien. Für die heute allgemein vertretene Ansicht sind aber erst die Ausführungen von SAUER (1900) wegleitend geworden, wonach die Gesteine der nördlichen Zone zweifellos eruptiven Ursprungs seien. Diese Ansicht fußt auf der Beobachtung, daß das Kristallin fremde Einschlüsse aufweist. Um seine Ansicht zu erhärten, hat SAUER (1900, S. 740) zwei Skizzen gegeben. Diese Figuren sind vergleichbar mit den Migmatitbildern von MEHNERT (1971, S. 10/11). Die Ähnlichkeit mit sogenannten Schollenstrukturen fällt sofort auf. Der Beweis für die eruptive Natur des granitischen Anteils (Neosom) ist dadurch aber nicht erbracht, weil genetisch das Zustandekommen eines solchen aus zwei deutlich unterscheidbaren Teilen bestehenden Gesteins sowohl als Entexis wie auch als Ectexis gedeutet werden kann.

Bei der Durchmusterung der Literatur gilt es herauszufinden, ob die verschiedenen Autoren stichhaltige Gründe für die Entstehung von Innertkirchner und Lauterbrunner Kristallin durch eine aufsteigende, granitische Schmelze und gleichzeitiges Einschmelzen eines präexistierenden Gesteins erbringen konnten.

Schon bald nach Sauer hat BALTZER (1903, S. 320) die neue Ansicht übernommen, ohne allerdings anderweitige Gründe für deren Richtigkeit anzuführen. Ebenfalls HUGI (1907) bezeichnet die ehemaligen Gneise als «ächte» Eruptivgesteine. Auf Seite 446 gibt er «strickte» Beweise für die Tiefengesteinsnatur:

1. Kontaktverhältnisse mit den nördlichen Kalkalpen
2. Strukturelle, chemische Beschaffenheit
3. Einschlüsse von Kontaktschollen

Wie bereits erwähnt, bilden die Einschlüsse von Kontaktschollen keinen Beweis für die Eruptivnatur des Gesteins, so wenig wie die Kontaktverhältnisse zu den nördlichen Kalkalpen. Das dritte Argument ist ebenfalls nicht stichhaltig: weder die chemische noch die strukturelle Beschaffenheit sagen im vorliegenden Fall etwas über das Ausgangsmaterial des Gesteins aus. Wie verschiedene Autoren später deutlich zeigen konnten, ist es ohne weiteres möglich, granitische Strukturen auf dem Wege einer Migmatisierung in situ wie einer solchen durch Stoffzufuhr zu erhalten. Das gleiche Argument verwendet LOTZE (1914, S. 265), wenn er behauptet, daß eine normale Ausscheidungsfolge typisch für einen Granit sei. TRUNINGER (1911 A) gibt präzise Beschreibungen von sogenannten kontaktmetamorphen Sedimentschollen. Er bezieht sich auf SAUER (1900), der als erster die kontaktmetamorphe Natur solcher Einlagerungen erkannt hat. Was bei Sauer und Hugi ein Argument für die eruptive Entstehung des Gesteinskomplexes ist, wird in der trefflichen Beschreibung von Truninger zu einer Stütze der Migmatisierung in situ (S. 487):

«... Aplit- und Pegmatitgänge, die in ihrer Hauptmasse ungefähr parallel den Sediment-einschlüssen verlaufen und auch kleinere Apophysen in diese hinein entsenden.» Seite 489: «Kalkbänder . . . Die einzelnen Bänder werden kaum über einen Meter mächtig und teilen sich öfters in hintereinandergereihte größere und kleinere Linsen. Ihre Gesamtlänge beträgt gegen 120 m.» Seite 493: «Daß überhaupt die Umwandlungsfähigkeit des Magmas keine bedeutende gewesen sein kann, geht auch schon daraus hervor, daß eine im Granit eingeschlossene Sandsteinscholle beinahe unverändert geblieben ist.»

Von Truninger wird hier ein Problemkreis angeschnitten, der explicite von keinem Autor näher diskutiert worden ist. Innerhalb eines Intrusionsmodells müßten zwei Vorgänge erklärt werden können: erstens die Platznahme der granitischen Schmelze und zweitens die teilweise Aufschmelzung der Trümmer des präexistierenden Gesteins, in das die Schmelze eingedrungen ist. Detailuntersuchungen im Lauterbrunner Kristallin haben die Beobachtungen von Truninger bestätigt: Die Schollen im Lauterbrunner Kristallin, nicht nur die Marmorschollen, sind räumlich orientiert angeordnet, und Schollen gleicher petrographischer Ausbildung liegen in zueinander parallelen Zügen in der Matrix des Kristallins (RUTISHAUSER, 1973 A, Fig. 11). Eine solche regelmäßige Anordnung und das statistisch belegte Verhältnis der Schollenlänge zur Schollendicke kann durch ein Intrusionsmodell nicht erklärt werden.

Die Beobachtungen von HUTTENLOCHER (1947, S. 106) sind für das Verständnis des Aarmassivs außerordentlich wichtig:

«Für die Biotitgneise sind nun in der Regel parallel eingelagerte amphibolitische Einschaltungen sehr bezeichnend. Diese sind als basische Sills anzusehen. Bei der allgemeinen

orogenetischen Durchbewegung des damaligen Substratums hat aber das Nebengestein ganz anders reagiert als die basischen Eruptivkörper. Das erstere wurde mit der entektischen Metatektentwicklung zu einer plastischen Grundmasse, in welche die der Schichttextur entbehrenden starren Amphibolite sich völlig passiv verhielten und meist nach Art einer ‚Boudinage‘-Textur auseinandergerissen und vom ursprünglichen Verband losgelöst wurden. Außerhalb derselben nun, und zwar im Bewegungsschatten der starren, der Differentialbewegung kaum zugänglichen Amphibolite, sammelte sich wie in Streckungshöfen das Entekt mit etwa noch anderweitig mobilisierten Lösungen zu pegmatitischen Anreicherungen an. Im Verlaufe dieser Anstauung vermochte diese Lösung mit dem Amphibolit zu reagieren, es kam zur Ausbildung eines bis mehrere cm breit werdenden Randes dichten Biotites und zur Abscheidung von großblättrigen Biotiten zwischen den Plagioklasen des die aufgeteilten Amphibolite zementierenden Neosoms. Der Anorthitgehalt der Feldspäte ist jedoch unverändert geblieben.»

Hier sind Beobachtungen in der nördlichen Schieferzone gemacht worden, die darauf schließen lassen, daß diese kristallinen Schiefer einen gleichen Entwicklungsgang durchliefen wie die nördlich anschließenden Gesteine; die letzteren haben aber offenbar eine höhere Entwicklungsstufe erreicht, indem die inkompetenten Schichten (Biotitgneise in der Beschreibung von Huttenlocher) strukturell grundlegend umgewandelt worden sind. Das Auseinanderreißen der kompetenten amphibolitischen Schichtglieder (entsprechend Huttenlocher nach Art einer «Boudinage») erfordert eine Druckwirkung senkrecht zur Schichtung des Gesteinskörpers, die eine sekundäre Kräftewirkung parallel der Schichten induziert (Dilatation). Die Beschreibung von Huttenlocher fügt sich widerspruchlos in das neue, für das Lauterbrunner Kristallin postulierte Modell. Die gleichen Beobachtungen an amphibolitischen Schollen können auch im Lauterbrunner Kristallin gemacht werden. Die Erscheinungen sind wegen des vorgerückten Entwicklungsstandes im Lauterbrunner Kristallin nicht so eindeutig, stimmen aber in allen Einzelheiten mit den Beschreibungen von Huttenlocher überein, der im Gegensatz allerdings eine entektische Metatektentwicklung postuliert, was für die Matrix des Lauterbrunner Kristallins nicht zutrifft.

NEIDINGER (1948, S. 89) gibt ebenfalls keine unwiderlegbaren Argumente für die eruptive Natur des Lauterbrunner Kristallins:

«Das ganze Gebiet ist das Bild einer Dachpartie eines Intrusionskörpers, wo keine völlige Verarbeitung der darin einsinkenden Fremdmaterialien stattfand. Das Auftreten teilweise relativ größerer kompakter Fremdschollen läßt darauf schließen, daß das granitische Magma nicht mehr sehr leichtflüssig und beweglich war, sondern eher eine zähe, breiige Masse bildete, die nur gelegentlich noch, bereits im Stadium der langsamen Verfestigung, von Aufstößen relativ sauren Restmagmas in kleineren Mengen durchbrochen wurde, und zwar so, daß keine eigentliche Durchmischung des bereits Vorhandenen mit dem später Aufstoßenden mehr stattfand, sondern mit mehr oder weniger kontinuierlichem Übergang nebeneinander auftritt. Das bereits vorhandene Substrat war jedoch noch nicht erstarrt, sondern befand sich noch im beweglichen Stadium, wodurch das empordringende neue Material keine tektonisch sich auswirkenden Spannungseffekte verursachte, sondern das ältere vom jüngeren nur beiseite geschoben wurde.»

Es ist bereits betont worden, daß es keine Beobachtungstatsachen gibt, die uns die räumliche Orientierung im ursprünglichen Kristallinkörper ermöglichen würde. Die heutige Form wurde durch den sicherlich gewaltigen Abtragungsbeitrag der prätriaschen Verwitterung und die Größe des heutigen Areal durch die nach der Alpenfaltung auftretende Erosion bestimmt. Beide Vorgänge wirkten unabhängig vom inneren Bau des Kristallinkörpers. Die Vorstellung, daß wir uns heute in einer Dachpartie befinden, ist deshalb als phantasievoller, den Realitäten aber nicht entsprechender Erklärungsversuch zu bewerten. Es ist auch unverständlich, daß ein granitisches Magma, das nicht mehr sehr leichtflüssig und beweglich war, einen präexistierenden Gesteinskörper zuerst mechanisch und anschließend durch Resorptionsvorgänge auf eine dermaßen große Distanz in gleicher Art und Weise verändert hätte.

Die weitere Suche nach publizierten Beobachtungstatsachen, die das Intrusionsmodell als glaubwürdig erscheinen ließe, bringt auch bei der Durchsicht der «Geologie der Schweizer Alpen» nichts Neues zutage, indem NIGGLI, E. (1953, S. 34) nur die Auffassung von HUTTENLDCHER (1947) wiedergibt. HÜGI (1955, S. 307) äußert sich folgendermaßen:

«In den letzterwähnten östlichen Gebieten trifft man zudem weit häufiger größere und gegen das Granitsubstrat hin meist unscharf begrenzte Schollen an. Der Grad der Kontaminierung der Innertkirchner Granitzone nimmt also eindeutig von West nach Ost zu. Bei der Intrusion dieses Granitmaterials kam es zur Vermischung von magmatischem und altkristallinem Stoffbestand, wobei beim Ablauf der Geschehnisse der stattgehabte Stoffaustausch beim Gasterngranit für gering, beim Innertkirchner Granit dagegen, mindestens an einzelnen Stellen mit vorwiegend unscharf begrenzten Schollen, als intensiver angesehen werden darf. Höchstwahrscheinlich spielten sich die Vorgänge im letzterwähnten Falle zudem in größerer Tiefe ab.»

Dazu ist zu sagen, daß, solange keine weiteren quantitativen Kartierungen an guten Aufschlüssen bestehen, nicht von einer eindeutigen Zunahme oder Abnahme der Durchsetzung mit Schollenmaterial gesprochen werden kann. Gute Aufschlüsse sind deshalb nötig, weil die wahre Natur des Gesteins nur an solchen erkennbar ist. Die Verwitterung verschleiert die feinen Strukturdifferenzen sehr rasch, und es kann zudem nicht deutlich genug darauf hingewiesen werden, daß für eine einigermaßen zuverlässige Aussage eine Mindestgröße an Aufschlußfläche zur Verfügung stehen muß. Letztlich scheint es auch so zu sein, daß die alpin-tektonische Beanspruchung des Innertkirchner/Lauterbrunner Kristallins im Osten weit größer ist als im Westen. In den tektonischen Zonen ist es aber nicht mehr möglich, alle Feinheiten des Gesteins zu erkennen. Selbst die Schollen sind häufig nicht mehr erkennbar. Unverständlich bleibt auch, warum ein inhomogenes Gestein in größerer Tiefe als ein homogenes (Gasterngranit) gebildet worden sein sollte.

In zunehmendem Maße werden nun die Begriffe wie Hybridisierung, syntekti-sches Magma, kontaminiertes Magma und Kontaminierung in die Diskussion ge-

bracht. Diese Begriffe sind aber zu allgemein, als daß sie die Vorgänge im einzelnen erklären könnten.

Die am Anfang aufgeführten Beobachtungstatsachen lassen sich anhand eines Intrusionsmodells nicht widerspruchlos erklären. Weder die Frage, woher das intrudierende Magma überhaupt stammt, noch das Problem der Platznahme desselben ist von einem der Autoren bis in die letzte Konsequenz durchdacht worden. Diese Frage erübrigt sich, wenn die Bildung dieses Kristallinkomplexes als eine solche *in situ* erklärt wird. Der Einwand, daß den früheren Bearbeitern dieser Zone nicht so gute Aufschlüsse zur Verfügung standen, kann entkräftet werden anhand der Beobachtungen von TRUNINGER (1911 A, S. 487), die sich sehr gut in das Modell der Migmatisierung *in situ* einfügen lassen. Auch bei anderen Autoren finden sich Beobachtungen, die das Modell einer Migmatisierung bekräftigen (vgl. die Zusammenstellung in RUTISHAUSER, 1972, S. 322/323). KRUMMENACHER (1959, S. 247) ist der erste Autor, der das Innertkirchner/Lauterbrunner Kristallin als Migmatit bezeichnet. Derselbe Autor korreliert diese Gesteinszone mit der von ihm untersuchten «Série de Fully». Tatsächlich ist die Ähnlichkeit dieser beiden Gesteinskomplexe auffallend (vgl. dazu STUDER, 1865, S. 403). In späteren Publikationen wird darauf aufmerksam gemacht, daß diese beiden Zonen im Westen noch weiter verfolgt werden können. KRUMMENACHER et al. (1965, S. 860):

«On sait déjà que la série de granodiorites souvent migmatiques, à pinite et enclaves, dite série de Fully, affleure dans la terminaison E du massif des Aiguilles-Rouges et se poursuit vers l'E dans le massif de l'Aar par les granites de Lauterbrunnen et d'Innertkirchen. Nous avons récemment retrouvé cette même série dans l'W du massif du Pelvoux (série de Rif du Sap de P. Le Fort).»

Von den Autoren wird vorgeschlagen, diese Zone als «série à pinite» zu bezeichnen. Damit ist die Bedeutung des Innertkirchner/Lauterbrunner Kristallins, die ihm im Rahmen einer Gesamtbetrachtung zukommt, zum erstenmal deutlich umrissen worden. Diese aarmassivische Gesteinszone hat ihre Ausdehnung nicht nur in der Längsachse der kristallinen Massive, sie muß auch viel breiter ein, als das die heutigen Aufschlußverhältnisse vermuten lassen. Um die Bedeutung dieser Kristallinzone in einem größeren Rahmen erfassen zu können, muß versucht werden, die Beziehungen zu den angrenzenden Gesteinszonen abzuklären.

### *Die Beziehungen zwischen dem Lauterbrunner Kristallin und dem Gasterngranit*

Wohl die interessanteste Frage ist, ob sich das Lauterbrunner Kristallin deutlich vom Gasterngranit unterscheidet oder ob die gleichen Konvergenzen vorhanden sind wie zwischen dem Lauterbrunner Kristallin und dem Innertkirchner



Kristallin. Zu diesem Problem wurden im Laufe der Zeit die unterschiedlichsten Ansichten geäußert. Aus der Literatur ist zu entnehmen, daß dem Gasterngranit von verschiedenen Autoren eine deutlich selbständige Stellung eingeräumt wird. Unter ihnen bezeichnet ihn vor allem Fellenberg als einzig «ächten» Granit des gesamten Aarmassivs überhaupt. Trifft dies tatsächlich zu, dann müßten im Laufe der Erforschung Kontakte zwischen dem Granit und seinen Rahmengesteinen aufgefunden worden sein. Nach verschiedenen Autoren gibt es tatsächlich solche Kontakte. Bei FELLEBERG (1887, S. 98) liegt der Kontakt beider Gesteine tief unter den Eismassen des Kanderfirns begraben. TRUNINGER (1911 A, S. 43) beschreibt eine Kontaktzone des Gasterngranits am Absturz des Kanderfirns im Hintergrund des Gasterntales. Hier schwimmen sedimentäre Einlagerungen (Kalke und Injektionsgneise) gleichsam als große, noch unverdaute Schollen im Granit. Wichtig sind die folgenden beiden Bemerkungen von TRUNINGER (1911 A):

Seite 52. «Gleich da, wo das krystalline Massiv im Osten, am Untersteinberg, wiederum unter der Gletscherbedeckung hervortritt, begegnen uns die Injektionsgneise in gleicher Ausbildung wieder.»

Seite 53. «Die im großen und ganzen stoffliche Einförmigkeit des Gasterengranites macht im Gebiet der Kontaktzone einem verhältnismäßig raschen Wechsel Platz.»

Bei HUGI (1915) liegt die Grenze zwischen Gasterngranit und Lauterbrunner Granit im Oberen Lauterbrunnental. Nach ihm hat die Injektionszone eine Breite von etwa 200 m, was auffallend mit der 250 m breiten Injektionszone von Truninger übereinstimmt. Die eine Zone liegt allerdings im Oberen Lauterbrunnental, die andere im obersten Teil des Gasterntales, und dazwischen befindet sich der ungefähr 9 km messende Kanderfirn. In der «Geologie der Schweiz» (HEIM, 1922) wurde die Ansicht von Hugi übernommen. NEIDINGER (1948, S. 89) schreibt nach einer mündlichen Mitteilung von Hügi, daß am Kanderfirnabsturz kein Kontakt zwischen Granit und Nebengestein festgestellt werden könne. Stets handelt es sich um Einschlüsse von Fremdmaterial in Form mehr oder weniger großer Schollen, die im Granit liegen. Dies steht deutlich im Widerspruch zu der Beobachtung von Truninger, wonach der einförmige Gasterngranit verhältnismäßig rasch in die sogenannte Injektionszone übergeht. Es ist unklar, was die Autoren letztlich unter Kontaktzone oder Intrusivkontakt verstehen. HÜGI (1965, S. 5) glaubt am Kanderfirnabsturz einen Intrusivkontakt zwischen Gasterngranit und Schieferhülle zu sehen. Diese Kontaktzone ist relativ eng begrenzt (HÜGI, 1956, S. 4). Eine Seite vorher ist aber geschrieben worden, daß der Gasterngranit nicht scharf abgrenzbar sei (HÜGI, 1956, S. 3). Dies entspricht der Meinung verschiedener anderer Autoren, so auch derjenigen von WÜTHRICH (1965, S. 914):

«Der Gasterngranit ist das westlichste Glied der nördlichen Granitzone des Aarmassivs. Er läßt sich nicht scharf abgrenzen: Gegen Nordosten zu geht er allmählich in den Lauterbrunner Granit über, und weiter südöstlich finden wir den Innertkirchner Granit. Alle drei Granittypen sind sehr eng verwandt, wie auch schon ihre allmählichen Übergänge zeigen. Von Südwesten gegen Nordosten nimmt aber die Beeinflussung der Granitschmelze durch

die angrenzende Schieferhülle, das heißt der Grad der Durchsetzung mit Fremdmaterial zu. Offenbar finden wir im Lauterbrunner- und Innertkirchengranit ein tieferes Intrusionsniveau als im Gasterngranit, so daß es zu stärkeren Reaktionen mit dem Nebengestein kam. Eine typische Ausbildung des Gasterngranites findet man am ehesten im Gasterntal.»

Zusammenfassend kann festgehalten werden, daß im Laufe der Zeit vier verschiedene Meinungen publiziert worden sind:

1. Der Kontakt zwischen Lauterbrunner Kristallin und Gasterngranit liegt unter dem Kanderfirn (FELLENBERG, 1887, S. 92).
2. Der Kontakt liegt am Absturz vom Kanderfirn ins Gasterntal (TRUNINGER, 1911 B, S. 43).
3. Der Kontakt liegt im Oberen Lauterbrunnental (HUGI, E. 1915, S. 365/366).
4. Kein Kontakt: Der Gasterngranit geht langsam in das Lauterbrunner Kristallin über (BALTZER, 1910, S. 281. Heutige Lehrmeinung: vgl. z. B. mit NIGGLI, E. 1953, S. 34, HÜGI, 1956, S. 3, WÜTHRICH, 1965, GWINNER, 1971, S. 357).



Abb. 3 Gneisige Partie in der Matrix des Lauterbrunner Kristallins mit rudimentären, konkordanten und in situ gebildeten hellen Partien. Zu beachten ist die Boudinstruktur in der Mitte des unteren Bildrandes (Bildbreite etwa 2 m).

Dank dem starken Gletscherrückgang in den letzten Jahrzehnten ist heute ersichtlich, daß im Oberen Lauterbrunnental der Gasterngranit nicht aufgeschlossen ist. Entgegen der Meinung von HUGI, E. (1915, S. 365) ist hier kein Kontakt vorhanden. HEIM (1922, S. 130) faßt die Kenntnisse der damaligen Zeit folgendermaßen zusammen:

«Unter dem Kanderfirnabsturz, an einer Stelle, welche erst durch den gewaltigen Gletscherschwund der letzten zwei Jahrzehnte mehr und mehr entblößt worden ist, fand Truninger eine Zone großer Scholleneinschlüsse im Gastergranit mit prachtvoller CM . . . Die Einschlüsse sind nach ihrem Alter nicht bestimmbar . . . ‚Graue Gneise‘ von Jungfrau bis Schreckhorn. Gegen E folgen, den Gasterngranit ablösend, graue bis grüne Gneise mit oft guter Paralleltexur und meistens  $60-70^\circ$  SSE Fall. Die Grenze des Gasterngranites gegen diese Gneise war früher ganz durch Gletscher verdeckt. Bei seinem letzten starken Rückzug hat der Tschingelgletscher eine Schlifffläche entblößt, an welcher Hugi 1914 das Absinken des Gasterngranites unter den grauen Gneis, unter Ausstrahlen von zahlreichen konkordanten Aplit- und Pegmatitgängen in den grauen Gneis hinauf beobachten konnte. Der graue Gneis ist dem Erstfelder Gneis ähnlich. Er ist im Kessel von Trachsellauen aufgeschlossen und setzt dann gegen E unter die Jungfrau fort. Er stellt sich aber auch im oberen Teile des



Abb. 4 Typische, helle Lage im Lauterbrunner Kristallin. Solche konkordant zum allgemeinen Parallelgefüge der Matrix eingelagerten Züge sind in einer engbegrenzten Zone im Bereich der Zungenlage des Tschingelgletschers von 1911 angereichert (vgl. mit der Kartenbeilage, Bildbreite etwa 2 m).

Rothtales ein, bildet die Gipfel von Jungfrau, Mönch, Schreck- und S-Wetterhörner sowie die Kessel der Grindelwaldgletscher.»

Diese Zone der «konkordanten Aplit- und Pegmatitgänge» in den «grauen Gneisen» (Lauterbrunner Kristallin) war Gegenstand einer zweiten Detailkartierung im Oberen Lauterbrunnental (siehe Kartenbeilage). Die aufschlußreichen Resultate der Kartierung sind für das Verständnis der historischen Entwicklung in der Erforschung des nördlichen Aarmassivs sehr wichtig. Die Zungenlage des Tschingelgletschers von 1911 ist genau rekonstruierbar (RUTISHAUSER, 1971, Abb. 4). Diese Lage wie diejenigen von 1918 und 1933 (Vorstoß des Tschingelgletschers) sind in der Karte eingezeichnet worden. Aus der Karte ist somit ersichtlich, daß subparallel zum vermutlichen weiteren Verlauf des Eisrandes von 1911 eine Zone mit sehr vielen aplitischen Partien vorhanden ist (vgl. mit den Abb. 3/4). Parallel dazu schließen sich nördlich und südlich an diese Zone ausgeprägte Schollenzüge an, wovon der südliche sehr große Marmorschollen enthält. Weiter nördlich und südlich ist das Lauterbrunner Kristallin auffallend schollenarm (siehe Kartenbeilage).

Strukturuntersuchungen zeigen (Abb. 5), daß die Foliation der Schollen, das Parallelgefüge der aplitischen Partien und der Matrix des Lauterbrunner Kristallins räumlich gleich orientiert sind: durchschnittlich  $70^\circ$  SSE fallen. Diese Orientierung der «grauen Gneise» (HEIM, 1922) ist schon von HUGI, Fr. J. (1830) beobachtet worden. Die strukturellen Eigenschaften des Aufschlusses im Bereich der Zungenlage von 1911 stimmen überein mit denjenigen des ebenfalls im Detail kartierten, weiter südlich gelegenen Aufschlusses (vgl. Karte und Fig. 12 in RUTISHAUSER, 1973 A, sowie 1972 A, Tafel 95).

Es ist verständlich, daß HUGI, E. (1915) diese konkordant eingeschalteten Aplitzüge als Kontaktzone zwischen dem Gasterngranit und dem Lauterbrunner

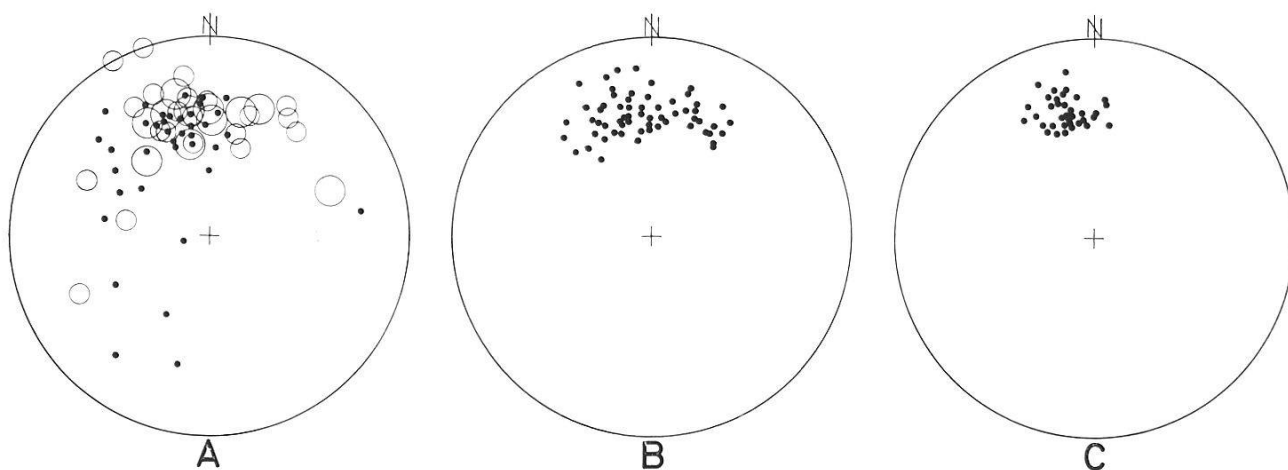


Abb. 5 Strukturdiagramme des Lauterbrunner Kristallins im kartierten Bereich (stereographische Projektion, untere Halbkugel). Die Foliation der Schollen (A), die räumliche Orientierung der plattenförmigen, hellen Bereiche (B) sowie das Parallelgefüge der Matrix (C) fallen einheitlich steil gegen SSE ein. In A bedeuten die großen Kreise Schollen über 80 cm, kleine Kreise Schollen in der Größenordnung 80 cm bis 20 cm, und Punkte Schollen kleiner als 20 cm.

Kristallin interpretiert hat, fehlten ihm doch die heute wegen dem weiteren Gletscherrückgang zugänglichen guten Aufschlüsse (vgl. dazu RUTISHAUSER, 1968, 1971, 1972 B). Die konkordant eingeschalteten Aplitzüge wurden in situ gebildet (Abb. 3/4). Morphologisch, strukturell und mikroskopisch sind sie identisch mit den aplit-granitischen Einschaltungen des weiter südlich gelegenen, im Detail kartierten Bereiches (Zone B der Karte in RUTISHAUSER, 1972 A, 1973 A). Ihnen fehlen die Haupteigenschaften, die Massengesteine aufweisen müssen, damit sie eindeutig als intrusiv bezeichnet werden können: der diskordant zum Rahmengestein verlaufende Kontakt, die diskordant in das Rahmengestein eingedrungene Gangfolge sowie die entlang des Kontaktes regellos angeordneten Nebengesteins-trümmer (vgl. mit RUTISHAUSER, 1973 B).

Diese Eigenschaften weist der Gasterngranit in der sogenannten Kontaktzone am Absturz des Kanderfirns (Alpetligletscher) auf. Hier stellen wir einen echten Intrusivkontakt fest: der Gasterngranit intrudierte in das Lauterbrunner Kristallin. Das Rahmengestein der Gastern-Intrusivmasse hinten im Gasterntal ist sowohl strukturell wie nach dem Scholleninhalt (vgl. TRUNINGER, 1911 A) identisch mit dem Lauterbrunner Kristallin.

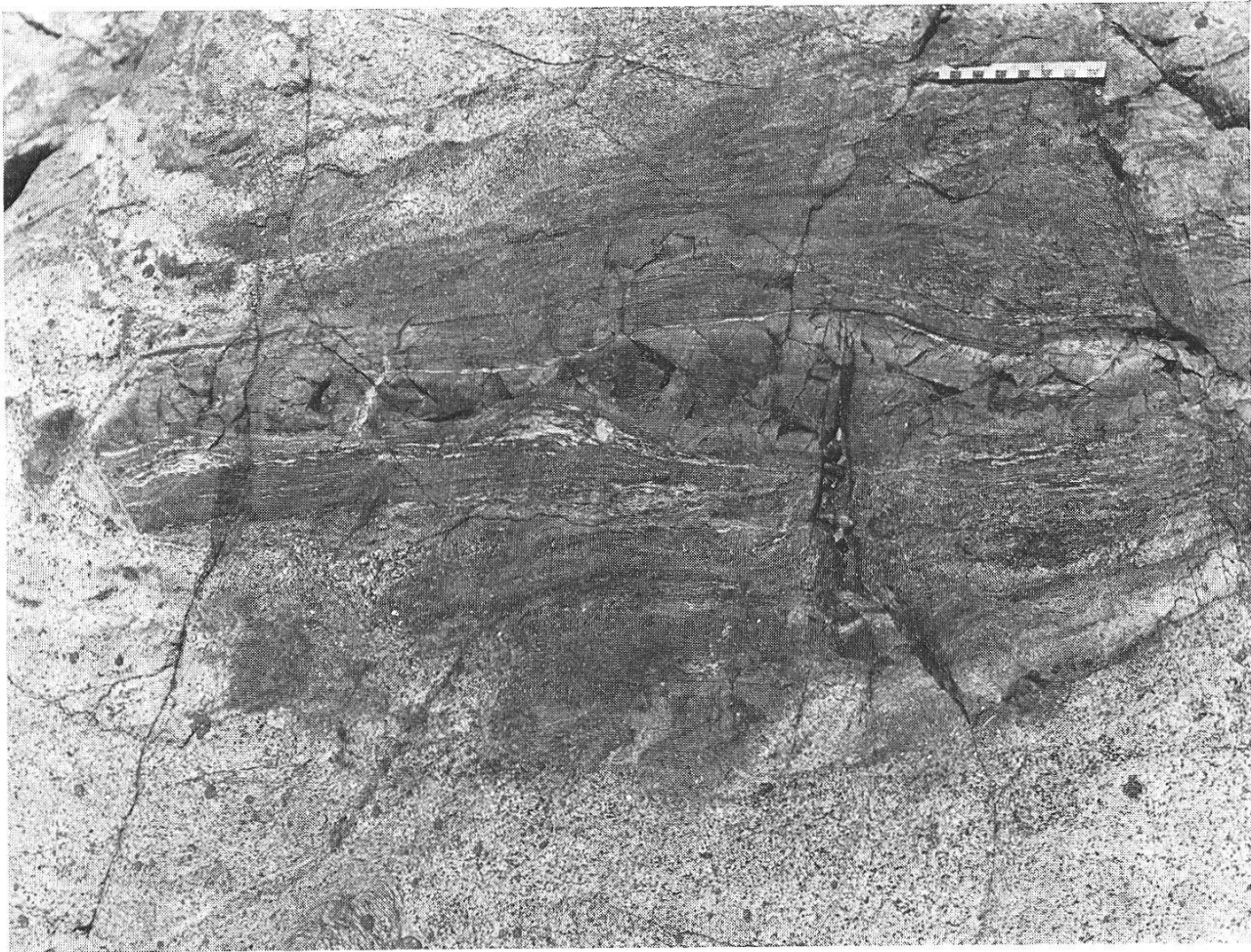


Abb. 6 Scholle aus Lauterbrunner Kristallin im Gasterngranit (Intrusivkontakt des Gasterngranites im Hintergrund des Gasterntals am Absturz des Kanderfirns, Alpetligletscher. Bildbreite etwa 1,3 m).

Entlang der Kontaktzone sind Schollen des Lauterbrunner Kristallins in regelloser Anordnung im massigen Gasterngranit vorhanden. Abbildung 6 gibt ein Beispiel einer solchen Scholle: diese weist ein deutliches Parallelgefüge auf, und in der Mitte ist eine boudinierte kompetente Schicht erkennbar. Parallelgefüge wie Boudinierung sind die Folge einer Druckeinwirkung. Auswirkungen dieses Druckes sind aber in dem die Scholle umgebenden Gasterngranit keine feststellbar. Somit ist diese Druckeinwirkung älter als die Intrusion des Gasterngranites. Es ist derselbe Druck, der die Boudinierung kompetenter und die Parallelstruierung der inkompetenten Schichten des Innertkirchner/Lauterbrunner Kristallins während der Migmatisierung bewirkte.

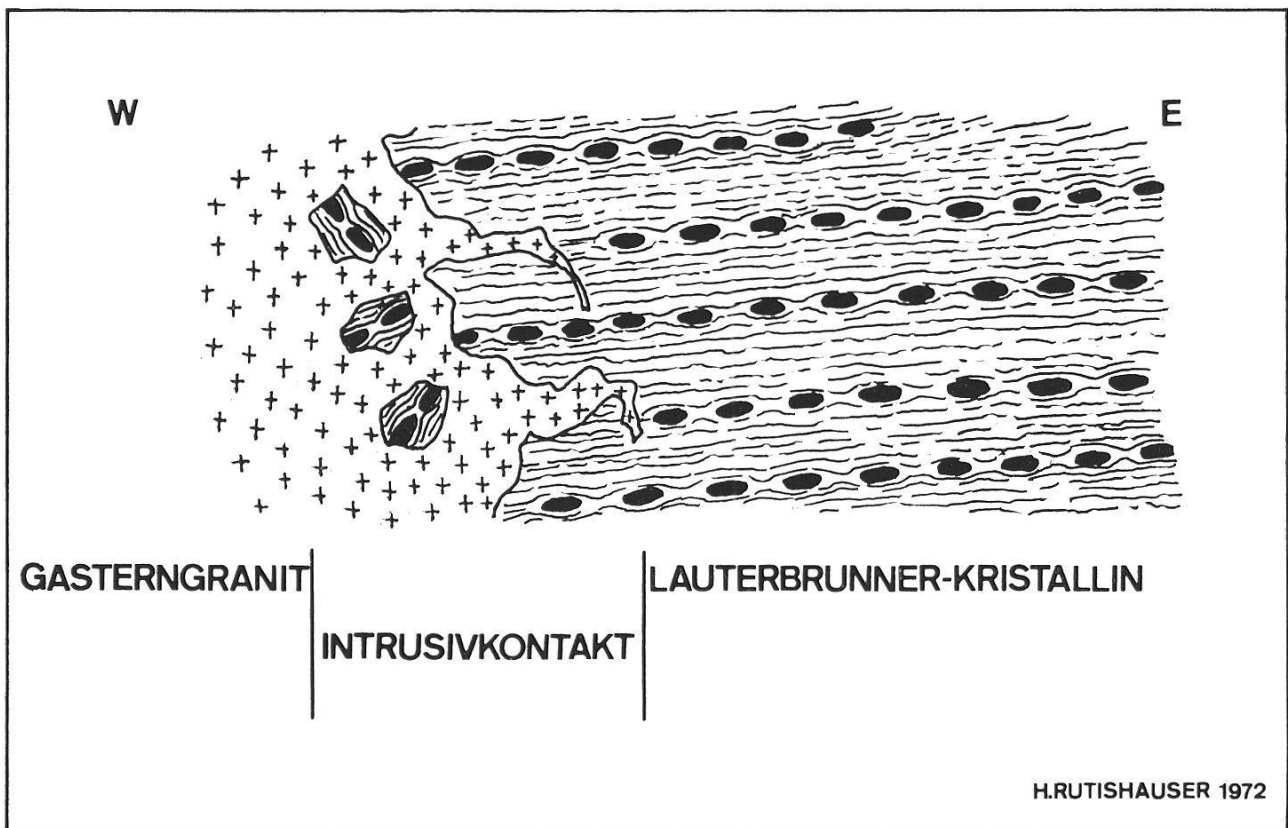


Abb. 7 Schematische Zeichnung des Intrusivkontaktes im Hintergrund des Gasterntals.

Anhand der strukturellen Untersuchungen läßt sich erkennen, daß der Gasterngranit in der nördlichen Zone des Aarmassivs eine gesonderte Stellung einnimmt: er ist ein granitischer, massiger, palingener Intrusivkörper, der am Absturz des Kanderfirns mit seinem dortigen Rahmengestein (Lauterbrunner Kristallin) einen echten Intrusivkontakt bildet. Die schematische Zeichnung in Abbildung 7 erläutert die Beziehungen zwischen dem Lauterbrunner Kristallin und dem Gasterngranit, wie sie nach dem Stand der heutigen Kenntnisse bestehen müssen (vgl. KRUMMENACHER 1965, Fig. 1).

Damit ist nur die Beziehung zwischen Lauterbrunner Kristallin und Gasterngranit beleuchtet worden. Aus der Tatsache, daß das Lauterbrunner Kristallin

in situ gebildet worden ist, läßt sich ableiten, daß im Süden ein fließender Übergang in die nördliche Schieferhülle vorhanden sein muß (vgl. mit STUDER, 1865, S. 401). Dieser Hypothese widersprechen keine der bis heute bekannten Beobachtungsergebnisse.

### *Literatur*

- BADOUX, H. (1967): Géologie abrégée de la Suisse. In Geol. Führer d. Schweiz, 2. Auflage, Fasc. 1. Wepf, Basel.
- BALTZER, A. (1878 A): Über die nördliche Grenzregion der Finsteraarhorn-Centralmasse. Neues Jahrbuch f. Mineralogie, Geologie u. Palaeontologie. S. 26–37.
- (1878 B): Über die Frage, ob der Granit-Gneiß der nördl. Grenzregion der Finsteraarhorn-Centralmasse eruptiv sei oder nicht, und über damit zusammenhängende Probleme. Neues Jahrb. f. Mineralogie, Geologie u. Palaeontologie. S. 449–489.
- (1880): Der mechanische Contact von Gneiß und Kalk im Berner-Oberland. Beiträge z. Geologischen Karte d. Schweiz. 20. Lief.
- (1888): Das Aarmassiv (mittlerer Theil) nebst einem Abschnitt des Gotthardmassivs. Beiträge geol. Karte Schweiz (Bl. XII).
- (1903): Die granitischen Intrusivmassen des Aarmassivs. Neues Jahrbuch f. Mineralogie, Geologie u. Palaeontologie. Heft 2, S. 292–324.
- (1906): Das Berner oberland und Nachbargebiete. Sammlung geologischer Führer XI. Gebrüder Bornträger, Berlin.
- (1919): Die intrusive Granit(Protogin)-zone des westlichen Aarmassivs, 29. Jahresversammlung d. Schweizerischen Geologischen Gesellschaft. Eclogae Geologicae Helvetiae, 11/3, S. 280–283.
- CADISCH, J. (1953): Geologie der Schweizer Alpen. 2. Auflage. Wepf, Basel
- CHESSEX, R. et al. (1964): Nouvelles déterminations d'âges «plomb total» sur des zircons alpins. Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen, 44/1, S. 43–60.
- COLLET, L. W. et PARÉJAS, Ed. (1928): Carte géologique de la Chaîne de la Jungfrau 1: 25 000. Geologische Spezialkarte der Schweiz, Nr. 113.
- (1931): Géologie de la Chaîne de la Jungfrau. Beiträge zur Geologischen Karte d. Schweiz. Neue Folge 63.
- ESCHER, H. C. (1807): Materialien zu einer naturhistorisch-technischen Geschichte des Bergbaus bey Trachsellaun im Hintergrund des Lauterbrunnenthals im Canton Bern, am Ende des achtzehnten Jahrhunderts. Alpina, 2, S. 236–324.
- FELLENBERG, E. (1864): Das Silberhorn. Jahrbuch d. Schweizerischen Alpenclubs, 1, S. 313–363.
- (1868): Fahrten im Berner oberland. Mit geologischen Notizen. Jahrbuch d. Schweizerischen Alpenclubs 5, S. 409–444.
- (1886): Geologische Übersicht über das Excursionsgebiet i. e. den centralen Theil des Finsteraarhornmassivs. Jahrbuch d. Schweizerischen Alpenclubs 22, S. 3–35.
- (1887): Granit und Gneiß in den Berner Alpen. Mitteilungen d. Naturforschenden Gesellschaft Bern, S. 89–110.
- (1890): Geologische Notizen über das Lauterbrunner Wetterhorn. Jahrbuch d. Schweizerischen Alpenclubs 25, S. 562–568.
- FELLENBERG, E. et al. (1893): Geologische Beschreibung des westlichen Theils des Aarmassivs. Beiträge z. Geologischen Karte d. Schweiz. 21, I und II.
- GRUNER, G. S. (1760): Die Eisgebirge des Schweizerlandes. 3 Bände, im Verlag der neuen Buchhandlung bey Abraham Wagner, Sohn.
- GWINNER, M. (1971): Geologie der Alpen. Schweizerbart, Stuttgart.

- HEIM, A. (1878): Über die Entstehung der Centralmassive. Verhandlungen d. Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft in Bern. 61. Jahresversammlung, Jahresbericht 1877/1878.
- (1922): Geologie der Schweiz, Bd. 2. Tauchnitz, Leipzig.
- HUBER, M. (1922): Intrusions- und Kontakterscheinungen im Oberhasli. Jahrbuch der Phil. Fak. II. Bern 2.
- HUGI, E. (1907): Vorläufige Mitteilung über Untersuchungen in der nördlichen Gneiszone des zentralen Aarmassivs. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 9/4, S. 441–464.
- (1910): Geologischer Quartalsbericht der Berneralpenbahn-Gesellschaft. Quartalbericht B. L. S., Nr. 15, S. 14–18. Bern, 30. Juni.
- (1915): Kontaktschollen im Gneis des oberen Lauterbrunnentales. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 13/3, S. 359–365.
- (1920): Zur Petrographie und Mineralogie des Aarmassivs. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 15/4, S. 482–491.
- (1922): Das Aarmassiv, ein Beispiel alpiner Granitintrusion. Verhandlung d. Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft Bern. II. Teil. S. 86–109.
- (1929): Die petrographisch-geologischen Verhältnisse des Baugebietes der Kraftwerke Oberhasli. Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Bern, S. 256–269.
- (1934): Das Aarmassiv. Geologischer Führer d. Schweiz, Fasc. II, S. 130–138. Wepf u.Co. Basel.
- HUGI, Fr. J. (1830): Naturhistorische Alpenreisen. Solothurn, bey J. Amiet-Lutiger.
- HÜGI, Th. (1947): Petrographische Beobachtungen zwischen Lonza und Petersgrat (westliches Aarmassiv). *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 40, S. 282–287.
- (1955): Petrographische Beobachtungen im Zuleitungsstollen Gadmental–Rotlauri der Kraftwerke Oberhasli A. G. (Aarmassiv). Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen, 35, S. 301–310.
- (1956): Vergleichende petrologische und geochemische Untersuchungen an Graniten des Aarmassivs. Beiträge z. Geologischen Karte der Schweiz, Neue Folge 94.
- (1967): Exkursionen 19/19 a (Grimselpaß, Sustenpaß). Geologischer Führer der Schweiz, 2. Auflage, Fasc. 2, Wepf Basel.
- HUTTENLOCHER, H. (1921): Vorläufige Mitteilungen zur Petrographie und Geologie des westlichen Aarmassivs. Mitteilungen d. Naturforschenden Gesellschaft Bern, 21, S. 1–20.
- (1947): Über die Verschiedenheit im Verlaufe magmatischer und metamorpher Prozesse, erläutert an Beispielen aus dem Aarmassiv. Mitteilungen d. Naturforschenden Gesellschaft Bern, Neue Folge 4, S. 85–116.
- JONES, A. G. (1959): Vernon map-area, British Columbia. Memoir Geological Survey of Canada, 296, S. 1–186.
- KRUMMENACHER, D. (1959): Le cristallin de la région de Fully (Valais). Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen, 39, S. 151–266.
- KRUMMENACHER D. et al. (1965): Les massifs externes alpins et leurs séries métamorphiques. Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen, 45/2, S. 855–873.
- LABHART, T. (1967): Mehrphasige alpine Tektonik am Nordrand des Aarmassivs. Beiträge zur Geologie der Schweiz. Kleinere Mitteilungen. Nr. 41.
- LOTZE, R. (1914): Beiträge zur Geologie des Aarmassivs. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, 66/2, S. 217–301.
- MEHNERT, K. R. (1971): Migmatites and the origin of granitic rocks. Elsevier, Amsterdam. 2. Auflage.
- NEIDINGER, E. (1948): Petrographische Untersuchungen im oberen Lauterbrunnental, Diss., Bern.
- NIGGLI, E. (1953): in Geologie der Schweizer Alpen von Cadisch, J. Wepf, Basel.
- RAMBERG, H. (1955): Natural and experimental boudinage and pinch and swell structures. *Journ. Geol.*, 63, S. 512–526.



- RUTISHAUSER, H. (1968): Graphische Darstellung und Berechnung der Veränderung des Schmadri- und Breithorn- und Gletschers sowie der Tschingelgletscherzunge in der Zeit von 1927 bis 1960. *Die Alpen* 44, S. 98–103.
- (1971): Ein Versuch der Korrelation von Zungenänderungen eines Einzelgletschers mit ortsfremden Temperaturmessungen. *Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Bern, Neue Folge* 28, S. 3–15.
  - (1972 A): Die quantitative Erfassung von Migmatiten im Aufschlußbereich (erläutert am Beispiel des Lauterbrunner Kristallins). Diss. Bern, unveröffentlicht.
  - (1972 B): Beobachtungen zur Bildung von Jahresmoränen am Tschingelgletscher (Berner Oberland). *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 65/1, S. 93–105.
  - (1973 A): Die quantitative Erfassung von Migmatiten im Aufschlußbereich (erläutert am Beispiel des Lauterbrunner Kristallins). Teildruck Diss. Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen, 53/1, S. 99–124.
  - (1973 B): Granitwerdung. *Die Alpen*, XLIX, S. 153–158.
- SAUER, A. (1900): Geologische Beobachtungen im Aarmassiv. *Sitz. Bericht. Akad. Wiss. Berlin*. 34, S. 730–741.
- (1906): Über die Erstfelder Gneise am Nordrande des Aarmassivs. *Bericht 38. Vers. Oberrhein. geol. Vereins*, S. 25–27.
- STUDER, B. (1851): *Geologie der Schweiz*, Bd. I, Stampfli, Bern.
- (1863): *Geschichte der physischen Geographie der Schweiz bis 1815*. Stämpfli, Bern.
  - (1865): Zur Geologie der Berner Alpen. *Jahrbuch d. Schweizerischen Alpenclubs*, 2, S. 382–406.
- TRUNINGER, E. (1911 A): Kontaktmetamorphose Erscheinungen im westlichen Teil des Aarmassivs (Gasternmassiv). *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 11/4.
- (1911 B): Geologisch-Petrographische Studien am Gasternmassiv. Diss. Bern.
- WÜTHRICH, H. (1965): Rb-Sr-Altersbestimmungen am alpin metamorph überprägten Aarmassiv. *Schweizerisch Mineralogische und Petrographische Mitteilungen*, 25/2, S. 875–971.
- WYSS, R. (1932): Petr. geol. Untersuchungen westl. d. Grimsel im Finsteraarhorn-Lauteraarhorngebiet. *Mitteilungen d. Naturforschenden Gesellschaft Bern*, S. 1–109.