

Der genetische Zusammenhang zwischen den Graniten und Gneissen.

von Privatdocent Held Dr. Endre LENGYEL.

Im Aufbau der Zentralmasse der Hohen Tatra spielen die Granite und die aus Graniten entstandenen Granitgneisse und Gneisse eine vorherrschende Rolle. Die Randfacies des mächtigen Granitblockes und seine inneren Absonderungsflächen sind durch Schieferstruktur, Pressung Chloritisierung, und Epidotisierung charakterisiert. Schon aus den Feststellungen Uhlig's geht hervor, dass die kleineren Massen des auf die natürlichen Blöcke zerfallenen Granitmassivums gewöhnlich in ihrer ganzen Ausdehnung Spuren eines starken Dynamometamorphismus aufweisen; die grösseren zeigen ihn nur in der Randzone.

Die in Untersuchung genommenen Granite*) haben beinahe sämtliche ein Parallelgefüge, welches sich an vielen Stellen bis zur für die Gneisse charakteristische Pressung steigert.

Die übereinstimmende mineralogische Zusammensetzung der Granite und Gneisse, die grosse Ähnlichkeit ihrer Structur, sowie auch der zwischen ihnen bemerkbare stufenweise Übergang macht es offenbar, dass zwischen den Graniten und Gneissen ein enger genetischer Zusammenhang besteht: *der Gesamtcharakter bleibt in sämtlichen Gesteinen unverändert*. Im hervorbringenden, ursprünglichen Bedingungskomplex sind nur nach einer Richtung hin Veränderungen, Schwankungen eingetreten, welche nur räumlich, aber nie der Zeit nach abgegrenzt sind. *Diese Veränderung nach einer Richtung hin kommt nur in den verschiedenen Graden der Pressung zum Ausdruck*. Deshalb sind verhältnismässig schwach abgegrenzte Gesteintypen

*) Die detaillierte petrographischen Untersuchungsergebnisse dieser gebe ich in einer umfangreicheren Studie bekannt.

entstanden, welche vom Standpunkte der Bildungsgeschichte mit einander in einem verwandtschaftlichen Zusammenhange stehen.

Wenn wir beim Zustandekommen der Gneisse entweder auf primäre oder auf sekundäre Ursachen denken, in betreff der Mineralassociation variieren sie nur *räumlich* — binnen engen Grenzen — in einer gewissen Abhängigkeit von einander. So, dass die laterale Dispersion dieser Gesteinvarietäten als aussergewöhnlich gering betrachtet werden kann und dass die verschiedenen Varietäten unbedingt ein geschlossenes Ganze bilden. Sie bilden einen langsamen Übergang in einander — begleitet von geringen quantitativen Schwankungen der mineralischen Hauptbestandteile — *sie gehören also unbedingt zu einer und demselben intrusiven und zu einem späteren dynamometamorphischen Cirkus.*

Die Struktur der Granite und Gneisse.

Was den strukturellen Zusammenhang der Granite der Tatra und der aus diesen entstandenen Orthogneisse betrifft: ist *der zwischen ihnen bestehende Unterschied nur gradual. Das immer stärker ausgeprägte Parallelgefüge der Granite führt stufenweise zu den typischen Gneissen.*

Das Parallelgefüge äussert sich darin, dass bestimmte femische Gemengteile — im gegenwärtigen Falle Glimmer (hauptsächlich Biotit) sich in parallelen Reihen lagerten und sich mit den salischen Mineralien (Feldspat, Quarz) in ritmischem Nacheinander wiederholen. *Die geringere oder grössere Entfernung der parallelen Reihen von einander drückt den Grad der Pressung, die Richtungsveränderungen der Reihen, ihre Biegungen, Faltungen aber die momentanen Richtungsveränderungen der einwirkenden Kräfte aus.*

Die sich auf das Entstehen der parallelen oder linearen Struktur beziehenden bisherigen Erklärungen kann man in zwei Gruppen zusammenfassen, je nachdem man den Ursprung der Schieferung für primär oder sekundär annimmt.

Ein primäres Parallelgefüge kann durch die eigentümlich Ausbildung und Lagerung der Gemengteile entstehen, ohne dass man an ihnen besondere Spuren einer mechanischen Deformation (Kataklase, Mörtelstruktur, Druckverwilligung,

Biegung; undulöse Auslöschung) erkennen könnte. *Weinschenk* war der Erste, der den riesigen hydrostatischen Druck des Magmas bei diesen Vorgängen betonte und diese Mineralausscheidung und Ordnung unter einem einseitigen Drucke *Piezokristallisation* nannte. In diese Gruppe gehört ein beträchtlicher Teil der Granite, Quarz-Diorite etc. der Hohen Tatra, die wir später unten eingehender besprechen werden.

Als Entstehungsursache einer sekundären Parallelstruktur können wir den ungleichen Seitendruck, den *Stress* betrachten. Bei jenen Graniten und Gneissen der Hohen Tatra, die man in diese Gruppe, also zwischen die stark metamorphisierten Gesteine reihen kann, ist *die Struktur typisch Kataklastisch: die Biotitkristalle sind zersprungen, zusammengebogen; die Feldspate, Quarzkörner sind gröstenteils zertrümmert*. In ihrem Gefolge erscheint eine interessante Gruppe der den dynamometamorphen Hergang charakterisierenden Mineralien: sekundärer Muskovit, Sericit, Epidot (Zoisit β , Klinozoisit), Chlorit (Pennin, Klinochlor), Granat etc.

Bei diesen Vorgängen geht auch eine molekulare Umlagerung von statten, welche eine Anpassung des chemischen Gleichgewichtes an die vom Druck hervorgerufene höhere Temperatur und an die veränderten neuen physikalischen Umstände bedeutet. Die Mineralienbestandteile „in situ“ passen sich den veränderten Verhältnissen durch Umkristallisierung, durch das Bilden neuer Gemenge an.

Die Korngrösse der auf dynamometamorphischem Wege geschieferten Gesteine ist ebenfalls verschieden: *die der Druckfläche näher liegenden werden immer kleiner, bis zuletzt die mechanische Zertrümmerung und die lamellare Umordnung das Gestein gänzlich zu Gneiss umwandeln*.

Eine, beide überbrückende — sekundäre, doch deformationslose — Entstehungsweise liefert nach neueren Untersuchungen folgender Hergang:

Die Umformung einer richtungsloskörnigen Struktur zu einem Parallelgefüge kann derart eintreten, dass die in den ultramikroskopischen Poren der Gesteine zirkulierende Feuchtigkeit (die sogenannte Gebirgsfeuchtigkeit) bei hoher Temperatur einen Stoff auflöst, welchen sie auf den Druck senkrecht abgelagert. Ein Wachsen unter dem Drucke kann also nach dieser

neueren Theorie nur dann eintreten, wenn an vom Drucke entfernteren Stellen die Lösung desselben Gemengtheils oder derselben Gemengtheile vorhanden ist, welche gegen die dem Drucke ausgesetzten Flächen strömt. Das Prinzip *Riecke's*, laut welchem sich ein deformierter, in seinem molekularen Zusammenhang gestörter Kristall auflöst, während ein nicht deformierter gleichzeitig in derselben Lösung wächst, kann als physikalische Erklärung des Vorgangs betrachtet werden. Wir dürfen aber die Tatsache nicht ausser acht lassen, dass die kreisenden Lösungen weder eine grosse Geschwindigkeit, noch eine hohe Konzentration besitzen, weshalb das Wachstum, der Wiederaufbau der Kristalle verhältnismässig sehr viel Zeit im Anspruch nimmt.

Die Forschungen sind jedoch seither mit Riesenschritten vorgeschritten. Unter anderen ist es ein Verdienst *Riecke's* und *Becke's*, dass sie die sich bei diesen Prozessen abspielenden Gesetzmässigkeiten erkannten und die experimentellen Erfolge mit den Erfahrungstatsachen in Einklang gebracht haben. Leider konnten die experimentellen Untersuchungen — infolge den Schwierigkeiten der lösenden physikalischen Probleme — mit den theoretischen Annahmen nicht Schritt halten. Eine Sache scheint aber wahrscheinlich: weder die mit den Veränderungen des Druckes, noch die mit dem Lösungsumsatz zusammenhängenden Annahmen erklären die strukturellen Verhältnisse, resp. deren Entstehung gründlich. Die infolge eines ungleichen Druckes geschehende eventuelle neue Kristallisation, oder der von den Lösungsgebieten dorthin gelangte Stoffersatz *gibt keine jeden Zweifel ausschliessende Erklärung der sich in regelmässigen Reihen wiederholenden, rythmisch abwechselnden Lagen der unverletzten Mineralienbestandteile.*

Die parallele Struktur der Granite und Gneisse und die Entstehung dieser eigentümlichen Struktur bildet seit langer Zeit den Untersuchungsgegenstand der Petrographen. Früher brachte man eine jede strukturelle Veränderung solcher Natur unbedingt mit späteren Bewegungen der Erdrinde in Zusammenhang. Bei der Untersuchung der Gesteine der Tátra traten aber viele Anzeichen zu Tage, die darauf deuten, dass die Entstehung primärer Parallelgefüge auch mit magmatischen Erscheinungen erklärt werden kann.

Die Entstehungsmöglichkeit der primären Parallelgefüge.

Jene Beobachtungen, dass nicht jeden geschieferten Granit und Gneiss Deformations- und kataklistische Erscheinungen begleiten, können uns keinesfalls zur Annahme zwingen, dass damit das Problem der linearen Struktur abgeschlossen sei. Die Annahme der kristallisierenden (lösenden und ablagernden) Tätigkeit der in den Gesteinen zirkulierenden Feuchtigkeit hat die Frage auch nur teilweise gelöst, weil der Prozess selbst bei der Annahme, dass eine genügende Menge Lösung von entsprechender Zusammensetzung vorhanden sei, ein sehr langwieriger ist. Die durchschnittliche Frische der Gesteine der Tatra, sowie die geringe molekulare Umwandlung der Bestandteile beweist auch, dass sogar neben den später auf dynamometamorphischem Wege eingetretenen Strukturumwandlungen die Schieferstruktur mit primären Entstehungsursachen in Verbindung steht.

Die mit der Untersuchung der mineralischen Bestandteile und Struktur der Granite und Gneisse der Tatra zusammenhängenden Beobachtungen und theoretischen Annahmen führten zu der Feststellung, dass *das Entstehen der in riesigen Massen auftretenden, bis in grosse Tiefen reichenden Parallelstruktur original ist und auf mit der Gesteinbildung und Magmaauskühlung zusammenhängende Ursachen zurückgeführt werden kann.*

Ein sekundäres Entstehen des Parallelgefüges ist in tektonisch in Anspruch genommenen Stellen möglich, und an den intrusiven Massen der Hohen Tatra wahrscheinlich eine allgemeine Erscheinung; aber die bei den Untersuchungen bruchlosen und an vielen Stellen kaum eine chemische Umgestaltung zeigenden Gesteinen der Tatra gemachten Erfahrungen führten zu der Annahme, dass das Parallelgefüge während der Magmakristallisierung auch auf folgende Weise entstehen kann: Stellen wir uns vor, dass an einer Stelle der Erdoberfläche die Intrusion einer mächtigen Magmamasse erfolgte, welche in der Gestalt von Lakkolit zwischen die festen Schichten der Erdrinde intrudierte. Das Auskühlen der noch keine Mineralausscheidungen enthaltenden Magmamasse, die eine sehr hohe Temperatur besass und glutflüssig war, begann an den Peripherien, und zwar unter einem riesigen und einem von Stelle zu Stelle wechselnden statischen und Seitendruck. Abgesehen von den

mit den kalten Nebengesteinen in direkter Berührung stehenden Magmateilen, deren plötzliche Auskühlung eventuell glasartige Gesteinsvarietäten hervorrief: die äusseren, schnell erstarrenden Gesteinteile bilden einen ausgezeichneten Wärmeisolator der inneren, eine hohe Temperatur besitzenden Magmateile.

Das Auskühlen beginnt an den äusseren Rändern infolge des stufenweisen Wärmeverlustes und die Temperatur des glutflüssigen Magmas sinkt unter 2000° C. Während langsamen, von aussen ziemlich geschützten Wärmeverlust erreicht es die zur ersten Mineralienausscheidung geeignete Temperatur. Im Falle von Granit die der Erze (cca. 1700°) und die des Biotits (cca. 1600°). Die Mineralienausscheidung konnte aber nur in einer engeren äusseren Hülle des flüssigen Magmas beginnen und die ersten Produkte der Erstarrung tendieren gegen die Auskühlungsfläche. Dies ist eine schon früher festgestellte chemisch-physikalische Gesetzmässigkeit. An inneren Magmateilen hat die Mineralienausscheidung infolge der hohen Temperatur noch nicht begonnen.

Die ausgeschiedenen Biotitplatten lagern sich auf den äusseren Oberflächen in einer auf die beiden entgegengesetzten Druckrichtungen (innere statische, äussere tektonische) senkrechten Fläche, parallel zu der Auskühlungsfläche. Unter 1500° beginnt die Ausscheidung der Feldspate aus der in Rede stehenden Magmahülle, welcher die xenomorphe Erstarrung der freien Kieselsäure folgt. Diese beiden letzteren salischen Mineralien lagern sich mehr — minder schichtenförmig unter die bereits früher ausgeschiedenen, und mit den Flächen ihrer Lamellen zur Richtungen des Druckes senkrecht geordneten Biotitreihen.

Die Mineraliensukzession verfolgt also die normale Reihenfolge: zuerst erscheinen in Magma, als in der Schmelzlösung sich am schwersten auflösende Bestandteile: die Erze, Phosphate etc., nach ihnen in der Reihenfolge die femischen Mineralien, diesem folgt das Erscheinen einer Gruppe der salischer Bestandteile: der Feldspate. Zuletzt scheidet sich die Kieselsäure als Quarz aus, welche zwar einen sehr hohen Schmelzpunkt besitzt, im Magma aber gewöhnlich die Rolle der als letztes Glied erstarrenden Mutterlauge bildet.

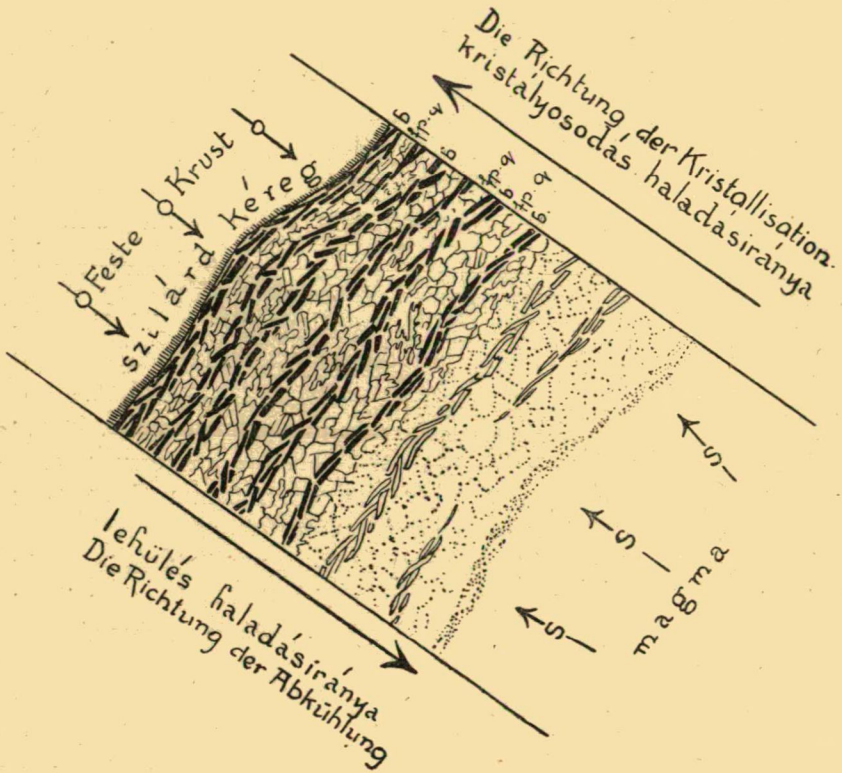
Dieser Vorgang — die Absonderung der femischen und



salischen Mineralien von einander, sowie auch die äussere, periphere Erstarrung und Lagerung der Biotite ging nur in einer gewissen Tiefe, resp. einen gewissen Durchschnitt besitzenden Magmahülle von statten. In den inneren Teilen war unterdessen die Temperatur noch so hoch, dass die Mineralienauscheidung noch nicht beginnen konnte. (Siehe Fig. 1.)

1. Die schematische Darstellung des fractionierten Kristallisationsvorgang.

1. A frakcionált kristályosodás folyamatának sematikus ábrázolása.



b = biotit; fp q = földpát, kvarc.
 Biotit; Feldspat, Quarz.
 o = oldalnyomás; s = statikus nyomás.
 Seitendruck; Statischer Druck.

Bei einer weiteren, nach innen schreitenden Abkühlung wiederholt sich dieser Vorgang in einer neuen Magmadicke. So,

dass wir in einem gewissen, in geologischem Sinne lang andauernden Zeitraume mehreren rythmisch abwechselnden, wiederholt in parallele Reihen geordneten Mineralienausscheidungen gegenüberstehen.

Der Vorgang wiederholt sich — vom Tempo der Magmaabkühlung abhängig — in schnellerem-langsamem Tempo und *an die zuerst erstarrten Gesteinshüllen schliessen sich in rythmischer Abwechslung neuere, zuerst plastische, breiartige, dann feste Gesteinschichten an.*

Es beginnt also eine fractionierte Kristallisierung, wo der Anscheidung und der eigentümlichen, mit ihrer Verlängerungsrichtung senkrecht, auf ihre Wärmeausstrahlende Fläche aber parallel lagernden, sich schwerer lösenden Mineralien das Erscheinen der sich leichter lösenden, relativ saureren Bestandteile folgt.

Der Vorgang erinnert an den Kristallisationsvorgang der isomorphen Gemengsserie der Feldspate, wo sich auf den an An-reicheren, also von einem einen höheren Schmelzpunkt besitzenden Komponenten einen Überschuss besitzenden Gemengsteil an Ab-Molekulan reichere, sauerere Hüllen in zonarer Ordnung ablagern; manchmal mit wiederholter Rekkurenz. Die fest werdende Mineralienkomplexe vergieren in beiden Fällen gegen die bereits festen Phasen, also gegen die abgekühlten Teile des Magmas. Natürlich müssen wir voraussetzen, dass bei der fractionierten Kristallisierung des Granitmagmas der noch glutfüssige oder bereits plastische Zustand des auskühlenden Magmas die Wanderung, die Diffusion der ausgeschiedeten Bestandteile gegen die verschiedenen Auskühlungsflächen erlaubt. Wie wir dies bei interessanten Fällen der magmatischen Differentiation erfahren können.

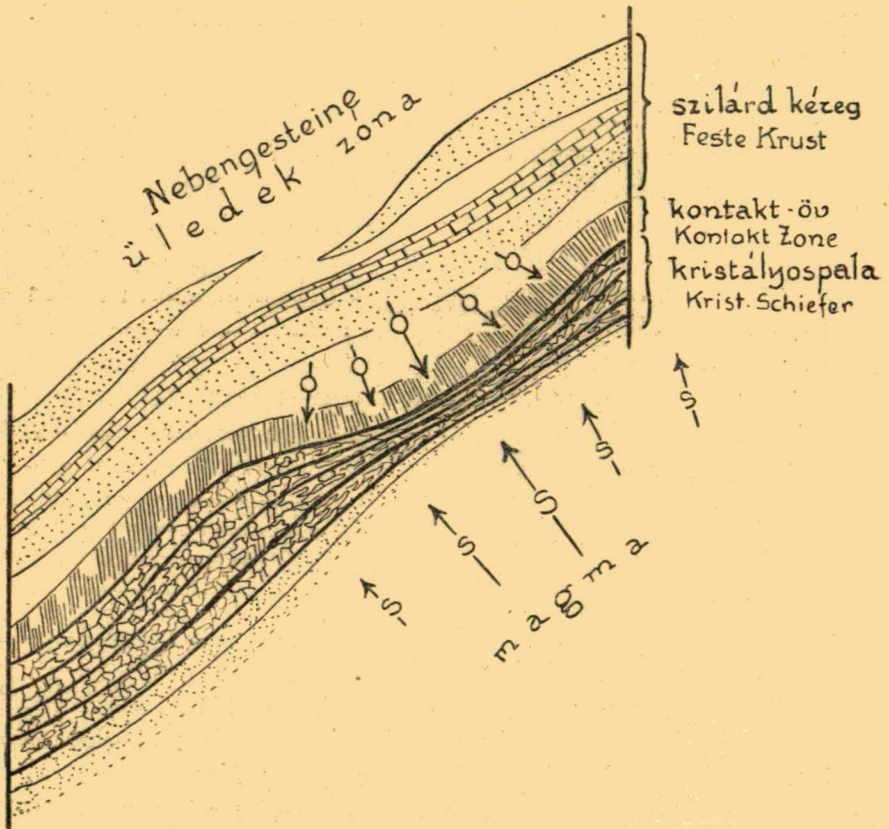
Die rythmische Wiederholung des fraktionierten Kristallisationsvorgangs dauert nur so weit, wo das Sinken der Temperatur, also das Auskühlen des Gesteinsmagmas in geologischem Sinne ein schnelleres Tempo hat, also bis zu einer gewissen peripherischen Dicke der Magmamasse. Die gleichmässige, richtungslos körnige Materie der inneren Massen der Granitmassive bilden einen Beweis dafür, dass im Inneren derselben kaum mehr eine Differenzialbewegung, eine Bestandteilsseparation vorkommt. Das Nachlassen der Druckspannung, die

Herstellung der geologischen Gleichgewichtslage, besonders aber infolge des schnellen Verlustes der Agent Mineralisateure, entstehen auf einmal viele Kristallisationszentrome und wegen der plötzlich eintretenden Viskosität des Magmas und seiner stufenweisen Erstarrung, bietet sich zu diffusiven Erscheinungen, zum Bilden von Schieferungen keine Gelegenheit mehr.

Als eine von den Untersuchungen der Granite und Gneisse der Hohen Tatra abgeleiteten Erfahrung bin ich geneigt jene Anführung für wahrscheinlich zu halten, dass nach den Be-

2. Die schematische Darstellung des Pressungsgrades der magmatischen Kristallisationsschieferung.

2. A kristályospalák magmatikus állapotban lezajlott préseltség fokának sematikus érzékeltetése.



o = oldalnyomás ; s = sztatikus nyomás.
Seitendruck ; Statischer Druck.

obachtungen die vorherrschend in der Randzone des Granitmassivums eine grosse Rolle spielende, primäre Gneissbildung ohne Kataklyse ganz bestimmt auf eine fractionierte Kristallisation, die Ausbildung eines Parallelgefüges aber auf orientierte Druckkräfte zurückzuführen ist, welche auf das Magma der Tiefe, resp. auf Hüllen von gewisser Dicke der Magmamasse in der letzten Phase der Erstarrung direkt einwirkten, wo zu Differentialbewegungen noch Gelegenheit geboten war. In der parallelen Lagerung der Gemengteile müssen wir auch der zentrifugalen Wanderungstendenz und Orientierungsbereitwilligkeit der gasförmigen Bestandteile eine wichtige Rolle zuschreiben.

Die Entfernung der identischen Mineralienreihen der Parallelgefüge von einander steht in engem Zusammenhang mit dem Tempo der Temperaturverminderung, welche die erstarrende Stoffquantität mit der Kristallisationsschnelligkeit im Einklange determiniert. Denn je schneller die Auskühlung vor sich geht, umso breiter ist die Reihenentfernung, weil eine um vieles grössere Magmahülle in derselben Zeit dem Vorgange der Kristallisation anheimfällt. Die Reihenentfernung hängt auch von der Grösse des Druckes im liquiden Zustande ab, denn je grösser der gerichtete Druck auf das erstarrende, aber noch plastische Magma war, desto kürzer ist die Distanz zwischen den einzelnen Reihen und eine um so gepressteren Charakter hat das Gestein. (Siehe Fig. 2.)

Die endgültige Ausbildung des Parallelgefüges ist also das Resultat einestheils der fraktionierten Kristallisation, andererseits der Einwirkungen der Spannungen während der Erstarrung (Seiten-, statischer-Schwerendruck; ziehende, scherende, zerknitternde Spannung).

Der grosse Teil der Gesetzmässigkeiten in den keine Deformation erlittenen Gesteinen (bezw. Substanz und Struktur) weiter die bruchlose Lagerung des Biotits und des Amphibols parallel mit der Richtung des Druckes, ferner die orientierte Anordnung der Quarzkristalle (ihre Hauptachse ist gewöhnlich senkrecht auf den Druck) sind als primäre Erscheinungen (primäres Parallelgefüge) leichter zu erklären, als auf Grund der durch dynamometamorphische Vorgänge später entstandene Schieferung.