

Eingesendete Mitteilungen.

Bruno Sander. Bemerkungen über tektonische Gesteinsfazies und Tektonik des Grundgebirges.

I. Notizen über Exkursionen im Grundgebirge Mährens und des niederösterreichischen Waldviertels.

1. Die mehrfache Bezugnahme neuerer Studien im genannten Gebiet auf alpine Verhältnisse und die Möglichkeit, weiteren derartigen Beziehungen nachzugehen, ließen einige Studienturen in Mähren und im Waldviertel im Interesse der Arbeiten des Verfassers im Tiroler Kristallin wünschen. Diese Bereisungen (10 Tage) begannen auf den freundlichen Rat Herrn Professor F. E. Suess, welcher viele der in Betracht kommenden Gebiete als Sektionsgeologe der Reichsanstalt aufgenommen hat, mit Touren in den moravischen Gebieten der Gegend von Tischnowitz. Die durchwegs herrschende tektonische Fazies dieser relativ wenig umkristallisierten Gesteine läßt an den Kalken vielfach eine Gruppe kalzitisch verheilte Rupturen von einer Gruppe stetiger Faltung, Streckung und tektonischer Bänderung trennen, welche letztere Gruppe von Differentialbewegungen die tektonische Fazies wesentlich ausmacht. Hier wie in vielen Fällen ist hervorzuheben, daß sich die erstgenannten rupturrellen Deformationen (z. B. Sprünge, welche Faltung und Bänderung durchschneiden), nicht etwa als eine „Inkompetenz“ derselben Beanspruchung auffassen lassen, welche zur zweiten Gruppe von Deformationen führte, möglicherweise auch unter anderen Bedingungen für die Mobilisation des Kleingefüges.

Heute gleichen diese Gesteine Murauer Phylliten, basalem Grazer Paläozoikum und Tuxer Paläozoikum, vielleicht nicht nur infolge gleicher tektonischer Fazies, sondern auch infolge einer gewissen stratigraphischen Äquivalenz.

Weiter südlich im Tal der Thaya lehrten die Exkursionen eine ganz an Verhältnisse in der Tauernhülle erinnernde Beigesellung wenig metamorpher tektonischer Schieferfazies der moravischen Gruppe Suess zu hochmetamorphen vom Typus der unteren Tauernhülle kennen.

Ferner im Tale der Iglau an Schiefen in der Brünner Masse eine ähnliche Trennbarkeit der Granitisationsphase der Schiefer von einer folgenden Phase mit scharfen Gängen wie am Südrand des Brixner Granits.

In manchen Fällen (Fugnitz) erwiesen Staucherscheinungen, daß bei der Bildung der moravischen tektonischen Fazies, wie das theoretisch wahrscheinlich ist, nur unvollkommene Erweichung herrschte. Ähnlich zeigten die Exkursionen in den moldanubischen Gesteinen des Kamptales, Kremstales und Donautales, trotzdem auch Migmatite vom Typus der südfinnischen zur Ausbildung gelangten (Molden), daß die pygmatitähnlichen Faltungen dieser Gebiete doch in deutlich höherem Grade einer Streckung und damit gerichtetem Druck korreliert sind als die südfinnischen.

Die tektonische Fazies der moldanubischen Gesteine (des Waldviertels z. B.) heißt vielfach nach einer Summation zu größeren tek-

tonischen Bewegungen suchen; denn man erhält sehr vielfach den Eindruck, daß die Teilbewegungen im Gefüge ein sehr großes Ausmaß erreichten.

Weiteres soll nun an die vorhandene Literatur angeschlossen werden.

In früheren Publikationen und in einem Kolleg über die geologische Bedeutung von Gesteinsgefügen (Universität Innsbruck, Winter 1912/13) habe ich die Gesteine in durchbewegte und in undurchbewegte eingeteilt. Erstere wurden, sofern die Teilbewegung im Gefüge zu größeren Bewegungen des Ganzen summierbar ist, tektonische Fazies genannt. Das ist bei der Mehrzahl der schiefrigen Gesteine und namentlich auch bei der Mehrzahl der kristallinen Schiefer der Fall. Beim Studium dieser Gesteine ist Kristallisation und Teilbewegung im Gefüge begrifflich getrennt zu halten und das Verhältnis beider zueinander von Fall zu Fall variabel. Hieraus ergibt sich die Möglichkeit, die tektonischen und Kristallisationsphasen in ihrer Beziehung zu erkennen. Kristallisation (bzw. Metamorphose) ist auch deshalb mit der Teilbewegung im Gefüge tektonischer Fazies nicht begrifflich zu identifizieren, wenngleich sie damit zusammenfallen und ein Modus dieser Teilbewegung sein kann, weil es eben neben kinetischer Metamorphose auch eine statische gibt. Schöne Beispiele für letztere bieten manche Kontaktmetamorphosen, ferner das undurchbewegte finnische Kristallin mit Sedimentärstrukturen und die ungeschieferten, aber ebenfalls metamorphen Partien mancher Intrusivkörper, z. B. des gabbroiden Weißhornamphibolits im Sarntal in Tirol.

Damit, daß die meisten kristallinen Schiefer als tektonische Fazies aufgefaßt werden, wurde bereits die Frage nach der zur Schieferung während der Kristallisationsphase zugehörigen Tektonik verbunden. Es wurde darauf hingewiesen, wie vielfach noch jeder Versuch fehlt, diese präkristallinen Teilbewegungen im Gefüge zu summieren und etwas über diese älteren und häufig von einer jüngeren allein beachteten Bruchtektonik trennbaren Bewegungen zu sagen.

Diese Frage nach der korrelaten ersten Tektonik wird sich in den verschiedensten Gebieten wiederholen, ja voraussichtlich fast in allen Arealen kristalliner Schiefer, sobald kurz gesagt diese Schiefer als tektonische Fazies in dem häufig erörterten Sinne erkannt werden, wie das in neueren fennoskandischen und amerikanischen Arbeiten ist. Und man wird in vielen Gebieten schon lediglich aus der Tatsache, daß die Differentialbewegungen eines ausgedehnten und mächtigen Schichtgliedes eine große Bewegung als Summe geben, auf die Größe dieser Bewegung schließen müssen.

In diesem Sinne und im Anschlusse an Exkursionen des Verfassers wird hier Fühlung mit eivigen neueren Publikationen versucht. Zunächst hinsichtlich der von F. E. Suess bearbeiteten moldanubischen und moravischen Gebiete Mährens. Sodann seien bezüglich des niederösterreichischen Waldviertels hier noch einige Überlegungen der Weiterbildung oder Einschränkung überlassen.

Die moldanubischen Schiefer scheinen also dem Verfasser nach Beobachtungen an Gesteinen des Waldviertels in bedeutenderem Grad

und Ausmaß als die bisherige Literatur erkennen läßt, tektonische Fazies zu sein.

Die Teilbewegung in diesen Bewegungshorizonte bildenden Schiefen zu einer korrelaten Tektonik, zu einem zusammengehörigen Bewegungsbild zu summieren, ist die nächste, wenigstens zu versuchende Aufgabe. Wo sind die größeren Bewegungen, welchen die von der Kristallisation überdauernden Teilbewegungen im Gefüge moldanubischer Schiefer entsprechen? Danach geht die Frage, sobald man diese Schiefer als unter Umformung entstandene tektonische Fazies anerkennt und wissen will, ob jene erste Tektonik des Grundgebirges sich überhaupt noch aufstellen läßt; denn daran, daß sich die Teilbewegungen im Gefüge summieren, läßt sich in vielen Fällen nicht zweifeln.

Wenn wir nun Umschau halten, was etwa über das hier gesuchte Bewegungsbild des moldanubischen Grundgebirges bekannt sei, so finden wir wenig Ausführliches, vielleicht weil die Schieferung nicht als tektonische Fazies in unserem Sinne betrachtet wurde, vielleicht auch, weil die Fragestellung von einer tektonischen Fazies auf die korrelate Tektonik sowie nach den Beziehungen zwischen den einzelnen Kristallisations- und Bewegungsphasen eine neuere ist, endlich weil aus der Tektonik der betreffenden Gebiete überhaupt nur gewisse Dislokationen, wie uns scheint, ein wahrscheinlich heterogener Teil des Bewegungsbildes hervorgehoben wurden. Als ein besonderes Problem wären hier z. B. die sigmoiden Strukturlinien auf der Karte im moldanubischen sowie in den von F. E. Suess mit demselben verglichenen südschwedischen Grundgebirge zu behandeln. Zur Lösung der Frage, ob der sigmoide Verlauf des Schieferstreichens auf der Karte durch Batholithen oder unter Beteiligung von tangentialen Schub in steilstehendem Kristallin entstanden abzuleiten sei, fehlt es derzeit noch an Karten mit reichlich verzeichneten Fallrichtungen.

Eine Grundlage betreffend die allgemeinen tektonischen Verhältnisse im moldanubischen Gebiete gibt F. E. Suess (Bau und Bild Österreichs, Wien, 1903, pag. 59 ff). Die Ähnlichkeit der bizarren Windungen des Gesteinsstreichens mit den Deformationen im kleinen wird vermerkt „und wo schwebende Lagerung auftritt, dürfte sie in der Regel keine ursprüngliche sein, wie die Fältelungen und Überbiegungen in kleinen Profilen solcher Gebiete beweisen“.

Als Beispiel für eine Auffassung der Verhältnisse im moldanubischen Kristallin und für weitere Fragestellungen führen wir F. E. Suess' Charakteristik der moldanubischen „Scholle“ an (88. Bd. der Denkschr. d. kais. Ak. Wien, 1912, pag. 450):

„Das Streichen aller Gesteine folgt im großen mannigfach geschwungenen Kurven, als deren Zentren die größeren granitischen Batholithen gelten können.“

Hier kann man weiter fragen wie weit an dieser Anordnung eine vorgranitische (vor Abschluß der Granitisation und dazugehörigen Kristallisation erfolgte) Tektonik und wie weit nachgranitische Tektonik (z. B. Stauwirkung erkalteter Batholithe und Differentialbewegung mit geringer und regressiver Kristallisation) beteiligt sei.

„Ein großer Formationskomplex bestehend aus . . . wurde in große Tiefen versenkt und innig durchdrungen, zum Teil vielleicht auch aufgezehrt von großen granitischen Batholithen.“

Eine große tektonische Bewegung in Form einer Versenkung wird also angenommen und über die hierzu korrele Differentialbewegung folgendes gesagt:

„Hierbei wurden die Gesteinskörper zu gestreckten Linsen umgeformt und ihnen eine neue Parallelstruktur zugleich mit dem Mineralbestande der untersten Temperaturzonen aufgeprägt.“

Wenn man hier davon absieht, ob die neue Parallelstruktur nur eine Weiterbildung einer älteren (ohne diese zu queren) ist, was Linsenbau hier und immer wahrscheinlich macht, so bleibt die Frage, wie diese Differentialbewegungen (Zerrung oder Schiebung in s^1) dem großen Vorgang einer Senkung entsprechen können. Da einer Zerrung durch einseitigen Druck eine Ausplättung der Gesteinskörper entsprechen würde, während bei Versenkung Zusammendrängung einigermaßen wahrscheinlicher ist, so wird sich voraussichtlich aus weiteren feldgeologischen und mikroskopischen Studien ergeben, daß die Teilbewegung während der Versenkung und Granitisation der moldanubischen Schiefer im wesentlichen Umfaltung mit Ausgestaltung vorhandener Parallelstruktur ist.

Jedenfalls aber hat man gute Mittel diese Hypothese zu prüfen und falls sich wider Erwarten keine Umfaltung als zur Versenkung korrele Differentialbewegung aufweisen ließe, an andere tektonische Bewegungen zu denken, wie wir solche z. B. in den Alpen einer Schieferung mit Linsenbau vielfach zugeordnet finden.

Schließlich hebt F. E. Suess an den moldanubischen Gesteinen hervor unbestimmte Streichungsrichtungen, bizarre Windungen der Gesteinszüge, regellose Vermengung und regellosen Wechsel in raschem Auskeilen und linsenförmigen Abschnürungen. Alles dies und die anscheinend hierzu korrele Schieferung (sofern sie tektonische Fazies ist) wäre als Teilbewegung dem Vorgange der Versenkung zuzuordnen.

Dagegen hat F. E. Suess die Ausbildung der „tiefendiaphtoritischen“ Glimmerschiefer in Zusammenhang mit einer Überschiebung der moldanubischen „Scholle“ über die moravischen Gesteine gebracht.

Eine systematische Bearbeitung des Verhältnisses zwischen Kristallisations- und Deformationsphasen im moldanubischen Gebiet ist mir nicht bekannt; doch finden sich, wie man sieht, Grundlagen und Anfänge hierzu in F. E. Suess' Arbeiten und ist durch dieselben eine Analyse tektonischer Fazies im moldanubischen Kristallin versucht.

F. E. Suess unterscheidet am Thayabatholithen zweierlei Flaserung, von deren erster er geneigt ist, anzunehmen, daß sie bei Imprägnation der Phyllite übernommen wurde. Es läge hier also ein Beispiel für Schieferung mit Abbildung eines älteren Gefüges vor, ein Beispiel für Abbildungskristallisation im Sinne früherer Studien des Verfassers und, wie ich meine, begrifflich zu unterscheiden von Kristallisationsschieferung. Die zweite Art der Flaserung ist eine

¹⁾ s ist eine wie immer entstandene Schar paralleler Gefügeflächen z. B. Schieferung.

kataklastische, von welcher nicht gesagt wird, ob es sich durchwegs um eine Ausarbeitung der ersteren handelt, was dort, wo beide vorkommen wahrscheinlich ist. Diese kataklastische Schieferung ist nach F. E. Suess dem Gesteine „nach der Verfestigung durch gebirgsbildende Prozesse“ aufgeprägt. Wir hätten also anzumerken, daß die tektonische Fazies des Batholithen kataklastische Schieferung ist, die tektonische Fazies seiner Hülle aber eine kristalloblastische. Es könnte vielleicht künftig gelingen, die Kataklastik des Batholithen auf andere gebirgsbildende Prozesse auf eine andere tektonische Phase zu beziehen als die kristalloblastische Schieferung der Hülle. Oder man könnte annehmen, daß innerhalb derselben tektonischen Umformung der Batholith als anderes Material auch anderes (nämlich kataklastisch) nachgegeben habe als die Hülle. Hierfür gäbe es Analoga in den Hohen Tauern; nur macht es bei diesem Vergleich bedenklich, daß Suess im mährischen Batholithen hier¹⁾ keine Kristallisationsschieferung anmerkt und auch wo die beiden oben erwähnten Arten der Batholithfaserung zugleich vorkommen, die Möglichkeit blastomylonitischen Gefüges nicht eigens anzieht (F. E. Suess l. c., pag. 558).

In diesem und in ähnlichen Fällen ist es nicht belanglos, blastomylonitisches Gefüge, bei welchem ein und dieselbe Deformation mit zum Teil rupturreller, zum Teil kristalloblastischer Teilbewegung (als Kristallisationsbewegung) erfolgte, zu unterscheiden von der Rekristallisation deren Name auf eine vielleicht auch erst nach der Deformation erfolgte ausheilende Kristallisation hinweist. Solche „Rekristallisation“ scheint mir in neueren amerikanischen Arbeiten, so z. B. in van Hises Monographie des Lake Superior (G. S. Monogr. U. S.) die Hauptrolle zu spielen und könnte sich in vielen Fällen mit der „Abbildungskristallisation“ decken, welche bereits fertige Formen, z. B. Deformationen lediglich kristallin werden läßt.

In den Tauern ist das Verhältnis zwischen Deformation und Kristallisation dadurch bestimmt, daß in der unteren Schieferhülle normalerweise die Kristallisation länger dauert, wobei auch kristalline Anpassung an die Deformation erfolgen kann (hierher die Typen mit Beckescher Kristallisationsschieferung). Und einiges spricht eher dafür, daß die tektonische Hauptphase, die Tauernkristallisation und die Granitisation in eine große Phase gehören, ohne einen Hiatus wie das Erkalten der Granite. Wenngleich in den Tauern, was diese letztere Frage anlangt, noch nicht entschieden ist, ob die Kristalloblastese der Ortogneise eine Palingenese nach Erkalten des Granits ist oder (Weinschenk) eine Modifikation im Anschluß an das Erstarren, so besitzen wir doch schon ein ziemlich harmonisches Bild von der Entstehung der Tauern. Vielleicht läßt sich für die mährischen Batholithen noch einiges ausbauen durch einen Vergleich mit den Zentralalpen und durch die für dieselben ausgebildete Analyse der tektonischen und Kristallisationsphasen.

Das Gebiet der moravischen Fenster Suess' zeigt in den verschiedensten wenig und stark kristallinen tektonischen Fazies eine

¹⁾ Pag. 558, 561 aber wird von manchen Gesteinen der Randzone gesagt die Parallelstruktur ist nur durch Kristallisationsschieferung hervorgebracht.

frappierende Ähnlichkeit mit zentralalpinen Gebieten (Tauern, Altkristallin, Grazer Paläozoikum). Andere Anklänge treten hervor, wenn man sich angesichts der Kvetniča des Grazer Paläozoikums erinnert, weiterhin des Paläozoikums in der unteren Schieferhülle, in welcher die Stellung des untersten Marmors freilich noch nicht bestimmt ist. Vielleicht liegen in den moravischen Fenstern, dem Grazer (-Murauer) Paläozoikum und den Tauern Gebiete vor mit Paläozoikum, mit lokaler Granitisation und Tauernkristallisation, lokal überwallt (oder ganz überschritten) von Altkristallin mit mineralogisch regressiver Teilbewegung und unter hierzu ebenfalls korrelater Kristallisationsbewegung an den granitisierten und kristallin mobilisierten Stellen des genannten Gebietes. Vielleicht also entsprechen die Gebiete der mährischen Batholithen sogar noch eingehender als von F. E. Suess bereits hervorgehoben ist, den Alpen, sowohl was ihre Genesis als ihren regionalgeologischen Zusammenhang mit den Alpen anlangt.

Von den Beziehungen zwischen Schieferungsphasen und tektonischen Phasen läßt sich aus Suess' Arbeit etwa folgendes entnehmen:

Von den moravischen Phylliten der Thayakuppel bei Pernegg wird gesagt (pag. 578), daß die Schieferung den Kalken erst aufgepreßt wurde, nachdem sie die Horizontalfaltung erlitten hatten, aus welcher Suess auf extremste horizontale Überfaltung schließt („bedeutungsvoll für die Auffassung des gesamten moravischen Aufbaues“). Es wird nicht ganz klar¹⁾, scheint aber doch, daß hier die Schieferung nicht als Teilbewegung zur Überschiebung aufgefaßt wird; vielleicht als eine in gewissem Sinne statische Metamorphose? Eine genaue ad hoc-Charakteristik der Schieferung würde übrigens hier wie in anderen Fällen vielleicht noch weiteres zu der jedesmal so wünschenswerten Entscheidung beitragen, ob tektonische Fazies vorliege und wozu sie korrelat sei.

Von der Schieferung der Tauerngneise und der moravischen Batholithen nimmt Suess (pag. 616) an, daß sich ursprüngliche piezokristalline Flaserung trennen lasse von einer zweiten Parallelstruktur serizitische Flaserung, Kataklyse, Kristalloblastese).

Die Trennbarkeit der beiden Parallelstrukturen als zweier verschiedener Schieferungsphasen ist wohl für die moravischen Batholithen wie für die Tauerngneise noch nicht ganz erwiesen.

Wenn die zweite durch mechanische Einwirkung nach der Verfestigung noch unter dem Druck nachströmenden Magmas entstand, (wie Suess pag. 616 für möglich hält), so dürfte sie von der Piezokristallisation nichts mehr unterscheiden. Statt aber zu sagen, daß sie durch den Druck auflastender Decken aufgeprägt sei, bezeichnet man in den Tauern diese Schieferung besser als zur Überschiebung korrelate Teilbewegung, was begrifflich nicht dasselbe ist. Ein gleiches ist vielleicht für die mährischen Batholithen wahrscheinlich.

Da übrigens in Suess' Auffassung die Batholithintrusion vor-tektonisch ist, so müßte nicht nur die piezokristalline Flaserung, son-

¹⁾ Pag 620 wird gesagt, daß diese Schieferung während oder nach der Faltung aufgeprägt wurde.

dern auch die zweite Flaserung vortektonisch sein, wenn sie durch nachdringendes Magma erzeugt wäre. Da doch wohl anzunehmen ist, daß die Flaserung zum Überschiebungsvorgang gehört, muß man jedenfalls die vortektonische Erstarrung des Granits aufgeben oder die Idee, daß die zweite Flaserung durch nachdringendes Magma erzeugt sei. Für die Tauern war übrigens diese Anschauung doch wohl schon von jenen aufgegeben, welche, wie der Verfasser, die blastomylonitische Schieferung für korrelat mit der Gneisfaltung entstanden hielten (cf. pag. 619).

Als gestaltender Hauptfaktor wird von Suess (pag. 612) für die moldanubischen Gesteine hohe Temperatur, für die moravischen Gesteine tangentielle Bewegung hervorgehoben. Manches scheint mit darauf hinzuweisen, daß für die Ausgestaltung der moldanubischen Gesteine Durchbewegung kaum eine geringere Rolle spielt. Neben diesen älteren tektonischen Fazies (korrelat zu tangentialem Zusammenschub in größerer Tiefe) hätte man an den moldanubischen Gesteinen jüngere „Tiefendiaphthoritis“ und Diaphthoritis (korrelat zur moldanubischen Überschiebung, wenn man Suess folgt) zu unterscheiden. Als gestaltender Hauptfaktor wäre für moldanubische und moravische Gesteine vielleicht kurz Durchbewegung unter verschiedenen Bedingungen, kinetische Metamorphose in verschiedenen Tiefenstufen zu nennen.

Nicht anders als in den Tauern scheint mir in der Hülle der moravischen Batholithen der Grad der Umkristallisation extrem verschieden.

Von der moldanubischen Scholle nimmt Suess an, daß sie en bloc ohne Teilbewegung überschoben wurde. In den Alpen würde dem Bau dieses moldanubischen bloc entsprechen, was sich etwa von präkristalliner Eigentektonik im Altkristallin noch feststellen läßt, wenn man die diaphthoritische Tektonik von jener trennen kann, zu welcher sich die vorkarbonische präkristalline Schieferung des Altkristallin summiert. Hier wie dort sind die Aufgaben noch zahlreicher als die Lösungen

Ungern fügt man in das genetische Bild die von F. E. Suess (pag. 618) vermerkte Tatsache, daß gerade die tiefste der moravischen Decken (Kwetzitz) keine Kristalloblastese zeigt. Hierfür kenne ich in den Tauern kein Analogon.

Vielmehr tritt gerade in jenen Gebieten, aus welchen ich (Tuxeralpen) tektonische Gemische aus Gesteinen mit graduell sehr verschieden starker kristalloblastischer Teilbewegung (bis zu Gesteinen mit ganz derselben tektonischen Fazies wie die Kwetzitzgesteine) beschrieb, die Regel sehr gut hervor, daß mit der Tiefe und Gneisnähe die Bedeutung der kristalloblastischen Teilbewegung wächst. Es bleibt abzuwarten, ob für die erwähnte Mißlichkeit nicht doch die Lösung in einer möglicherweise anderen tektonischen Stellung der Kwetzitzgesteine liegt.

In auffallendem Gegensatz zu der oben erwähnten zentripetalen Zunahme der Kristalloblastese in der Tauernhülle, zeigt sich also, wie gesagt, nach Suess (pag. 620), daß in den mährischen Batholithen zentripetal an Stelle der Kristallisationschieferung immer mehr die schief-

rige Kataklyse tritt; ein Zug, welcher eben besonders in der kataklastischen Schieferung der tiefsten (Kwetnitza-) Decke zum Ausdruck kommt.

Es entsteht hier die Frage, ob es sich bei diesem Übergang von Kristallisationsschieferung zu Kataklyse um blastomylonitische Typen handelt, wie sie aus den Tauern beschrieben wurden, das heißt ob die kristalloblastische und die kataklastische Teilbewegung dieser Mischtypen bei einer und derselben tektonischen Beanspruchung entstand, ob sie korrelat sind, wie ich das (mit Stark) in den Tauern annehme. Unterschiede in der kristallinen Mobilisation des Materials oder in der Deformationsgeschwindigkeit könnten eine lokal so verschiedene Wirkung gleichzeitiger Durchbewegung erklären, welche zu Ausnahmen von der großen Regel führen kann, daß in verschiedenen Tiefenstufen verschiedene tektonische Fazies entstehen, deren Merkmale im Groß- und Kleingefüge die verschiedenen Bewegungsstufen in der Erdkrinde charakterisieren.

Nehmen wir an, daß tatsächlich die Schieferungen von den tieferen kataklastischen an bis zu den kristalloblastischen der tektonisch höheren Glieder, derselben tektonischen Phase korrelat sind wofür mir die Übergänge zu sprechen scheinen.

Ferner daß sowohl der Bittescher Gneis als tektonische Fazies (Suess „homogene mechanische Umformung“) in diese tektonische Phase gehört, als auch die Fugnitzer Kalksilikatschiefer, deren tektonische Fazies mir nicht zu bezweifeln scheint und bezüglich welches auch Suess „die Annahme der Erwähnung wert scheint, daß sie erst während der Bewegung entstanden sind“.

Wir sehen dann den größten Unterschied zwischen Tauern und moravischen Fenstern in der Deutung von F. E. Suess lediglich darin, daß in den Tauern die kristalloblastische Teilbewegung im Gefüge nach unten vorwaltet wird, in den mährischen Fenstern aber gegen oben.

Letzteres hat Suess zu erklären gesucht, indem er eine tiefere Lage des ganzen Komplexes während der Bewegung und eine Lokalisation der die Umkristallisation fördernden Durchbewegung im ungefähren Niveau des moldanubischen Glimmerschiefers annimmt. Einer besonderen Erklärung aber glaube ich bedürfte es in dieser Hypothese, daß die Kwetnitzagesteine während der Bewegung ja noch tiefer lagen als die Glimmerschiefer, daß sie, wie ich mich überzeugte, sehr stark durchbewegt sind und dennoch keine kristalloblastische Teilbewegung machten. Und jedenfalls wäre, wenn man Suess' Deutung der moravischen Gebiete annimmt als ein neuer Unterschied zwischen Tauern und Mähren hervorzuheben, daß in den Tauern eine analoge Bedeutung lokalisierter Bewegung weder an der Grenzfläche gegen das Altkristallin noch sonst vorhanden ist.

Dagegen ließe sich eine regionale Steigerung der Kristallisation gegen Süden einer ähnlichen, aber parallel zu den Faltungachsen orientierten Steigerung in den Tauern wie sie Becke zuerst hervorhob an die Seite stellen, und es entspricht sehr gut der in den Tauern hervorgehobenen Einstellung querer Einschaltungen in s anlässlich der Teilbewegung wenn Suess ein Gleiches von manchen „Gneiseinlagerungen“ vermutet.

Zahlreich sind in F. E. Suess' Arbeit über die moravischen Fenster (Denkschr. d. Ak. 1912), die Beispiele für das, was ich (Tschermaks Mitteilungen 1911) als Umstellung, Umfaltung und Ausarbeitung älterer Gefügeflächen beschrieb. So meine ich z. B. die Fälle verstehen zu dürfen, in welchen schon Suess selbst von „Umschleifung“, „Umformung“, „Umstellung“ der Parallelstruktur spricht und davon daß z. B. „eine kataklastische Parallelstruktur über eine ursprüngliche fluidale Parallelstruktur aufgepreßt (und „geprägt“) worden sein dürfte“. (Pag. 562.) Freilich ist nicht immer gesagt, ob die neue Parallelstruktur mit der älteren parallel ist.

Der Zusammenhang zwischen Schieferung und Tektonik ist noch in einigen Fällen unklar geblieben und wird vielleicht in manchen Fällen noch Argumente für und wider die widersprechenden Auffassungen des Gebietes von seiten Suess' und Hinterlechners bilden, unter welchen wir diesmal den Darstellungen Suess' gefolgt sind.

Im Verlaufe dieser Studie wurde gelegentlich versucht, die von Suess gewonnenen Begriffe und Vorstellungen mit solchen zu identifizieren, welche ich von den Tauern ausgehend aufgestellt hatte, und ich glaube, daß hiernach manche ganze oder teilweise Übereinstimmung in einigen Begriffen, wie z. B. dem der tektonischen Fazies im Kristallin erfreulich hervorgetreten ist, wie dies (Verhandlungen 1912, Nr. 10) erwartet wurde.

2. Aus Reinholds auch für unsere tektonische Frage sehr wertvollen und wie mir scheint restlos genauen Studien an den Adern in den Liegendenschiefern des Gföhler Zentralgneises läßt sich folgendes hier hervorheben: Die so überaus reichlich regional in den Schiefern verbreiteten Adern zeigen in Gestalt von Falten etc. die Bilder einstiger Bewegung, von Differentialbewegungen im Gesteine, welche sich, wie ich nun meine, folgendermaßen zu größeren Bewegungen und weiter zu tektonischen Bewegungen des ganzen Komplexes summieren lassen: zu einer alten präkristallinen Tektonik dieses Grundgebirges.

Nach Reinholds Beschreibungen und nach meinem Besuch einzelner Vorkommen (Rosenburg, Dürnstein—Weißenkirchen) möchte ich glauben, daß sich folgende Regel, vielleicht mit Ausnahmen, im allgemeinen aber als Regel erkennen läßt: Die Adern sind verdünnt bis lentikularisiert, wo sie parallel der Schieferung laufen; gleichviel, ob gefaltet oder ungefaltet. Sie sind nicht verdünnt, sondern gestaut und verdickt, wo sie quer zur Schieferung laufen.

Soweit diese Regel, welche mir die vorherrschende scheint, gilt, darf man sagen, daß die Schieferung und die Deformation der Adern gleichsinnige derselben mechanischen Beanspruchung des Gesteins entsprechende, korrele Differentialbewegungen des Gesteins sind. Sie summieren sich zu einer Zerrung und Ausdehnung des Gesteins in der Fläche der Schichtung und Schieferung und diese Deformation ging mit kataklastischer und kristalloblastischer Kornbewegung im Kleingefüge vor sich.

Es scheint mir übrigens nicht leicht, zu beweisen, daß in bestimmten Fällen die Faltung der Ader vor der Schieferung erfolgte.

Reinhold sagt (pag. 129) „vor, auch während“ und ich glaube, daß die Stauchfaltung eines Querganges eine zur Schieferung quer

auf diesen Gang mechanisch dazugehörige, korrele Bewegung ist (wie in anderen mir bekannten Fällen). Beides sind Ausweicheformen verschiedenen Materials gegenüber demselben Druck *s*. So daß ich mehr Gewicht auf das „während“ legen möchte als auf das „vor“.

Ebenso möchte ich übrigens bei den von Sauer (in *Compte Rendu IX. Congr. géol. intern. II*, pag. 598) abgebildeten Gängen annehmen, daß hier trotz allem ein gefalteter Gang vorliegt und auch hier Faltung des Ganges und Schieferung des Schiefers mechanisch korreliert sind und daß dieses Gestein in tektonischer Fazies vorliegt.

Was weiß man nun von der Lagerungsform der Liegendschiefer und des Gföhler Gneises und welche tektonische Rolle kann die Ausplattung der Schiefer ungefähr in der Aplitisationsphase gespielt haben? Letztere tektonische Frage kommt zustande, sobald man, wie es hier geschieht, eine Dehnung der Schiefer annimmt.

Eine solche Dehnung der Schiefer, ein Auseinanderfließen in *s* kann stattfinden bei Umfaltung, welche in Differentialüberfaltung (und -schiebung) übergehen kann, wie (Tschermaks Mitteilungen 1911, pag. 311) erörtert ist, ferner bei Überschiebung mit differentieller Verteilung der Verschiebung auf die *s*-Flächen eines ganzen Gesteinshorizonts (des „Bewegungshorizonts“). Endlich könnte es sich noch um einfache Plattung des Schiefers mit seitlichem Ausweichen handeln.

Aus dem Waldviertelführer der Wiener Mineralogischen Gesellschaft (Becke, Himmelbauer, Reinhold, Görgey; Tschermaks Mitteilungen 1913) läßt sich von Beckes Besprechung der Lagerungsverhältnisse folgendes nehmen:

Der Gföhler Gneis liegt im ganzen als Kern in einer sehr flachen Schiefermulde. Die Kleinfaltung (mit Aderung), welche Reinhold von Lokalitäten im Süden, Osten, Norden und Westen der Gföhler Gneishauptmasse beschreibt, hat Becke zwischen Dürnstein und Weißenkirchen summiert (pag. 26). „Bei aller Unregelmäßigkeit im einzelnen folgen sie (die kleinen Falten) doch einem bestimmten Faltungstypus: Flache Westfallende und steile Ostfallende Falten-schenkel, mitunter nach O überschlagene Fältelungen sind die Regeln.“ Diese Verhältnisse lassen sich nach Becke mit der Vorstellung einer Faltung des Südwestrandes der Gföhler Gneismasse vereinigen. Wir hätten also hier eine während der Kristallisation erfolgte Faltung gegen Osten als einen Teil der gesuchten präkristallinen tektonischen Bewegung festzustellen. Es würde sich nun aber um den weiteren Versuch handeln, diese Teilbewegungen regional zu summieren und allenthalben von eventuell vorhandenen postkristallinen Bewegungen zu trennen.

Diese Summation scheint auf Schwierigkeiten zu stoßen, denn nach Becke ist kein Einhalten bestimmter Richtungen wie bei alpinen Faltungen zu sehen. Ferner zeigen Cžížeks und Beckes Profile ein konkordantes unkompliziertes System von Gföhler Gneis und Liegendschiefen. Wenn es aber erlaubt ist über ein von anderen untersuchtes Gebiet eine Vermutung als Vermutung auszusprechen, so möchte ich im Hinblick auf die regional verbreiteten Zeichen der Bewegung in *s* und auf die häufige Wiederholung gewisser Einschaltungen und auf den Parallelismus zwischen diesen Einschaltungen und der

Schieferung eine präkristalline Komplikation etwa nach dem Typus einer hochgesteigerten Umfaltung der Liegendschiefer in der weiteren Umgebung des Gföhler Gneises für sehr verbreitet halten. Dagegen scheint die Dehnung mancher flachliegender Gebiete, wie sie die Profile zeigen, derzeit noch kaum tektonisch deutbar.

Hier wie in anderen kristallinen Arealen würde übrigens die Erklärung einen idealen Abschluß erst durch eine Darstellung in drei Karten erlangen, deren erste das Material abgesehen von Grad und Art des Metamorphismus, deren zweite Grad und Art der Kristallisation, deren dritte Grad und Art der tektonischen Fazies zeigen würde; diese dritte wäre die Darstellung der Tektonik.

Wir haben oben aus Beckes Waldviertelführer eine gegen Osten gerichtete Faltung am Südwestrande des Gföhler Gneises während der Kristallisations- (und Aplitisations) -Phase entnommen, und vermutet, daß den tektonischen Fazies des Waldviertels regional eine bedeutendere Komplikation (wahrscheinlich nach dem Typus der Umfaltung) bis zu isoklinalen Serien entspricht als bisher die Profile verzeichnen und als in Beckes erster Waldviertelarbeit (Tschermaks Mineralog. Mitteilung 1882, pag. 395 ff.) angenommen wird. Nach dieser Arbeit sind die Lagerungsverhältnisse im Westen des Gföhler Gneises einfache (d. h. im Sinne der damaligen Tektonik: Das Fallen und Streichen ist konstant), im Osten deutet der Wechsel des Fallens mehrfach auf Mulden und Sättel.

Die große Hauptmulde mit ungefähr nordsüdlicher Achse, welche den Gföhler Gneis enthält, war schon gebildet als die eben erwähnten östlichen Mulden und Sättel sich bildeten und korrelat hiezu nach Nordnordost gerichteter Schub den „Nordostflügel aufrichtete. Hält man angesichts der Karte diese tektonischen Grundlagen zusammen und bedenkt die zahlreichen Anzeichen für eine Steigerung der kristallinen Mobilisation nächst dem zentralen Gföhler Gneis, während der präkristallinen tektonischen Phase, so scheint in dieser Phase eine Neigung der Liegendschiefer sichtbar zu werden, bald von der, bald von jener Seite zentripetal gegen den Gföhler Gneis zu drängen, vielleicht auch unter denselben. Dieses hätte sich durchaus in der Kristallisationsphase abgespielt, wenn die darauf gerichtete Aufmerksamkeit der Arbeiter in diesem Gebiete den präkristallinen Charakter der für dieses Bewegungsbild in Betracht kommenden Teilbewegungen bestätigen wird.

II. Allgemeineres.

Die Aufgabe der präkristallinen Tektonik des Grundgebirges nachzugehen unterscheidet sich in manchem von den Aufgaben, welche sich bisher die Tektonik mit Vorliebe stellte. Es handelt sich um Erkenntnis der Bedeutung von „durchaus in einer großen Gesteinsmasse verbreiteten Bewegung“ (Bailey Willis), um tektonische Fazies und die Summation ihrer Teilbewegungen, welche der Petrograph beschreibt, zu tektonischen Bewegungen; jedenfalls um den Versuch dieser Summation. Bewegungsflächen spielen kaum eine Rolle neben der nicht „auf eine bestimmte Fläche konzentrierten“ (Willis) Be-

wegung in der tektonischen Fazies. Man sagt in der Geologie, alles oder fast alles kristalline Grundgebirge sei gefaltet; dieselbe Erfahrung ungefähr bildet die Grundlage des Dynamometamorphismus der Petrographen. Man kann sich vor Augen halten, welche herrschende Rolle tektonische Fazies, d. h. Gesteine mit summierbarer Differentialbewegung im Gefüge, im kristallinen Grundgebirge spielen, welches also die durchbewegtesten Teile der Erdhaut enthält. Man kann ferner Bailey Willis einwandfreie und vielfach anwendbare Theorie des Überschiebungsmechanismus bedenken, wie sie in *Compte Rendu IX. Sess. Congr. Géol. international. II, Wien, 1903* (pag. 538) kurz erörtert ist. Aus dieser ergibt sich, daß bei jeder partiellen Faltung der Oberfläche (durch Kontraktion) zwischen der Oberfläche und der tieferen Stufe gleichförmiger, plastischer Kontraktion Überschiebung stattfindet.

Diese der Gebirgsbildung an der Oberfläche korrelierte Überschiebungszone finden wir nach der Deformation schräg gegen das Erdinnere absteigend angeordnet. Sie besteht aus Differentialüberschiebungen, welche alle Merkmale der Deformation in verschiedener Tiefe zeigen werden zwischen den Extremen der Oberfläche und der Zone ohne Druckleitung.

Zwischen der untersten und der obersten Zone (Bewegungsstufe) ist auch in diesem Falle der Raum für die zahlreichen Deformationstypen „stetiger“ Tektonik unter Belastung, für die Umfaltung, Differentialüberfaltung, Differentialüberschiebung usw. der tektonischen Fazies. Dieses sind die vorwaltenden Deformationstypen der präkristallinen Grundgebirgstektonik. Auch von hier aus sind (unter Umständen noch sehr bedeutende) fluidale Bewegungen im Grundgebirge noch häufiger zu erwarten als in seiner Bedachung und es ist hiermit stets von vornherein zu rechnen, wenn man nach der präkristallinen Tektonik eines Grundgebirges überhaupt sucht.

Vorherrschend scheint Umfaltung zu sein, wie sie im Schema z. B. die schönen Profile des *Géol. Atlas der U. S. Géol. Survey* zeigen (z. B. Bradshaw Mountains; Mount Mitchell). Es handelt sich um oft enggeschlossene Falten, deren Ausmaß (bei Faltung ohne Erweichung) durch die Knickfestigkeit der gefalteten Lage nach der „Regel der Stauchfaltengröße“ in erster Linie bestimmt wird. Bei dieser Faltung kann eine vollkommene Umstellung der ursprünglichen (bei der Umfaltung durch Differentialbewegung in *s* ausgearbeiteten) *s*-Flächen geringsten Zug- und Schubwiderstandes erfolgen. Die Scharniere gehen durch Bewegung in der nunmehr umgestellten Schieferung leicht verloren, aber Wiederholungen und symmetrale Einschaltungen können die Komplikation solcher Grundgebirgsserien noch erkennen lassen. Das Studium des Verhältnisses zwischen Kristallisation und der zur Umfaltung korrelierten Teilbewegung im Gefüge, welche unter Umständen in Form der Kristallisation (tekonoblastische Bewegung, vgl. Tschermaks mineralog. Mitteilung, 1911, pag. 284 ff.) verläuft, kann als ein geologisch besonders fruchtbares Arbeitsgebiet moderner Petrographie Aufschlüsse über die physikalischen Bedingungen geben, unter welchen die tektonische Deformation erfolgte. Die Deformationsgeschwindigkeit und der Grad der kristallinen Mobilisation des Ge-

füges sind von hier aus als Variable ins Auge zu fassen. Als physikalische Bedingungen, welche eine Steigerung der letzteren und also eine Begünstigung der tektonoblastischen Bewegung bringen, gelten Wärme und Imprägnation mit Lösungsmittel. Als geologische Gelegenheiten für das Gestein diesen Bedingungen zu begegnen, kommt Versenkung in eine gewisse Tiefe in Betracht und die Begegnung mit Magmen, welche sozusagen Bedingungen der Tiefe auch in Stratosphären emportragen, in welchen diese Bedingungen eine Inhomogenität bedeuten. Auch die Differentialbewegung im Kleingefüge selbst kann nur im Sinne von Erwärmung und Zirkulation der Lösung wirken.

Wir besitzen ferner auch durch Föhlung mit Beckes und van Hises minerogenetischen Lehren Mittel, auf die physikalischen Bedingungen im Gestein zur Zeit einer bestimmten tektonischen Deformation dieses Gesteins zu schließen. Physikalische Bedingungen sind aber nicht begrifflich zu identifizieren mit den geologischen Bedingungen, auf deren Erkundung es hier ankommt. Man sieht das eben, indem wir jetzt zur ersten Hauptfrage gelangen. Wir machen eine Annahme, welche für viele Grundgebirgsareale zutreffen dürfte. Wir nehmen an, die Untersuchung in dem oben kurz angedeuteten Sinne habe ergeben, daß die Differentialbewegung eines umgefalteten Grundgebirges in hohem Grade Kristallisation war. Darf nun diese regional waltende Kristallisation während der Umfaltung als ein eindeutiges Zeichen gelten, daß die Deformation in der Tiefe erfolgte? Ich glaube, daß man hier mit der Petrographie nur soweit gelangt, die physikalischen Bedingungen während der Deformation zu erschließen. Im übrigen aber gibt es mehrere geologische Möglichkeiten für solche Bedingungen.

Die starke und allgemeine präkristalline (d. h. vor Abschluß der Kristallisation erfolgte) Umfaltung des Grundgebirges kann eine Deformation in größerer Tiefe sein, gleichzeitig und korrelat mit den lokalisierten Deformationen, welche tangentialer Druck an der Oberfläche erzeugte. Bailey Willis und bei uns Ampferer haben u. a. darauf hingewiesen, daß lokalisierten orogenetischen Bewegungen der Oberfläche im Untergrunde Bewegungen entsprechen. Ich glaube, daß man die hier angedeutete tektonische Stellung des umgefalteten Grundgebirges für jeden Fall ins Auge fassen muß, in Gebieten mit Oberflächeufaltung und mit undeutlicher Transgression über dem gefalteten Grundgebirge. Es wäre dieses also die eine mögliche tektonische Stellung gefalteten Grundgebirges: Korrelate Faltung zu der noch ersichtlichen Orogenese eines „korrelaten Deckgebirges“.

Meist aber ist die Stellung des gefalteten Grundgebirges eine andere. Seine Faltung wird angegeben als älter denn seine oft schon sehr alte, die Grundgebirgsfalten transgredierende Bedeckung. Diese Bedeckung selbst ist ungefaltet, oder es besteht ein großer vom Gesteinscharakter nicht erklärter Hiatus zwischen der Deformationsform des Grundgebirges (z. B. extreme Tiefentektonik) und des Deckgebirges, während ja bei Korrelation beider Deformationen hierin ein Übergang zu erwarten wäre. Ebenso fehlen Übergänge im Metamorphismus z. B. im Sinne der Tiefenstufen, vielmehr ist auf einen zweiten großen Hiatus, den zwischen der Kristallisation des Grund-

gebirges und der Bedeckung hinzuweisen. Zuweilen ist es sogar deutlich, daß den orogenetischen Bewegungen im Deckgebirge nicht die Umfaltung des Grundgebirges, sondern eine der Umfaltung heterogene unter Diaphthorese verlaufende Tektonik des Grundgebirges entspricht, dessen Tektonik so in zwei Bewegungsbilder zerfällt.

Kurz in manchen Fällen ist die Umfaltung des Grundgebirges nicht korrelat zu einer Deformation der heutigen Bedeckung, sondern nach allem Anschein älter als die ältesten uns bekannten Transgressionen als die ältesten Zeugen der Trennung von Wasser und Land. Unter diesen Umständen scheint es fraglich, ob wir diese Umfaltung des Grundgebirges noch aktualistisch beurteilen und ohne weiteres annehmen dürfen, daß auch damals eine Umfaltung mit den Charakteren der Deformation in großer Tiefe nur unter so mächtiger Bedeckung habe entstehen können, wie wir das für das Zeitalter unserer geologischen Formationen annehmen, oder ob damals die Bedingungen der Tiefe und lebhaftere Kristallisation noch in geringen Tiefen herrschten, welche heute, d. h. im Zeitalter der Formationen beinahe schon die Deformations- und Kristallisationsgesetze der Oberfläche haben.

Dies deckt sich mit der Frage, ob im Zeitalter vor unseren Formationen die bedeutendste Abkühlung stattfand, ob in diesem prähistorischen Zeitalter die Erdhaut überhaupt in vielem mehr den Charakter trug, den wir heute größerer Tiefe zuschreiben. Es ist bekannt, daß viele geneigt sind, das zu bejahen.

Die obige Überlegung deckt sich aber auch mit der Frage, ob wir für die Zeit vor den ersten erkennbaren Transgressionen eine ebenso mächtige Formationsfolge annehmen sollen wie die uns bekannte. In diesem Sinne stimmen bekanntlich sehr viele Paläontologen. Wir könnten in diesem Falle die Geltung unserer heutigen Lehre von den verschiedenen Tiefenstufen (der Deformation und Kristallisation) aktualistisch auch noch auf große Zeiträume vor den letzten erkennbaren Transgressionszeichen und auch auf die alte Umfaltung des Grundgebirges ausdehnen. Diese wäre unter einer ebenso mächtigen Bedeckung erfolgt wie wir sie heute für unsere unterste Tiefenstufe annehmen; das Zeitalter einer Stratosphäre vom physikalischen Charakter der heutigen würde noch weit hinter die ersten erkennbaren Transgressionen zurückreichen und diese wären eben nur deshalb die ersten, weil die Bedeckung durch unsere Formationen alle früheren Erdhüllen in Tiefen brachte, in welchen Kristallisation, Durchbewegung und Stoffzufuhr oder Entmischung alle Merkmale suprakrustaler Entstehung verwischt. Der Analysendiskussion im Sinne der seit Rosenbusch geschaffenen Grundlagen für den Chemismus der Ortho- und Paragesteine ist es wohl vorbehalten, den letzten im alten gefalteten Grundgebirge noch erkennbaren suprakrustalen Merkmalen, den chemischen, nachzugehen.

Außerdem kann man aber zunächst noch in Betracht ziehen, die Bedeutung der Schichtung als eines suprakrustalen Merkmales und daß die Schieferung (nach Meinung des Verfassers) in überaus zahlreichen Fällen, vielleicht noch vielfach an sogenannten Orthogesteinen, doch mittelbar eine Folge der Schichtung ist und nur in einer Stratosphäre entstehen konnte. Man kann von hier aus schließen, daß schon

an der Stratosphäre, welche heute als ältestes gefaltetes Grundgebirge vorliegt, Schichtung wirkte. Das ist zwar kein Beweis für Kontinente, wohl aber ein Grund für die aktualistische Auffassung, daß der Hiatus zwischen gefaltetem Grundgebirge und Oberfläche zur Zeit der alten Grundgebirgsfaltungen nicht bestand, vielmehr die Faltung solchen Grundgebirges unter einer Bedeckung durch Formationen vor sich ging, an deren Stelle wir heute den Hiatus sehen.

Wir haben also mehrere Gründe, für altes, präkristallin gefaltetes Grundgebirge mit einem Metamorphose-Hiatus gegen das Hangende eine mehr oder weniger bedeutende, jetzt verschwundene Bedeckung zur Zeit der Umfaltung anzunehmen. Für die Mächtigkeit dieses in diesem Falle verschwundenen primären Deckgebirges, welches wir im folgenden kurz die (zur Grundgebirgsumfaltung) korrelate Bedeckung nennen, gibt die Weite des Hiatus, welchen es sozusagen füllt, Anhaltspunkte; zugleich für die Zeitdistanz zwischen Umfaltung und Transgression, denn diese Zeit ist im Minimum gleich der Abrasionszeit der korrelaten Bedeckung und also deren Mächtigkeit angemessen. Andererseits kann durch die einzige oben besprochene Voraussetzung, daß in früheren Zeiten die Bedingungen der Tiefe bis näher an die Erdoberfläche herrschten als heute, die anzunehmende Mächtigkeit der korrelaten Bedeckung eingeschränkt werden.

Das sind einige allgemeinere Vorstellungen und Fragestellungen, mit denen die regionale Besprechung der Aufnahmeergebnisse im Grundgebirge gelegentlich versucht werden soll, soweit eben die Aufnahmen bereits als Studium von Kristallisation, Teilbewegung im Gefüge und Tektonik durchgeführt sind. Wir fragen jedesmal zur Grundlage, wie weit dies der Fall ist. So wäre z. B. der Nachweis, daß die Umfaltung lediglich Kristallin abgebildet ist, ein starker direkter Hinweis darauf, daß die Umfaltung vor oder während der Versenkung in hochkristalline Tiefen erfolgte. Wir beachten den Hiatus und wir fragen nach dem korrelaten Deckgebirge.

Man könnte nun noch fragen, ob denn von diesem hypothetischen korrelaten Deckgebirge nirgends noch etwas vorhanden sei. Dabei ist zu erinnern, daß dieses korrelate Deckgebirge ohne irgendwelchen tektonischen oder Metamorphose-Hiatus mit dem Grundgebirge verbunden zu denken ist. Es ist eben nichts anderes, als das in Tektonik und Metamorphose harmonisch und ohne Hiatus mit dem Grundgebirge verbundene Hangende desselben, welches eben in manchen Fällen wegerodiert ist, wobei der Hiatus an seine Stelle trat; so wird es im folgenden der Kürze halber verstanden. Es ist denkbar, daß es in manchen Fällen gelingen könnte, auch im ältesten gefaltetem Grundgebirge selbst schon tektonische oder mineralogische Tiefenstufen zu bemerken. In solchen Fällen wäre sozusagen korrelates Deckgebirge noch der Erosion entgangen.

Der Hiatus kann in verschiedenen Gebieten verschiedene Größen haben und es ist ein gewisser vager Vergleich vielleicht da und dort möglich. Die Gleichzeitigkeit der ältesten präkambrischen Transgressionen über gefaltetes Grundgebirge ist nicht erweislich und so fehlt auch die Möglichkeit, die Gleichzeitigkeit der alten Grundgebirgsfaltung zu beweisen oder zu widerlegen.

Was die Tatsache der Umfaltung und der im Betrage überaus großen tangentialen Zusammenschiebung des Grundgebirges betrifft, so dürften in diesem Sinne sowohl die intensive Erkaltung und Kontraktion als die Versenkung wirken, ohne nach Meinung des Verfassers zur Erklärung des Betrages auszureichen.

Bei Van Hise und Leith (U. S. Geol. Surv. Bull. 360, pag. 31 ff.) findet man die Meinung, daß die batholithischen Massen den durch ihre umgefaltete Schieferhülle kompensierten Raum einnehmen.

Wenn man eine Schieferung als tektonische Fazies erfaßt, wenn sich herausstellt, daß diese Schieferung und demgemäß auch die zu ihr korrelate, tektonische Bewegung (in einer Tiefenstufe) mit lebhafter Kristallisation erfolgte, so muß man erfahrungsgemäß damit rechnen, nun ein ganz anderes Bewegungsbild als das einer oberflächlich entstandenen Tektonik kennen zu lernen. Die Deformationsregeln solcher Zonen darzustellen, das wird vielfach zur Hauptaufgabe einer Tektonik des Grundgebirges. Und diese ganz eigenartigen Regeln werden vielleicht einmal das ausmachen, was man als typische Grundgebirgstektonik der bekannten Oberflächentektonik gegenüberstellt, während sich derzeit noch Lehrbücher der Tektonik nur erst mit der Oberfläche befassen. Man darf zunächst nicht als alleiniges Charakteristikum der Grundgebirgstektonik betrachten, was nur von der Blättrigkeit des Materials abhängt. Das sind eine Reihe von Regeln, welche in jedem blättrigen Material bei Deformation sogleich ganz ebenso auftreten, wie z. B. die große Neigung zur Umfaltung und überhaupt zur Differentialbewegung zwischen den Blättern bei fast beliebiger Deformation.

Außer in alpinen Profilen finden wir auf amerikanischen und englischen geologischen Karten gute Beispiele für ganz allgemeine Umfaltung außerhalb des alten Grundgebirges. Besonders hinzuweisen ist auf Nantahala, Truckee und Colfax des Atlas der Géol. Surv. U. S. Ganz allgemeine Umfaltung im Unterdevon zeigt Blatt Bodmin der Géol. Surv. of England. Auf Blatt Newquay (sheet 346, 1906) tritt eine Schar steiler Bewegungsflächen hervor, welche infolge der vorangegangenen Steilstellung von s durch Umfaltung fast durchwegs in s oder subparallel s fallen. Ein sehr gutes Beispiel für ganz allgemein herrschende „geneigte Umfaltung“ an Glimmerschiefer und Phyllit zeigt Londonderry District (1908). Die Devonschiefer des Blattes Camelford (sheet 336, 1907) zeigen geneigte bis liegende, ja vollkommen liegende Umfaltung ganz allgemein, ebenso die Tentakulitenschiefer des Blattes Trevoise Hand, kurz es gibt genug bekannte Beispiele für Umfaltung außer dem alten Grundgebirge.

Ferner ist es nötig, die unter anderen Bedingungen z. B. näher an der Oberfläche unter Diaphthorese erfolgten und mit Querbrüchen verbundenen Bewegungen von dem gesuchten Bewegungsbilde des Grundgebirges zu trennen.

Erst die Erkenntnis einer Reihe von Schieferungen als tektonischer Fazies, die Erkenntnis der Korrelation zwischen Schieferungen und Tektonik und der möglichen Verhältnisse zwischen Kristallisation und Differentialbewegung im Gesteinsgefüge gibt Mittel an die Hand.

zu untersuchen, was in einem deformierten kristallinen Gebiet in eine und dieselbe tektonische Phase gehört.

Es wurde andernorts bereits hervorgehoben, was als oberste Deformationsregel die Tektonik größerer Tiefen beherrscht:

Die Entfernung, auf welche gerichteter Druck in der Erdrinde geleitet werden kann, nimmt ab:

1. Zentripetal im allgemeinen.
2. Lokal bei gesteigerter Kristallisation. Die Intrusiva tragen die Bedingungen größerer Tiefe auch in diesem Sinne in höhere Stufen empor.

3. Mit der Deformationsgeschwindigkeit, da mit dem Abnehmen derselben die Rolle der Umkristallisation als Differentialbewegung wächst, wodurch die Bewegung ebenfalls echt fließenden Charakter ohne Druckleitung auf großen Entfernungen erhält. Letzteres heißt mit anderen Worten, daß viele Körper, so auch Gesteine, fließen, wenn man sie entsprechend langsam deformiert. Durch Wärmezufuhr durch Imprägnation mit Lösungsmittel etc. läßt sich bei Gesteinen wie bei vielen anderen Körpern die Deformationsgeschwindigkeit größer machen, bei welcher der betreffende Körper eben noch fließend nachgeben kann. Das sind der zünftigen Technologie wohlbekannte Dinge.

Van Hise (U. S. Géol. Surv. Bull. 360, 1909, pag. 31), neuerdings Niggli und Johnston (Neues Jahrb. Beilbd. 37, 1914, pag. 547 ff.) haben auf die Energieersparnis beim Fließen aufmerksam gemacht.

Es handelt sich nun bei einer allgemeinen Betrachtung der Tektonik des Grundgebirges z. B. zunächst des schwedischen vor allem um die Frage: In welcher Weise gelangt hier überhaupt zum Ausdruck, daß die Deformation nicht gleich der einer Flüssigkeit (mit Schlieren) war, sondern daß Druckleitung stattfand. Letzteres nun kommt ganz im allgemeinen dadurch zum Ausdruck, daß die Wirksamkeit der *s*-Flächen (geringster Zug- und Schubfestigkeit) noch eine bedeutende Rolle spielt. In einer Flüssigkeit gibt es keine solchen Flächen und es unterscheidet sich also eine Deformation bei welcher diese *s*-Flächen (meist frühere Stadien der jetzigen Schieferung) wirksam wurden noch sehr vom Grenzfall des Fließens ohne Leitung gerichteter Spannungen, auch wenn die ganze Deformation mit kristalloblastischer Teilbewegung erfolgte. Die Rolle der *s*-Flächen aber kommt im schwedischen Grundgebirge noch deutlich zum Ausdruck im Vorwalten langgestreckter Form der aufgerichteten Schieferzüge.

Die Neigung zur Konstanz im Streichen aufgerichteter Schieferung ist vielfach noch deutlich (z. B. Schieferzüge südlich von Eskilstuna oder entlang Mellan Fryken, nördlich Venern u. v. a.). Wo das Streichen der Schiefer aber rasch wechselt, wo die Windungen und Schlingen der Schiefer auf der Karte die für schwedisches, kanadisches, böhmisches etc. Grundgebirge so bezeichnenden Bilder ergeben, da tritt eine Hauptfrage der Grundgebirgstektonik überhaupt auf, ob hier ein abermaliger Zusammenschub schon aufgerichteter Schiefer parallel zum Streichen, also eine Faltung mit steilen Axen, wie ich sie auch aus den Alpen kenne, am Werk war, oder ob es

sich um Abbildung von Batholithmänteln auf der Karte handelt. Bei dem ersteren Vorgang, den man im Experiment unschwer nachahmen kann und den ich Faltung mit steilen Axen nennen will, müssen die Schiefer zuerst bis über 45° wenigstens, aufgerichtet sein und am besten wird diese Faltungsart wirksam werden, wenn die Schiefer bereits sehr steil bis vertikal stehen, was ja im Grundgebirge überaus häufig der Fall ist.

Für Batholithmäntel sowohl wie für ganz anders aufzufassende Schlingen und „Sigmoiden“ im Grundgebirge bietet Schweden schöne Beispiele. Bezüglich ersterer genügt ein Hinweis auf die Schar eng benachbarter Batholithe, welche Högbom in Steinmanns Handbuch der Regionalgeologie (IV. 3 pag. 22) abbildet. Diese Granite bilden „Parallelkontakt“ mit der Schieferung der Mäntel. Wenn man annimmt, daß die Schieferung der Leptite, welche nach Högbom zwischen Kristallisationsschieferigkeit (genetisch oder deskriptiv gemeint?) und Hornfelsstruktur schwankt in letzter Linie mittelbar auf Schichtung zurückgehe, so wird eine gleiche Annahme auch für die geschieferten Granithüllen wahrscheinlich; womit nicht etwa die sedimentäre Entstehung des Granits behauptet ist. Denn eine Schieferung durch Intrusionsdruck im erstarrenden Magma mußte (1910, Denkschr. d. Ak. Wien) die isothermen Flächen des erkaltenden Magmas abbilden, was mir angesichts der Högbomschen Skizze des Uppsala—Dannemoragesbietes nicht der Fall zu sein scheint. In der Anordnung der Granite, welche fast ähnlich Trümmern mit korrespondierenden Umrissen aneinandergedrängt liegen und im Verlauf der zwischen ihnen „eingeklemmten“ Leptitstreifen kommt tangentielle Bewegung und Spannung zum Ausdruck, welche an der Grenze erkaltender Intrusionen recht wohl als Intrusionsdruck bezeichnet werden kann im Sinne von „vom Intrusiv hydrostatisch übertragener Druck“, welcher wohl überhaupt in vielen Fällen der wirksamere Druck ist als jene bekannte, unter Umständen explosive vulkanische Komponente, welche vielleicht erst bei einer ziemlich geringen Überlastung ihrer Größe nach in Frage kommt. Vielleicht aber ist auch der Fall noch nicht auszuschließen, daß die eingeklemmten Schieferstreifen von oben in Fugen größerer, fester, batholithischer Bestandmassen hineingedrängt wurden, wozu die Kristallisationsschieferung als Differentialbewegung gehört?

Nach diesen Batholithmänteln aber bleiben andere Schlingen im Grundgebirge etwa mit A. E. Törnebohms Geologisch Öfversigtskarta öfver mellersta Sveriges Bergslag (1:250.000, 1880) zu betrachten. Zwischen den Schieferungen der Kordiritgneise, Bändergneise, Amphibolite und Glimmerschiefer scheint es nach diesen Karten keine Diskordanz zu geben; vielleicht gehen sie alle, oder fast alle in letzter Linie auf sedimentär angelegte *s*-Flächen zurück.

An vielen Stellen, so nördlich vom Venern-See trifft man Anordnungen, welche man, wie ich meine, nicht in Abhängigkeit von Batholithen sehen kann. Das anhaltende NW—SO-Streichen der Bändergneise entlang Mellan Fryken geht im Süden in ein Gewirre sigmoider Linien über, für welche mir eine Abhängigkeit von Batholithen keine mögliche Annahme scheint.

Anhaltspunkte dafür, ob hier vielleicht Umfaltung größeren Faltenausmaßes vorliegt (symmetrale Einschaltungen? Wiederholungen?) sind mir nicht bekannt. An anderen Stellen erhält man den Eindruck einer Knickung der bereits in der vorherrschenden Richtung streichenden Schiefer durch Druck in der Streichrichtung. Durch darauf gerichtetes Studium der Kleingefüge wäre es möglich, zu untersuchen, ob Aufrichtung und Knickung unter denselben Bedingungen im Gefüge z. B. in derselben Tiefenstufe erfolgten, wofür mir eine gewisse Wahrscheinlichkeit von vornherein zu sprechen scheint.

Besonders hervorzuheben sind also jene Schlingen im Verlauf der Schieferung auf der Karte, welche Fallwinkel von 60° — 90° zeigen. Solche Schlingen mit saigerer Schieferung sind als ein eigener Deformationstypus des Grundgebirges aufzufassen, der auch im alpinen Grundgebirge wiederkehrt und gelegentlich mit solchen Beispielen näher beschrieben werden soll. Diese Schlingen können nicht als Abbildung von Batholithmänteln gelten, vielmehr scheint hier Faltung mit steilen Axen als Erklärung heranzuziehen.

Ein schönes Beispiel für Umfältelung (Kleinfaltung) mit vertikalen Achen bieten die hochkristallinen Äquivalente der unteren Tauern-Schieferhülle nördlich der Texelgruppe bei Meran und es läßt sich in diesem Falle aus Querschliffen sogar ersehen, daß diese Umfältelung unter anderen Bedingungen im Gefüge erfolgt ist als die erste Schieferung, entweder schneller oder bei geringerer kristalliner Mobilisation des Gefüges. Aus Törnebohms geologischer Übersichtskarte von Mittelschweden sind hier besonders die Kordieritgneisschlingen südlich und östlich von Stockholm zu erwähnen und eine Gneisschlinge nächst Sigtuna.

Auf Blatt Shuswap, British Columbia (Géol. Surv. of Canada 1898 Dawson) zeigen die archaischen Shuswap-Schichten ganz ausgezeichnete Beispiele für Schlingen im Grundgebirge. Diese Schlingen lassen sich erkennen, weil auf dieser Karte schon die namentlich für kristalline Areale sehr zu empfehlende Bezeichnungsart verwendet ist, welche ich im Jahrb. d. Reichsanstalt 1906, pag. 707, versuchte. „Statt die verschiedenen Gesteine durch ein beliebiges Muster auszudrücken, zeichnete ich, wo es sich um Schichtgesteine handelt, die Schnittlinien der Schichtflächen mit dem Terrain auf die Kartenebene projiziert, so daß die Kartenskizze, wenn man sich etwas in ihre Betrachtung findet, auch die allgemeinsten Züge der Tektonik zeigt.“

Wenn ich nun annehme, daß die Karte in diesem Sinne einigermaßen richtig gezeichnet ist, so liegen auch hier verschiedentlich Scharniere mit steilen Achsen vor, welche sich nicht als Batholithhüllen mit Parallelkontakt deuten lassen (Park Berge im Osten des Blattes und Landzunge im südlichen Shuswap-See). Gleiches gilt von den Gneisgebieten des Nordens auf der geologischen Umgebungskarte von Baltimore (John Hopkins University 1892).

Eine eingehendere Besprechung der geologischen Aufnahmsergebnisse im Grundgebirge unter den hier angedeuteten Gesichtspunkten soll gelegentlich versucht werden. Allenthalben gelangt die auch für die Tektonik des Grundgebirges wichtigste Frage in kristallinen Arealen in den Vordergrund, ob die Schieferung als Teilbewegung der Tek-

tonik als tektonische Fazies korrelat zu größeren tektonischen Bewegungen oder als „statische“ und „Belastungsmetamorphose“ jeweils aufzufassen sei. Im allgemeinen scheint dem Verfasser die Auffassung der kristallinen Schiefer einen Gang zu gehen, welcher von kristallin-gewordener Feinschichtung zum Begriff statischer Metamorphose unter einseitigem Druck und von da zur Auffassung kristalliner Schiefer als tektonischer Fazies mit Betonung des Momentes der „Teilbewegung zu größeren tektonischen Bewegungen“ führt. Wie mehrfach bei Erläuterung der Begriffe „Abbildungskristallisation“ und „Ausarbeitung“ früherer Gefüge besprochen wurde, schließen sich diese genannten drei Gesichtspunkte keinesweges aus. Für den Tektoniker aber macht es einen großen Unterschied, ob er an Kristallisations-schieferung bei statischer Metamorphose oder an Kristallisations-schieferung als tektonische Fazies denkt, wie etwa alpine Geologen in den Tauern, oder Högbom von dem südwestschwedischen Gneis, wenn er angesichts der häufigen flachen Lagerung dieser monotonen Gneise meint, daß die tektonischen Bewegungen, durch welche diese Gesteine metamorphosiert wurden, hauptsächlich Überschiebungen und Überfaltungen waren. (Precambrian Géology of Sweden, pag. 31. Bull. of the Géol. Inst. University of Upsala 1910.)

Es erübrigt noch eine kurze Anknüpfung an die amerikanische Grundgebirgsliteratur. In van Hises und Leiths Precambrian Geology (U. S. Géol. Surv. Bull 360 Washington 1909) wird gegenüber der Hypothese einer besonders starken Krustenfaltung in archaischer Zeit bemerkt, daß eine derartige Hypothese unhaltbar sei, weil das Archaikum auch alle späteren Deformationen miterlebt. Hier kann, wie ich meine, in vielen Fällen der Gedanke weiterführen, daß Deformationen unter verschiedenen Bedingungen häufig auch mit verschiedenartiger Teilbewegung im Gesteinsgefüge vor sich gehen (rupturell, kristalloblastisch etc.); so daß es möglich wird bestimmte tektonische Fazies einer bestimmten tektonischen Phase zuzuordnen. Es fehlt nicht mehr an Arbeiten, aus welchen sich eine solche Korrelation zwischen tektonischer Fazies und tektonischer Deformationsphase entnehmen läßt und die mannigfachen möglichen Beziehungen zwischen Deformation und Kristallisation machen das Kristallin zum Hauptgebiet für derartige Analysen. Was diese Beziehungen anlangt, so bildet die Unterscheidung von Abbildungskristallisation nach beendeter Deformation und von Kristallisationsbewegung während der Deformation eine besonders schwierige, von Fall zu Fall zu behandelnde Frage, welche mir der Name „Rekristallisation“ in der amerikanischen Literatur häufig zu umgehen scheint.

So scheint mir z. B. die Tatsache, daß im Gebiete des Oberen Sees (Van Hise und Leith Lake Superior, U. S. Geol. Surv. Monogr. 52 1911, pag. 620 ff.) Archaikum und unteres Huronian verwickelteste Faltung zeigen im Gegensatz zu der breit offenen Faltung im Keweenawan nicht zwingend zu zeigen, ob die ersteren Formationen öfter im Laufe der Zeit deformiert wurden oder lediglich andererart. Die Autoren selbst führen schöne Beispiele für die Regel der Stauchfaltengröße an (pag. 620 ff.; Fig. 35), welche z. B. geschlossene Falten zu einer charakteristischen Deformation für inkompetente Lagen macht.

Nebenbei bemerkt scheinen mir die Ausdrücke kompetent und inkompetent bei diesen Autoren zwei Extreme einer graduellen Eigenschaft, nämlich der Druckleitungsfähigkeit einzelner Lagen zu bezeichnen, für welche die Regel der Stauchfaltengröße gilt. Z. B. sagen diese Autoren (pag. 621): Similar dragfolds in the soft layers between the competent strata may be found in almost any part of the Lake Superior region, where competent and incompetent layers have been folded together. Diese Kompetenz hängt in hohem Grade u. a. von der kristallinen Mobilisation des Gefüges ab.

Die orogenetischen Bewegungen „erzeugten (Faltung und) Metamorphismus“. Wenn man hierauf von anderer Seite sagen hört: „Der Dynamometamorphismus existiert nicht“, so wird man vielleicht lieber von Fall zu Fall fragen, welche Veränderungen im Gefüge als (molekulare oder nichtmolekulare) Teilbewegungen aufzufassen sind und welche anderen Veränderungen im Gefüge von der orogenetischen Bewegung nur insofern erzeugt sind, als das Substrat hierdurch an einen Ort mit den erzeugenden Bedingungen gelangte.

Es fehlt in dem reichen Werke der Amerikaner nicht an Beispielen dafür, daß unter verschiedenen Bedingungen verschiedene „Sekundärstrukturen“ entstehen und vielleicht wird sich auch hier schließlich ein fester Zusammenhang zwischen solchen tektonischen Fazies und verschiedenen tektonischen Phasen ergeben. Anamorphen Veränderungen sind ganz allgemein katamorphe aufgeprägt (superimposed). Welche Rolle hierbei „Ausarbeitung“ und „kristalline Abildung“ spielen, ist nicht behandelt.

Zur Ergänzung der Regel, daß Strukturflächen durch Deformation und Metamorphose nicht ausgelöscht, sondern beibehalten oder ausgestaltet werden, ist im Hinblick auf die Massengesteine noch anzuführen, daß eine knetbare Masse von beliebiger Form mit beliebig geformten mitknetbaren Bestandmassen (zum Beispiel Kugelform) bei beliebiger fluidaler Knetung Lagenbau annimmt, was man theoretisch und praktisch zeigen kann. Also Umformung mit Teilbewegung im Gefüge erzeugt Strukturflächen und bildet vorhandene aus. Von der Kristallisation scheint mir letzteres wichtiger und besser erwiesen als ersteres.

Was die Ausführungen über Waldviertel und Mähren anlangt, so möchte ich nach Druck des Obigen anführen, daß Hinterlechner in Verb. 1914, pag. 76 fragt ob „der Schiefergneis zu beiden Seiten des Gföhlergneises nicht vielleicht zwei kompliziert in vielfache Falten gelegte Mulden . . . vorstellen“ könnte?

Dagegen möchte ich der Argumentation Hinterlechners gegen Suess (Verb. 1913, pag. 74) nicht folgen, da Sueß ja davon ausgeht, daß eine Ausnahme von der Tiefenstufentheorie vorliegt, welche er eben tektonisch zu erklären sucht. Man darf ihm also nicht ohne weiteres wie ein Gegenargument vorhalten, daß eine solche Ausnahme vorliege und nicht sagen: „Hier liegt also das diametrale Gegenteil von jener Theorie vor, von der Herr Franz E. Suess ausgegangen ist, um den Kuppelbau und die Überschiebung glaubhaft zu machen.“ Eben nicht von „jener Theorie“ (von der Stufenregel) sondern vom „diametralen Gegenteil“ (davon daß er selbst eine Ausnahme von der Stufenregel nachwies) ist Suess ausgegangen.