Zeitschrift: Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Schaffhausen

Herausgeber: Naturforschende Gesellschaft Schaffhausen

Band: 17 (1941)

Artikel: Die ältesten Baueinheiten von Fennoskandia : ein Beitrag zur Deutung des "Urgebirges"

Autor: Backlund, Helge G.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-585496

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 09.07.2025

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

b) FENNOSKANDIA

3.

DIE ÄLTESTEN BAUEINHEITEN VON FENNOSKANDIA

EIN BEITRAG ZUR DEUTUNG DES „URGEBIRGES"

(mit 1 Tafel)

von HELGE G. BACKLUND, Upsala.

INHALT:

1. Einleitung . . . . . Seite 31
2. Die absolute Zeitskala . . . . . „ 36
3. Die Differentiationshypothese und die präkambrischen Gebirgsbildungen . . . . . „ 42
4. Die Rolle der Metasomatose und der Granitisation „ 50
5. Petrogenetische Anwendungen . . . . . „ 59
6. Die ältesten Orogene Fennoskandias . . . . „ 62
   1. Marealbiden . . . . . „ 63
   2. Norwegosamiden . . . . . „ 64
   3. Svekofenniden . . . . . „ 66
   4. Gothokareliden . . . . . „ 68
7. Die säkuläre Landhebung . . . . . „ 71
Schriftenverzeichnis . . . . . „ 73

1. Einleitung.

Der äußerste Nordwesten Europas wurde zu Ende des vorigen Jahrhunderts geologisch mit dem Namen Fennoskandia belegt (RAMSAY). Fennoskandia umfaßt somit geographisch die skandinavische Halbinsel, Finnland, Russisch Karelien und die Halbinsel Kola. Seine südlichen Grenzen sind meeresbedeckt, im Südosten verläuft die Scheidelinie zum sarmatischen Tafelland (Rußland), quer über die Karelische Landenge, durch die südlichen Teile der großen Binnenseen Ladoga und Onega und von dort nach Nordosten, zum südlichsten Zipfel des Weißen Meeres. Geologisch verhielt sich dieser Erdraum während und nach der quartären Vereisung einigermaßen einheitlich. In größerer Zeit-

perspektive gesehen sind jedoch innerhalb Fennoskandias zwei, wie man meinte, gänzlich verschiedene und ihrem Ursprunge nach ungleichwertige Anteile zu unterscheiden, nämlich: Die altpaläozoische Gebirgskette der „Kaledoniden", den Westen und Norden Norwegens, sowie seine zentralen Teile umfassend, nur geringfügig über die politische Grenze im Norden nach Schweden übergreifend und etwa einen Sechstel des Gesamtraumes einnehmend; sowie der ganze große, südliche und östliche Rest, der von dem präkambrischen Grundgebirge, dem „Urgebirge", aufgebaut wird. Im Folgenden wird dieser große Rest, die $^5/_6$ Fennoskandias, Gegenstand der Betrachtungen und Auseinandersetzungen sein. Diese Betrachtungen haben jedoch prinzipiell eine Reichweite, die weit über die Grenzen Fennoskandias hinausgeht, da d i e s e s Fennoskandia seit jeher als Vorbild und Musterbeispiel eines präkambrischen „Urgebirges", und somit eines ältesten Erdkrustenanteils überhaupt, angesehen wurde.

Die Andeutung einer einzigen Altersstellung des „Urgebirges" bringt es klar zum Bewußtsein, daß die Geologie zu großen Teilen eine historische Wissenschaft darstellt. Zur Datierung des kontinuierlichen Entwicklungsganges der Erdkruste, zur Fixierung örtlicher und weltweiter Katastrophen, zur Parallelisierung und zum Vergleich von Erdkrustenanteilen, heute oder ehemals von Ozeanen getrennt usw., benötigt sie eines zeitlichen Maßstabes. Bereits lange bevor die Evolutionslehre zum allgemeinen Durchbruch gelangt war, bediente sich die Geologie des Gehaltes an fossilen Organismen in den Sedimentgesteinen zur zeitlichen Zusamenstellung weit von einander entfernten geologischen Bildungen: Gleiche Fossilgemeinschaften gaben ein gleiches Alter an, während anders geartete Gemeinschaften, in sonst vergleichbarem Milieu, eine verschiedene Altersstellung andeuteten. Als dann die biologische Entwicklungslehre ihren Siegeszug durch die Welt vollzog, waren die Umrisse der geologischen Zeitskala sichergestellt. Ihre Aeren, Perioden, Epochen usw. waren nun keine mehr oder weniger willkürlichen Begriffe mehr, sondern wurden, bei allen geologischen Feld- und Laboratoriumsarbeiten, sowohl für wissenschaftliche, als auch für praktische Zwecke, zu einem festen Zeitmaß und Inventarium aufgebaut. Regionale Unterbrechungen im allgemeinen geologischen Entwicklungsgang der Erdkruste, oder ihre vollständige areale Umorientie-

rung, wurden zur Kennzeichnung und Abgrenzung der gröberen, größeren Zeiteinheiten (Aeren, Perioden) benutzt, da sie ja mehr oder weniger radikal in den jeweiligen organischen Bestand und seine Entwicklung eingreifen mußten, während die Detailzusammensetzung des biologischen Inhalts und ihre minder kontinuierlichen Entwicklungsspuren die kleineren, fortlaufenden Teilstriche der Zeitskala angeben. So lange bestimmbare Spuren von organischen Resten innerhalb der Sedimente der verschiedenen Anteile der Erdkruste anzutreffen sind, kann eine gemeinsame und einheitliche Zeitskala streng angewandt werden. Liegt jedoch die Bildungszeit einer geologischen Einheit zeitlich so weit zurück, daß die organischen Reste infolge der Mannigfaltigkeit der Umwandlungsvorgänge oder aus anderen Gründen nicht bestimmbar sind, und legen die „organischen" Spuren, die konstatiert wurden, überhaupt kein gesichertes Zeugnis von organischem Ursprung ab, so schließt damit jäh und unmotiviert die geologisch-biologische Zeitskala ab. Unmotiviert deshalb, weil die ältesten bestimmbaren Organismengemeinschaften eine derartige Mannigfaltigkeit von hochentwickelten Formen aufweisen, daß, gemäß den Prinzipien der Entwicklungslehre, für ihre Entstehung aus einem anfänglichen Urlebewesen, oder aus einer Gruppe desselben, ganz bedeutende Zeitspannen in Anspruch genommen werden müssen. Wie groß der Zeitraum ist, der v o r dem jetzigen Nullpunkt der geologisch-biologischen Zeitskala abgelaufen ist, und der die sog. präkambrischen Aeren umfaßt, kann nur angenähert eingeschätzt werden. Da die ältesten bekannten Fossilgemeinschaften formen- und mengenmäßig einen recht hohen Entwicklungsstand repräsentieren, kann mit recht großer Sicherheit angenommen werden, daß wenigstens ein doppelt so langer, eher aber ein dreifacher Zeitraum, vom Auftreten der ersten Lebewesen bis zum Erscheinen der „ersten" (= primordialen) unterkambrischen Faunen, wie von diesem Zeitpunkt bis zum heutigen Tag, d. h. der Zeit, die die ganze geologisch-biologische Skala umfaßt, verstrichen ist.

Diese kleine Begriffserklärung war notwendig, um die geologische Stellung des „Urgebirges" von Fennoskandia in die richtige Beleuchtung zu bringen. Sein präkambrischer Gebirgsgrund wird nämlich hie und da, über wenig ausgedehnte Flächen hin, von ungefalteten Sedimentresten bedeckt. Sie bildeten einst eine mehr oder weniger zusamenhängende Decke und enthalten die

älteste bekannte (unterkambrische) Fauna. Nach unten werden diese Sedimentreste vom „Urgebirge“ durch eine sehr große, tektonische und erosive Diskordanz getrennt. Der Diskordanzfläche entsprechen eine oder mehrere Einebnungsflächen, die zeitlich weit auseinander liegen mögen, räumlich aber verhältnismäßig nahe aneinander geschart sind. Der größte Teil des Gesteins unter dieser Diskordanzfläche ist hochkristallin, also prinzipiell fossilfrei. Auch innerhalb der sehr spärlich vertretenen, unverkennbaren Sedimente im „Urgebirge“ wurden keine bestimmbaren Fossilien angetroffen. Das alte Prinzip: „ohne Fossilien keine Stratigraphie, ohne Stratigraphie keine (konsequente) Tektonik und ohne Tektonik keine (regionale) Geologie“, müßte die hoffnungslose Stellung des Geologen diesem „Urgebirge“ gegenüber zur Genüge beleuchten.

Doch nichts wird so heiß gegessen, wie es gekocht wird. Beim Aufbau der geologisch-biologischen Zeitskala für kambrische und spätere Zeiträume wurden stillschweigend folgende Annahmen gemacht: Das Milieu, in dem die verschiedenen Floren und Faunen sich während des Verlaufs der Zeiten entwickelt haben, war mit dem heutigen voll vergleichbar, d. h. meteorologische Faktoren und Klima entwickelten sich im allgemeinen in derselben Folge wie in absehbarer Jetztzeit, Temperaturwechsel, Niederschläge u. dgl., traten in ungefähr analogem Rhythmus und regionaler Verteilung auf, endogene geologische Prozesse (Vulkanismus usw.) spielten sich jeweilig in analogen katastrophalen Auswirkungen wie in „modernen“ Zeiten ab. Diese Annahmen setzen voraus, daß eine wechselnde Verteilung von Wasser und Land das vorwaltende Prinzip auf der Erdoberfläche gewesen sei, daß die Zusamensetzung der Lufthülle gleichartig war und Ein- und Ausstrahlung von Wärme u. dgl. ähnliche Beträge und ähnlichen Verlauf hatten wie jetzt, und daß sie mit vergleichbaren charakteristischen Schwankungen und Perioden abgelaufen sind. Denn unter anderen und ganz abweichenden Verhältnissen wäre organisches Leben von der Frequenz und Zusammensetzung, wie es innerhalb aller geologisch datierbarer Zeitabschnitte auftritt, einfach undenkbar. All diese Voraussetzungen wurden dann als das Aktualitätsprinzip folgendermaßen zusammengefaßt: All die geologischen Prozesse, die gegenwärtig im Gange sind und umgestaltend in die äußeren Teile der Erdkruste eingreifen, waren auch während der langen Zeiten,

für welche die geologisch-biologische Zeitskala gilt, in voller Wirksamkeit.

Die Frage, ob das Aktualitätsprinzip auch für jene entfernten Zeiträume gilt, welche weiter zurückliegen als der Nullpunkt der genannten Skala, ist wiederholt erörtert worden. Jedoch da festgestellt wurde, daß der Uranfang des organischen Lebens nicht mit diesem Nullpunkt zusammenfallen kann, und da die organische Welt an dem genannten Zeitpunkt bereits eine sehr hohe Entwicklungsstufe aufweist, kann an diesem keine Grenze für dessen Gültigkeitsbereich gezogen werden. Diese Grenze muß so weit zurückgeschoben werden, wie organisches Leben überhaupt existierte. Und für dessen Existenz innerhalb aller Formationen und Abschnitte, die innerhalb der Erdkruste der Untersuchung zugänglich sind, sprechen folgende, sehr gewichtige Gründe, die besonders für Fennoskandia von Bedeutung sind:

1. Das Auftreten von Graphit in kristallisierter und amorpher (Graphitoid, z. T. auch Asphalt) Form innerhalb aller denkbaren Gesteinsvergesellschaftungen;

2. Die Gegenwart von Kalksteinen in den verschiedenartigsten geologischen Kombinationen und Positionen präkambrischer Altersstellungen;

3. Die Anhäufung von titanfreien Eisenerzen in intimster Verbindung mit wechselnden kristallinen Gesteinen, und einer Vorliebe der Anhäufung innerhalb typischer Streifen uralter Oberflächenbildungen, die meist als kieselsäurereiche Ergußgesteine („Leptite") gedeutet wurden, und

4. Die Ansammlung von Phosphatmineralien in vielfach ähnlicher Vergesellschaftung.

Alle diese vier Typen von Vergesellschaftungen sind charakteristisch für das fennoskandische „Urgebirge"; sie legen also Zeugnis ab von der Existenz organischen Lebens auch im ältesten Präkambrium und öffnen somit die Möglichkeit einer Ausdehnung des Aktualitätsprinzips auf die alten und „ältesten" Bildungen der Erdkruste. Daß die Tektonik dort in Analogie und in formaler Uebereinstimmung mit alpinem Geschehen verlief, wurde durch die bahnbrechenden Arbeiten WEGMANN's in Finnland bewiesen. Dagegen dürften Gesteinskombinationen, die sich etwa während des kurzen Zeitraums, für welchen das Aktualitätsprinzip nicht gilt, gebildet haben könnten, d. h. unmittelbar im Anschluß an die siderale Phase unseres Planeten bis zum Zeit-

punkt der Kondensation des Wassers aus der „Athmosphäre“, der Beobachtung und Untersuchung nicht mehr zugänglich sein. Sie müßten im Verlauf der stetig wiederkehrenden und wechselnden Perioden der Evolutionen und Revolutionen der Erdkruste ausgetilgt und vollständig umgeformt worden sein. Sie wurden unter wechselnden Formen in jeweils jüngere Perioden verfrachtet und in stetig jüngere Systeme einverleibt.

Die scheinbar sehr große Lücke zwischen den unterkambrischen Sedimenten und dem „Urgebirge“ Fennoskandias kann also nicht als ein radikaler Umbruch in der Art des Geschehens in der Erdkruste gedeutet werden, sondern muß aus positionsbestimmten Umwandlungsvorgängen, wie sie noch heute jeweils wirksam sind, hergeleitet werden.

2. Die absolute Zeitskala.

Die geologisch-biologische (paläontologische) Zeitskala ist relativ. Für die Beurteilung der absoluten Länge ihrer größeren oder kleineren Abschnitte existieren keine Anhaltspunkte. Sie gibt nur die Zeitfolge der einzelnen geologischen Formationen an, also ihr relatives Alter, jedoch sind Versuche, diese Altersabstufungen durch Jahreszahlen auszudrücken, bis jetzt ganz und gar illusorisch geblieben. Man spricht von geologischen Zeiträumen nicht nur im Sinne ihrer (unmeßbaren) Länge, sondern auch mit Rücksicht auf ihre unsichere Abgrenzung. Doch hat die feldgeologische Erfahrung bereits seit langem klar eingesehen, daß die gleichnamigen Abteilungen der Zeitskala, in absolutem Zeitmaß ausgedrückt, verschiedene Länge besitzen; sowohl kürzere, wie auch längere „Perioden“ sind dort vertreten. Außerdem sind die Paläontologen geneigt, den einzelnen Zeitmaßen und Zeitaltern bedeutende Länge zuzuschreiben, um genügenden Zeitraum für die organische Evolution zu gewinnen, während die Geologen, möglicherweise unter dem Einfluß der gegensätzlichen Bedeutung der Begriffe geologische Evolution—Revolution, zu ihrer Abkürzung geneigt sind.

Mehr oder weniger zufällige Abschnitte der Zeitskala hat man erfolgreich und genau ausmessen, sowie mittels der Jahreswarwen, innerhalb gewisser Sedimente, mit Jahreszahlen belegen können. Jedoch, da die Resultate dieser Messungen vereinzelt und freistehend blieben, haben sie wohl zum Verständnis der

absoluten Länge gewisser geologischer Zeiträume beigetragen, sonst aber der geologischen Zeitskala als Ganzes kaum genützt, weil sie, mit Ausnahme von Warwen- und anderen Messungen innerhalb der quartären, spät- und postglazialen Ablagerungen Fennoskandias (DE GEER's exakte „Geochronologie" der letzten 15 000 Jahre), nicht an die Jetztzeit geknüpft werden konnten.

Andere Bestimmungen des „Alters der Erde", der „Meere" usw., sind in diesem Zusammenhange von geringerem Interesse, da sie nicht über den Nullpunkt der relativen Zeitskala hinaus, also in die für Fennoskandia wichtigen Zeiträume, verlängert werden können und außerdem mit zahlreichen, wenig übersichtlichen Fehlerquellen zu laborieren haben. Von einer gewissen Bedeutung sind jedoch die Berechnungen der postkambrischen Zeiträume aus den gemessenen Sedimentmächtigkeiten der geologischen Formationen innerhalb der relativen Zeitskala (1931), soweit sie durch absolute Zeitbestimmungen, mittels anders gearteter und unabhängiger Methoden durchgeführt, nachgeprüft werden können. Denn dadurch wird eine absolute Zeitskala geschaffen, welche die relative ersetzen kann und von der aus die Möglichkeit vorliegt, die geologischen Zeiträume jenseits des Nullpunktes der relativen Skala zu erfassen und zugleich, mit Anleitung der Erfahrungen an dieser, die Anwendung des Aktualitätsprinzips auf fennoskandische geologische Probleme auszudehnen.

Die absolute Zeitskala wurde geschaffen mittelst der quantitativen Untersuchung der Endzerfallsprodukte (Pb, He) der radioaktiven Elemente (U, Th, Ac) innerhalb von Mineralen, deren Bildung gleich alt, wie die der umschließenden Gesteine ist. Die Blei- und die Heliummethoden ergänzen sich gegenseitig in vorteilhafter und vielseitiger Weise: die Bleimethode gibt Maximumalter, die Heliummethode Minimumalter an; die Bleimethode findet ihre Anwendung hauptsächlich an grobkörnigen, kieselsäurereichen (pegmatitischen) Pneumatolytgesteinen; die Heliummethode kann mit Vorteil an feinkörnigen, basischen Magmagesteinen angewandt werden. Die erstere liefert einigermaßen übereinstimmende Zahlen für Eruptivgesteine, jedoch zu hohe für Sedimente; die letztere verhältnismäßig genaue Zahlen für gewisse Sedimente, jedoch zu niedrige Zahlen für Eruptivgesteine usw. Außerdem kann für die beiden Methoden in gewissen Fäl-

len die Gegenkontrolle an demselben Gestein ausgeführt werden, und zwar mit recht gutem gegenseitigen Resultat. Von entscheidender Bedeutung, zum Vorteil der Zuverlässigkeit dieser absoluten Skala, ist es, daß ihre Bestimmungen, angewandt auf größere oder kleinere Einheiten der alten, relativen Skala, und konsequent ausgeführt mittels der Blei- und Heliummethoden, teils übereinstimmende Alterszahlen gegeben, teils ihre Ordnungsfolge bestätigt haben, und zwar auch in Übereinstimmung mit den vermuteten Intervallen, die von altersher als für die relative Skala geltend angesehen wurden. In Fällen, wo Abweichungen oder Gegensätzlichkeiten vermerkt wurden, zwischen radioaktiven Altersbestimmungen von gewissen Gesteinsgruppen einerseits, ihrer Alterseinschätzung gemäß der relativen Skala andererseits, hat eine kritische feldgeologische Revision stets die ersteren bestätigen können (z. B. die Eruptivgesteine des Oslogebietes, die Alkaligesteine mit Begleitsedimenten von Umptek-Lujavr-Urt auf der Kolahalbinsel, fossilfreie mesozoische Sedimente von Transkaukasien usw.). Die Absolutbestimmungen verdienen also volles Vertrauen (vgl. Tab. 1), besonders da ihre Zahlen diejenige absolute Skala bestätigen, die auf der Basis der letzten, internationalen, kritischen Beurteilungen und Messungen der Gesamtmächtigkeiten von fossilführenden und mit ihnen vergleichbaren Sedimenten durchgeführt wurde (vgl. Tab. 2).

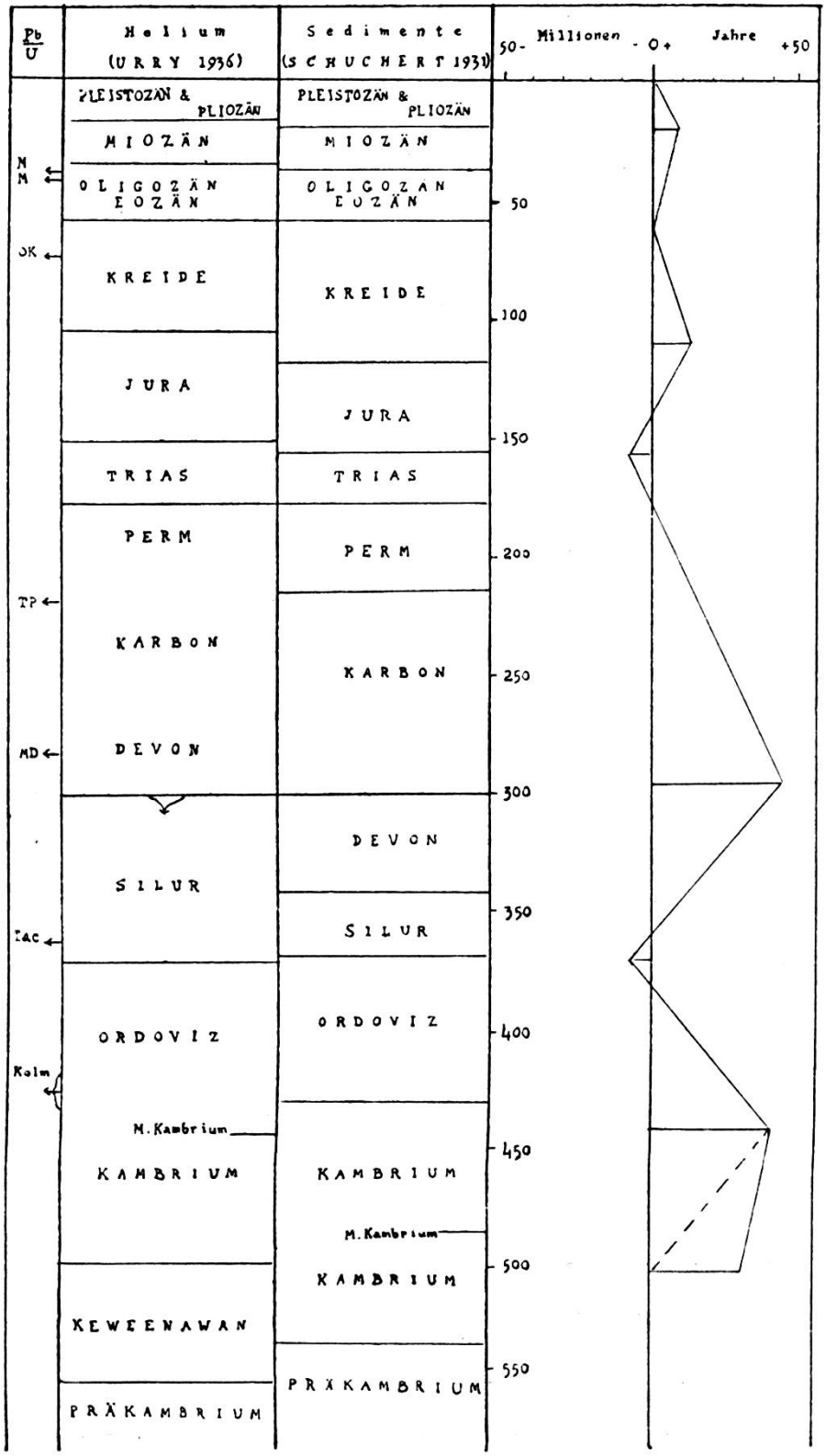
Der Nullpunkt der relativen Zeitskala liegt beiläufig bei 550 Millionen Jahren der absoluten (vgl. Tab. 1). Nach einer vorhin (S. 33) angegebenen Einschätzung müßte die organische Entwicklung präkambrischer Zeiten wenigstens 1500 Millionen Jahre umfassen. Die Altersbestimmungen, die außerhalb der relativen Zeitskala fallen, und ausgeführt wurden innerhalb eines Grundgebirges, das von graphitführenden Schichten aufgebaut ist und Kalksteine sowie titanfreie Eisenerze usw. enthält, das also mit dem fennoskandischen „Urgebirge“ voll vergleichbar ist, sollten also Jahreszahlen angeben, die von der Gegenwart aus weiter als 550 Millionen Jahre rückwärts in die Vergangenheit reichen.

Minimumlänge der geologischen Perioden (nach BARREL), Pb-Methode

	Länge	v. heute
	Mill. Jahre	
Quartär / Pleistozän	1	1
Pliozän	6	7
Miozän	12	19
Oligozän	16	35
Eozän	20	55
Känozoikum	55	
Obere Kreide	40	95
Untere Kreide	25	120
Jura	35	155
Trias	35	190
Mesozoikum	135	
Perm	25	215
Oberkarbon	35	250
Unterkarbon	50	300
Devon	50	350
Silur	40	390
Ordoviz	90	480
Kambrium	70	550
Paläozoikum	360	

Tab. 1

Die relative Zeitskala in absoluten Zahlen ausgedrückt.



Tab. 2

Vergleich zwischen der absoluten postkambrischen Zeitskala und der Schätzung der Formationslängen mittels Sedimentmächtigkeiten. Der Vertikalmaßstab rechts gibt Zeitlängen von heute an gerechnet. Markierungen am Rande links zeigen einige fundamentale Pb-Bestimmungen (M = Miozän, OK = Obere Kreide, TP = Perm-Trias-Grenze, MD = Mitteldevon, Tac = Tacconian, Kolm = Unterordoviz). Die ± Zahlen des Horizontalmaßstabes rechts und die Zickzacklinie darunter gibt das Maß der Unsicherheit der Grenzziehung zwischen den Formationen laut der Heliummethode (nach LANE).

Jedoch muß für eine Zeitskala im Präkambrium das Prinzip der Aufteilung ein anderes sein, als für die postkambrische Zeit. Nicht nur deshalb, weil in so entfernten Zeiten sogar die einzelnen, größeren Abteilungen einer bedeutenden perspektivischen Verkürzung anheimfallen müssen, sondern auch deshalb, weil die eigentliche Unterlage dieser Einteilung — starke und durchgreifende Veränderungen innerhalb fossiler Floren und Faunen — wegen des totalen Mangels an Fossilien vollständig fehlt. Auch größere Diskordanzen (Bodenkonglomerate u. dgl.) können vollständig getarnt und, wenn überhaupt erkennbar, von lokalen („intraformationalen") Diskonformitäten schwer unterscheidbar sein; ihre Rolle und Bedeutung wird dadurch stark reduziert.

Die orogenen Bewegungen, die Revolutionsperioden, grenzen Abschnitte größeren Maßes und stark regional betonter Prägung von einander ab. Innerhalb der relativen Zeitskala sind sie dreifach vertreten als die sog. alpinen, variskischen und kaledonischen Orogene. Ein Vergleich mit der absoluten Zeitskala zeigt, daß sie mit einem Zeitintervall von etwa 200 Mill. Jahren kulminieren (vgl. Tab. 1). Ob nun eine Extrapolation rückwärts in der Zeit zulässig ist für noch ältere Orogene, lediglich auf Grund dieser drei konstatierten Wiederholungen und ihrer Gleichartigkeit in regionaler Beziehung, dürfte ernstlichen Zweifeln unterliegen. Jedenfalls erscheint auch in diesem Fall eine weitgehende Ausnutzung des Aktualitätsprinzips besonders verlockend als Arbeitsmethode. Ein derartiger Versuch kann ja immerhin vermittelst einer absoluten Altersbestimmung innerhalb des fraglichen Orogens kontrolliert werden.

Eine Gebirgsfaltung oder orogene Bewegung gibt sich innerhalb der Erdkruste durch vollständige Ummöblierung vorbefindlicher Einheiten kund: ursprüngliche Oberflächenbildungen werden in große Tiefen versenkt; Bildungen, die sonst den großen Tiefen angehören, wandern in höhere Regionen hinauf. Gleichzeitig scheinen die isothermalen Flächen höherer Temperaturen in die höheren Stockwerke der Tagesoberfläche hinaufgewandert zu sein und haben dort Veränderungen und Elementwanderungen von größerem Ausmaß, als Folge der gesteigerten Temperaturen innerhalb gewisser, regional und über größere Areale hin gleichförmig streichenden Gesteinsanordnungen, ausgelöst. Jede Gebirgsfaltung entwickelt ein für sie charakteristi-

sches Generalstreichen innerhalb verhältnismäßig engumgrenzter Gebiete. Da die Gesteine, welche die älteren Gebirgsketten in formaler Beziehung aufbauen, nunmehr bis auf die Anteile, die der tiefsten Absenkung und somit den höchsten Temperaturen ausgesetzt wurden, wegerodiert sind, so wurden hiermit die radioaktiven Zerfallsprodukte aus diesen Gesteinen vollständig wegdestilliert. Und damit konnten ihre Mutterelemente, welche gleichzeitig angereichert wurden, von neuem die gleichmäßige Anhäufung der zeitbestimmenden Zerfallsprodukte anbahnen. Ist die Gebirgsfaltung in mehrfachen Phasen, mit wiederholten Temperatursteigerungen und Umgruppierungen von Oberflächenbildungen (abwärts) und primären Grundstoffen (aufwärts) vor sich gegangen, so können die radioaktiven Zeitbestimmungen eine Anzahl verschiedener Alterszahlen ergeben, die alle innerhalb des Rahmens der 200 Mill. fallen müssen, die die Erfahrung und eine Extrapolation des Aktualitätsprinzips als die Altersdifferenz zwischen den Kulminationen zweier Orogene angibt. Diese können also im Felde von einander geschieden werden auf Grund abweichender Generalstreichrichtungen (sowie einer Anzahl anderer, lokaler Unterschiede), im Laboratorium aber durch absolute Altersbestimmungen, die innerhalb bestimmter Zeitintervalle fallen müssen. Sofern ein älteres Orogen nicht durch jüngere Revolutionsbewegungen umgeformt ist, besteht somit die Möglichkeit, sowohl die absolute, wie auch die relative Zeitskala weit jenseits des Kambriums ins Präkambrium auszudehnen, nicht nur in der Form von absoluten, freistehenden Zahlen, sondern auch als erdgeschichtliche Abschnitte. Gleichartige Bildungen innerhalb verschiedener Orogene dürfen dabei nicht gleichgestellt oder verglichen werden; sie gehören verschiedenen Abteilungen der relativen Skala und verschiedenen Zeiträumen der Erdgeschichte an, obwohl sie gleichartige Bildungen innerhalb analoger Milieus darstellen können.

3. Die Differentiationshypothese und die präkambrischen Gebirgsbildungen.

Schon zeitig, im Jahre 1893, wurde die Ansicht ausgesprochen (HÖGBOM), daß wahrscheinlich mehrere „Gebirgsbildungsepochen“ innerhalb des fennoskandischen Urgebirges sich abgespielt haben müßten.

Zu Beginn dieses Jahrhunderts formulierte RAMSAY den Begriff der „Svekofenniden", repräsentiert durch eine abgetragene Gebirgskette, die älter sei, als der umgebende präkambrische Gebirgsgrund im mittleren Finnland und in Karelien. Der Altersbegriff wurde späterhin noch weiter vertieft, als die Zone der karelidischen Gebirgsketten Schritt für Schritt, als ein selbständiges, jüngeres präkambrisches Orogen definiert wurde.

Absolute Altersbestimmungen von nicht weniger als 11 Lokalitäten liegen aus Fennoskandia vor; von diesen gehören 8 dem präkambrischen „Urgebirge" an, während 3 sich auf postkambrische Bildungen beziehen. Für einige der präkambrischen Lokalitäten liegen gegen fünfzig Kontrollbestimmungen vor, für andere ist die Zahl bedeutend geringer, jedoch immerhin noch beachtenswert. Fünf Lokalitäten gehören dem östlichen Fennoskandia an, nur 3 dem westlichen Teil; von den letzteren ist eine in Schweden und zwei sind in Norwegen gelegen. Die absoluten Zahlen für diese Bestimungen bewegen sich zwischen 1500 und 600 Millionen Jahren, somit innerhalb eines Zeitintervalls, das, vom Gesichtspunkt des Aktualitätsprinzips aus gesehen, nicht weniger als 5 verschiedene „Gebirgsbildungsepochen" umfassen könnte. Mit anderen Worten: Man könnte sich vorstellen, daß Fennoskandia aus Resten von 5 aufeinanderfolgenden Orogenen aufgebaut sei. Diese Möglichkeit braucht den tatsächlichen Verhältnissen nicht zu entsprechen, da nicht jedes Orogen innerhalb des begrenzten fennoskandischen Areals in Erscheinung treten muß oder kann.. Von der alpinen Orogenese z. B. können innerhalb von Fennoskandia keine sicheren, regionalen Manifestationen nachgewiesen werden. Eine gute Übersicht und ein sicherer Blick für fennoskandische „Urgebirgsgeologie" ist unzweifelhaft notwendig, um die gegebenen Zahlen folgerichtig deuten zu können. Deutungsversuche von außen her müssen in den meisten Fällen als wenig zufriedenstellend bezeichnet werden, weil ihnen unvollständige Kenntnis dieses „Urgebirges" und seines Forschungsganges zu Grunde liegen.

Die extreme, einseitige Anwendung der vielseitig entwickelten Differentiationshypothese bei der Deutung des fennoskandischen kristallinen „Urgebirges" hat in mancher Hinsicht die Forschung in Sackgassen geführt. Für alle Gesteine, für die nicht unmittelbar, oder ohne radikale und einseitige Annahmen, chemisch eine Angliederung an, oder eine Herkunft aus bekannten sedimentä-

ren Gebilden durchgeführt, bzw. nachgewiesen werden konnte, haben Anhänger dieser Hypothese eine schematische Entstehungsweise herauskonstruiert oder „feldbeobachtet". Ausgehend von glühend flüssigen Magmamassen von sehr hohen Temperaturen und in sehr großen Tiefen, sollten alle Gesteine des „Urgebirges" durch Kristallisations- und Gravitationsausfällung entstanden sein; die damit verbundenen Ausscheidungen und Differentiationen wurden nach chemischen Gesichtspunkten herauskonstruiert.

Abgesehen von vielen und ständig wachsenden Schwierigkeiten bei der Gegenüberstellung dieser physikalisch-chemischen Thesen und experimentellen Untersuchungen einerseits und den feldgeologischen und laboratoriumsmäßigen Feststellungen des petrographischen Gesteinsbestandes andererseits, führt eine folgerichtig durchgeführte Verwendung dieser stark erweiterten Differentiationshypothese unwiderruflich zu folgenden Konsequenzen:

1. Da alle Gesteine des subjotnischen (präalgonkischen) Urgebirges strukturell, texturell, mineralogisch, chemisch und der Korngröße nach miteinander durch stetige und ungebrochene Übergänge verbunden sind, können ihre gegenseitigen Altersdifferenzen nicht größer sein, als es diejenigen der Mineralkomponenten aus einem gemeinsamen Urmagma wären.

2. Da Tiefengesteine und Oberflächengesteine, sogar die als Tuffe bezeichneten, in ungebrochenem Verband Seite an Seite angetroffen werden, diese aber ebenfalls mit einander durch Übergänge verbunden sind, und somit auf hohem Niveau innerhalb der Erdkruste oder sogar an ihrer Tagesoberfläche sich gebildet haben müssen, können bei ihrer Entstehung und Bildung keine Verhältnisse existiert haben, wie sie das Aktualitätsprinzip in bezug auf Temperatur, Druck usw. fordert (vergl. S. 34).

3. Die nächstliegende Folgerung aus 1. und 2. führt dazu, daß sich das „Urgebirge" als primäre Erstarrungskruste, anschließend an den gestirnhaften Zustand der Erde, gebildet haben müßte. Diese Bildungsepoche hätte, im Vergleich zu den späteren, postkambrischen Entwicklungszeiträumen der Erde, nach verschiedenen Annahmen namhafter Autoritäten, nur einen sehr kurzen Zeitraum umfaßt.

4. Die oben ziemlich sicher als z. T. organogen bezeichneten Sedimentgesteine, sowie die Quarzite, Konglomerate und Phyl-

lite, sind durch allseitige Uebergänge mit typischen „Magmagesteinen“ verbunden. Eine strenge Auslegung müßte für diese ebenfalls einen „magmatischen“ (Differentiations-) Ursprung fordern.

Eine konsequente Anwendung der erweiterten Differentiationshypothese, nach den oben angedeuteten Richtlinien, ist nur einmal in der fennoskandischen Geologie durchgeführt worden. Sie hat von vielen Seiten ein mitleidiges Lächeln hervorgerufen. Jedoch ist von der kritisierenden Partei kein Versuch gemacht worden, den Finger auf den wunden Punkt zu setzen, oder einen gangbaren Ausweg aus dieser gefährlichen Sackgasse zu zeigen. Von anderer Seite wurde ein Kompromiß vorgeschlagen, nämlich: daß Kalksteine, Ti-freie Eisenerze, graphitführende Gesteine und Phosphatanhäufungen, innerhalb des „Urgebirges“, durch pneumatolytische und hydrothermale Prozesse (in unmittelbarem Anschluß an die Entstehung der „eumagmatischen“ Gesteine) gebildet worden wären, und daß die als unzweifelhaft sedimentär bezeichneten Gesteine während irgend einer Pause im Verlauf des allgemeinen Erstarungsprozesses entstanden sein müßten. Dies führt zu noch größeren Gegensätzen zwischen Theorie und Praxis. Die Bildungen der ersten Gruppe fordern nach dem Vorschlag des Kompromisses:

1. Daß ein beträchtlicher Zeitintervall zwischen der Bildung der „magmatogenen“ (Urgranite, Gneise) und der als Ergußgesteine betrachteten Gesteine verflossen sein muß.

2. Daß die Ergußgesteine sich auf den Hochgebieten der damaligen Landschaft gebildet hätten. Damit besäßen sie aber die geringste Möglichkeit, erhalten zu bleiben, da die Abtragung, die ja auf den Hochgebieten beginnt, diese Gesteine zuerst ergriffen hätte.

Die unzweifelhaft sedimentären Gesteine müßten gemäß den gleichen Überlegungen noch jünger und in anderen Räumen abgelagert worden sein, da sie durch kräftige Anzeichen aktualistischer Bildungsbedingungen charakterisiert sind.

Die regionale geologische Felduntersuchung zeigt jedoch durchgehend, daß beide Gruppen von Gesteinsgliedern, also Kalksteine, Eisenerze, graphitführende und phosphathaltige Gesteine, sowie andere erkennbare Sedimente, immer bedeutend älter als die umgebenden „eumagmatischen“ Gesteine erscheinen, und daß sie trotzdem in innigem Zusamenhang miteinander auf-

treten. Sie können also nicht aus einer kontinuierlichen Entwicklungsreihe der sie nunmehr umgebenden, meistens deutlich jüngeren Erstarrungsgesteine hergeleitet werden. Eine derartige Voraussetzung müßte durch die absoluten Altersbestimmungen bestätigt werden, die Gesteinsreihen müßten ungefähr übereinstimmende Alterszahlen zeigen. Bisher ausgeführte Untersuchungen haben gezeigt, daß das nicht der Fall ist. Die primäre Unterlage, auf welcher allenfalls die genannten sedimentären Gesteinsglieder abgelagert sein sollten, fehlt; auch die Unterlage der „magmatischen" Effusivgesteine ist meistens nicht zu finden. All dies mahnt zur Vorsicht bei der Anwendung einer allzu weitausgebauten Differentiationshypothese, wenn man den Ursprung und die Struktur des fennoskandischen „Urgebirges" zu deuten versucht.

Vor allem zeigen die vorhandenen absoluten Altersbestimmungen, daß die vorhin angeführten Überlegungen nicht richtig sein können, und daß eine so ausgedehnte Anwendung der Differentiationshypothese nicht zu einem folgerichtigen Verständnis der Bildungsphasen des „Urgebirges" führen kann. Die tektonischen Gesichtspunkte der älteren Entwicklungsgeschichte der Erdkruste gehen dabei ganz verloren. TÖRNEBOHM's gute Ansätze in dieser Richtung müßten ganz gestrichen werden. Der Hauptanteil der texturellen Züge im „Urgebirge" müßte auf das Konto von nahezu unberechenbaren Zufälligkeiten geschrieben werden, und die Spuren der „Differentialbewegungen" müßten als freistehende, ubiquitäre Erscheinungen, ohne eine Möglichkeit, den Kausalzusammenhang weder nach vorwärts noch nach rückwärts anknüpfen zu können, gedeutet werden. Irgendwelche Erfahrungen von Untersuchungen innerhalb jüngerer Orogene könnten in diesem Falle nicht angewandt und jeder Gedanke an eine Anwendung des Aktualitätsprinzips müßte aufgegeben werden. Die biologische Entwicklungslehre würde dadurch den größten Zeitraum (nämlich vom Kambrium an rückwärts) verlieren. Sie braucht ihn aber zur Erklärung der hohen Entwicklung der kambrischen Lebewesen.

Nicht nur diese negativen Kennzeichen machen eine zu weit gehende Anwendung der Differentiationshypothese innerhalb des präkambrischen (subjotnischen) „Urgebirges" schwierig; eine regionale und konsequente Untersuchung von Gesteinsstrukturen und -texturen und ihrer räumlichen Anordnung in-

nerhalb der verschiedenen Teile des Urgebirges zeigt nicht nur Analogien, sondern auch Identitäten mit den Bauformen der jüngeren Orogene. Faltenbündel gleicher Ausdehnung, ähnlichen Formenreichtums und vergleichbarer Intensität, wie sie in jüngeren Orogenen die Regel sind, konnten im Detail innerhalb der Urgebirgsprofile herauspräpariert werden; sie zeigen, daß das Faltungsvermögen der betreffenden Gesteine von Horizont zu Horizont gewechselt haben muß, genau so wie in Sedimentprofilen. Der fundamentale Unterschied besteht darin, daß innerhalb der strukturellen Deformationsgesteine des „Urgebirges" eine chemisch-mineralogische Kombination dominiert, welche als „magmatisch" bezeichnet zu werden pflegt, wogegen in den postkambrischen Orogenen dieselbe Mineralkombination meistens eine mengenmäßig, untergeordnete Rolle spielt. Hierzu kommt noch ein Unterschied; innerhalb des „Urgebirges" verschwinden die angedeuteten Strukturen und Texturen zonenweise ganz oder bis auf „spukhafte Reste" (Nebulite); sie werden von gleichkörnigen granitischen, homogenstruierten („Magma"-) Gesteinen auf längeren oder kürzeren Strecken ausgetilgt, um jenseits dieser Abbrüche in demselben ausgeprägten Deformationsgewand und mit derselben regionalen Orientierung wieder aufzutreten; innerhalb jüngerer Orogene sind derartige Unterbrechungen infolge der untergeordneten Rolle der granitischen „Magma"-Gesteinen seltener. Im „Urgebirge" haben die homogenen, oft sehr großen Areale eines „Tiefenmagmas" und seiner Kontakte die Aufmerksamkeit des Forschers gefesselt. Die deformierten Gesteine dagegen wurden als störende Flächen in den „magmatischen" Untersuchungsgebieten aufgefaßt. In den jüngeren Orogenen werden die kristallinen (granitischen) „Magma"-Gesteine mit einer gewissen Enttäuschung als ernstliche Hindernisse bei der Deutung der Detailtektonik der Gebirgskette betrachtet. In beiden Fällen sind diese hinderlichen Abbrüche mit weit geringerem Forschungsinteresse gewürdigt worden, und entgingen deshalb ziemlich lange detaillierten Regionaluntersuchungen und konsequenten Deutungen. Tektonische Rekonstruktionen innerhalb jüngerer Gebirgsketten haben öfters mittelst Interpolationen, ohne Rücksicht auf die interfolierenden, „störenden" Granitmassive, gearbeitet, während innerhalb des Urgebirges Differentiationen postuliert worden sind, die keine Rücksicht auf die sporadisch auftretenden

„störenden“, älteren Deformationsareale nahmen. Wenn den „störenden“ Anteilen in entsprechenden Zeitabschnitten und Gebirgsanteilen ebenfalls größere Aufmerksamkeit geschenkt worden wäre, und dabei die räumlichen Bedingungen ihres Auftretens innerhalb relativ älterer (für postkambrische Orogene) oder jüngerer (für das Präkambrium) Umgebungen beachtet worden wären, so wäre manche Polemik ungeschrieben geblieben. Die Differentiationshypothese wäre in die Stellung zurückverwiesen worden, die ihr bei der Deutung möglicher präkambrischer Orogene zukommt.

Als Arbeitshypothese kann also die Existenz von Orogenen, die älter sind als das Kambrium, aufgestellt werden: Orogene, die sich in voller Analogie mit jüngeren Orogenen entwickelten. In den Geosynklinalen entstanden mächtige, normale, sedimentäre (sandigtonig-kalkige) Beckenfüllungen (Evolution); dann folgte das Revolutionsstadium mit seinem geosynklinalen Vulkanismus, Plutonismus und den gröberen, rhythmisch-oszillatorischen Revolutionssedimenten (z. T. Flysch). Nach der Kulmination und der Heraushebung setzte der Abbau ein (z. T. Molasse) mit entsprechend charakteristischen Vulkaniten.

Ob man sich dieser Arbeitshypothese anschließt oder nicht, so können doch aus der Mengenverteilung der „Magmagesteine“ und der echten Sedimente innerhalb des „Urgebirges“, verglichen mit jüngeren Orogenen und ihren Abschnitten, folgende Schlußfolgerungen gezogen werden:

1. Die Temperatur war bei der Bildung der „Urgebirgs“-Formationen höher, und die Flächen gleicher, höherer Temperaturen befanden sich näher der damaligen Tagesoberfläche als in jüngeren Orogenen.

2. Die älteren und ältesten Bildungen waren durch einen stark dominierenden, ja beinahe alleinherrschenden, granitischen Vulkanismus und Plutonismus ausgezeichnet. In den jüngeren Orogenen nahm der Vulkanismus und Plutonismus ab und war hauptsächlich basaltisch (basisch); der granitische dagegen trat stark zurück.

Inwieweit die letztgenannte Schlußfolgerung einer kritischen, allseitigen Prüfung Stand hält, ist schwierig zu entscheiden, da bei den flüchtigen Versuchen, Vergleiche anzustellen, ganz verschiedenwertige Anteile, sowohl in vertikaler, als auch in hori-

zontaler Erstreckung innerhalb älterer und jüngerer Orogene miteinander verglichen worden sind.

Man hat die in der zweiten Schlußfolgerung berührten Verhältnisse als eine nicht umkehrbar verlaufende Entwicklung, gemäß der konsequenten Differentiationshypothese, deuten wollen, da nur gravitative, „basische" Reste von dem „Urmagma" bis auf späte Zeiten übriggeblieben sind; während die leichteren, Si-reichen Fraktionen schon „zu Beginn der Zeiten" an die Tagesoberfläche gestiegen sind und „Erstarrungskrusten", sowie Intrusionen und Extrusionen innerhalb der frühesten und ältesten Deformationsstreifen an der Erdoberfläche gebildet haben. Mit anderen Worten: die angeführten Verhältnisse sollten einen Ausdruck für die allgemeine Abkühlung der Erde zum „Kältetod" hin sein, welcher bereits angedeutet werden sollte durch die in der ersten Schlußfolgerung berührten Verschiedenheiten des früheren und jetzigen Temperaturzustandes der Erdoberfläche. Man vergißt dabei ganz, daß die „granitischen" Gesteine der älteren und ältesten Zeitabschnitte für ihre Bildung weit niedrigere Temperaturen aufweisen, daß also die Temperaturen damals an vergleichbaren Punkten der Erdoberfläche, niedriger gewesen sein können (in den Eruptionszentren), als jetzt. Die Schlußfolgerung 2. läßt ganz außer acht, daß alle basischen Gesteine innerhalb des Urgebirges, welche auf Kartenblättern und in den dazu gehörigen Beschreibungen „Amphibolite", „Dioritschiefer", „Schiefergabbro", „Syenite", „Serpentingesteine", teilweise auch „Gabbro" und „Diorite" benannt werden, trotz der geringeren, chemischen Differenzen mit den „Basalten" der modernen Zeiten, sowohl geologisch, gemäß ihrer Position und Ausbreitung, als auch in ihrem Chemismus verglichen werden müssen. Der größte Teil der Basalte der ältesten Zeiten ist durch seine Lage der intensiven Verwitterung und Denudation zum Opfer gefallen. Nur ein geringer Bruchteil derselben (hauptsächlich Geosynklinalbasalte und Zuflußspalten-Füllungen) dürfte erhalten geblieben sein. Davon zeugen die in relativ großer Menge und Ausdehnung innerhalb des älteren und ältesten „Urgebirges" auftretenden reichlichen Kalksteine und Ti-freien Eisenerze; ohne eisen- und kalkreiche magmatische Basalte, die als Ausgangsmaterial bei der radikalen Verwitterung dienten, könnten sie nicht in verhältnismäßig kurzer Zeit und in so großen und dicht aufeinander folgenden Mengen gebildet worden sein, wie

es gerade der Fall ist in Teilen des älteren „Urgebirges". Denn gegen den direkten „magmatischen" Ursprung der Erze, auf dem Wege extremer, gravitativer Differentiation, sprechen sowohl das chemische und mineralogische, als auch das strukturelle Milieu, in welchem sie auftreten; ebenso das Temperaturmilieu für die Bildung der Begleitgesteine, ihrer Assoziationen und ihrer graduellen Umwandlungen oder Metamorphose.

4. Die Rolle der Metasomatose und der Granitisation.

Im vorstehenden Kapitel ist der Versuch gemacht worden, die Inkongruenzen aufzudecken, zu denen eine allzu konsequente Verwendung einer extrem verallgemeinernden Differentiationshypothese führt. Außerdem und vor allem war beabsichtigt, nachzuweisen, daß eine derartige Verwendung alle Möglichkeiten gefährdet, eine folgerichtige und planmäßige Arbeit innerhalb des „Urgebirges" (und mit diesem vergleichbaren Grundgebirges) unter Anwendung der an modernem Gebirgsgrund erworbenen Erfahrungen durchzuführen, wie auch Erfahrungen auszubeuten betreffs dessen, was heute auf und innerhalb der Erdkruste geschieht. Die Schwierigkeit der Parallelisierungen mit jüngeren Formationen bestand im veränderten Gewand, in welchem die sie zusammensetzenden Gesteine auftreten; auch wenn ein Glied z. B. mineralogisch und der Korngröße nach zur Gruppe der Effusivgesteine gerechnet werden sollte, so ist seine Struktur und Textur öfters eine andere, als die, welche an rezenten Laven und ihren Tuffen beobachtet wird. Die Gesteine haben alle eine oder mehrere Metamorphosen durchgemacht. Die Schwierigkeit besteht dann darin, zu bestimmen, was für Gesteine sie ursprünglich waren, das will sagen, unter welchen Bedingungen sie gebildet wurden und welche Lage sie primär einnahmen. Die Metamorphose hat oft eine derartige genaue Bestimmung verhindert.

Am Anfang operierte man mit der Fiktion einer „normalen Metamorphose": Die primären Gesteine sollten unter thermalem Einfluß („Kontaktmetamorphose") oder unter der Einwirkung von Deformationszuständen oder Bewegungen („regionale Metamorphose") umkristallisiert worden sein, „pseudomorphosiert" (wie man sich bei der Umwandlung von Mineralen auszudrücken pflegt), ohne daß eine wesentliche, chemische Veränderung im

Gestein als solchem stattgefunden hat. Später ließ man „flüchtige Bestandteile“, hauptsächlich H_2O, als Katalysatoren mitwirken, spürte diese in dem sporadisch etwas höheren Wassergehalt der metamorphen Gesteine auf, oder fixierte gasförmige Elemente (Cl, F, etc.) an gewissen Mineral-Stellvertretern. Bei dieser Ausdehnung des Normalbegriffs für Metamorphose begann man bei einer allseitigeren, hauptsächlich chemischen Kenntnis des Metamorphosenobjektes immer weniger Aehnlichkeiten zwischen den rekonstruierten Ausgangsgesteinen (nach Abzug aller metamorphen Züge, dem Edukt) und den modernen Gesteinen innerhalb jüngerer Formationen zu finden. Allerdings sind die Variationsdetails der Sedimentgesteine chemisch bei weitem noch nicht vollständig erkannt, aber die Abweichungen innerhalb der rekonstruierten Gesteine waren von so grundlegender Natur, daß sie nicht auf dieser mangelnden Kenntnis beruhen konnten. Es zeigte sich dagegen, daß auch die Metamorphose gradiert werden mußte; bei höheren Graden wurde das Gestein von reichlichen, von außen kommenden Zuschüssen von Elementen oder Oxydgruppen gekennzeichnet, welche zuerst als Zuschüsse von (mehr oder weniger leichtflüchtigen) Fluoriden, Chloriden erklärt wurden. Aber da häufig kein oder ein höchst geringer, und auf jeden Fall kein abnorm hoher Gehalt an Cl, F. usw. innerhalb des metamorphen Gesteins oder in dessen unmittelbarer Umgebung nachgewiesen werden konnte, war diese Hypothese kaum länger haltbar. Nicht nur Alkalien, sondern auch alkalische Erdarten, Eisen- und Aluminiumoxyde, SiO_2 und nahezu die meisten allgemeinen, gesteinsbildenden Grundstoffe konnten auf irgendeine Art in wechselnden Mengen in das metamorphe Gestein hinein versetzt werden, während andere Elemente auswandern konnten, aus dem ursprünglichen Verband durch Auslösungsprozesse verdrängt wurden. Dieser Vorgang entspricht ungefähr dem von amerikanischen Verfassern geschaffenen Begriff der „Teleskopierung“ der Erzlagerstätten. Dieser Typus von Gesteinsveränderungen wurde nun Metasomatose genannt; man begann von Alkalimetasomatose, Magnesiametasomatose, Eisenmetasomatose, Verkieselung usw. zu sprechen, ohne daß die Art derselben, oder die Form für diese „Wanderung“ näher definiert, oder dem ursprünglichen Wohnsitz der „Wanderelemente“ intensiver nachgeforscht wurde. Der Begriff umfaßt also eine sekundäre Veränderung mineralogischer und chemischer Natur inner-

halb eines Gesteins, das bereits durch „normale“, petrogenetische Prozesse eine definitive Form und Zusammensetzung erhalten hat, ohne daß das fragliche Gestein sich in irgend einem Punkt seiner Entwicklung in schmelzflüssigem oder überhaupt in einem andern, als ganz überwiegend festem Zustand befunden hätte.

Die Metasomatose postuliert mehrere bemerkenswerte Verhältnisse. Einerseits läßt sie die Einwanderung von neuen Grundstoffen auf solche Art geschehen, daß ursprüngliche Strukturen und Texturen im Ausgangsgestein in der Hauptsache erhalten bleiben; der Ersatz oder Zuschuß findet sozusagen „Jon für Jon“ statt, da es sich um Gitterreaktionen innerhalb der gesteinsbildenden Minerale handelt. Nur eine gewisse Verschiebung der ursprünglichen Korngröße gibt sich kund, während oft gerade der feinste Wechsel in den Details der Gesteine erhalten, und sogar in einer einzigen gröberen Kristallisation eingeschlossen werden kann. Andererseits geschieht die metasomatische Umwandlung in der Regel unter Beibehaltung des ursprünglichen Gesteinsvolumens, dadurch, daß höchstens in gewissen Fällen das Metasomatosenprodukt kompakter wird; nur in gewissen Grenzfällen erfolgt eine Volumenzunahme und dann meistens diskontinuierlich, durch Vermittlung von neugebildeten, geringsten und stetig wachsenden Mengen „eutektoider“ Schmelzlösungen (=„Porenmagma“). Dabei werden ursprüngliche Strukturen und Texturen, möglicherweise bis auf einige geringe Reste von meist mikroskopischen Relikten und Anordnungen, ausgelöscht: das Gestein wird mobilisiert, teilweise oder ganz aus dem Zusamenhang gelöst, es wird dann eruptiv. Schließlich ist zu bemerken, daß keine Spuren von Zuflußkanälen oder ähnlichen Wegen für die Einwanderung der Metasomatosensubstanz entdeckt werden können; nicht einmal über die Richtung, der möglichen Zufuhr können die detailliertesten Untersuchungen Aufschluß geben. Aus gewissen, neugebildeten Mineralkombinationen, und aus einigen wenigen strukturellen Analogien mit „normalen“ Kontaktgesteinen, zieht man gerne und mit Recht den Schluß, daß die Metasomatose in Gebieten höherer Wärme, doch weit unterhalb der individuellen Schmelztemperaturen der Mineralkomponenten und des Gesteins überhaupt, stattgefunden hat.

Unter den texturellen Eigenheiten, welche Gesteine von metasomatischem Gepräge zu kennzeichnen pflegen, erweckte

vor allem die Parallelanordnung von Mineralkomponenten innerhalb von scheibenförmigen oder flachlinsenförmigen, miteinander abwechselnden Einheiten Interesse. Diese Parallelanordnung gibt sich teils geometrisch zu erkennen, teils tritt sie auch am rhythmisch stofflichen Wechsel der verschiedenen Mineralkomponenten hervor. Die genetische Deutung dieser Texturen wird leider dadurch erschwert, daß sowohl die Parallelanordnug, wie auch der rhythmische Wechsel oft die kompliziertesten Bewegungsmuster aufweisen, sowohl im Plane, als auch im Profil. Sie sind von der gleichen Art, wie sie in normalen Sedimenten, infolge von tektonischen Faltungen, als Auslösung von mechanischen Deformationen zu entstehen pflegen, ohne daß aber in den verhältnismäßig grobkörnigen Mineralassoziationen irgendwelche mechanische Deformationsspuren, welche mit der Entstehung des „Musters" zusammenhängen, nachgewiesen werden können. Auch können sie nicht im Zusammenhang mit dem Differentiationsverlauf oder mit „Siedebewegungen" stehen, die gelegentlich bei der schrittweisen Entgasung eines Magmas an retrograden Siedepunkten auftreten; dazu sind diese „Muster" in all ihrer Mannigfaltigkeit zu regelmäßig und zu stark an die größeren Züge der regionalen Geologie angeschlossen. Sie können nur Ab- und Umbildungen älterer, präexistierender Texturen innerhalb der Gesteine, welche später eine Metasomatose durchgemacht haben, repräsentieren. Sie sind Abbildungen von Diskontinuitätsflächen. Sie entstanden einesteils durch rhythmischen Sedimentationswechsel, andererseits durch tektonische Gleitbewegungen innerhalb fester Gesteine (Verschieferung). Die Diskontinuitätsflächen, welche die primäre oder erworbene Anisotropie der ursprünglichen Gesteine markieren, repräsentieren also die ältesten Struktureigentümlichkeiten der Gesteine. Diese wurden tektonisch deformiert, gefaltet und durch Verschieferung verschärft. Schließlich hat die gesteigerte Mineralisierung und die Metasomatose die chemischen und mechanischen Potentialdifferenzen reduziert, die Korngrößenanordnungen verschoben und damit den vorausgehenden Verlauf der Geschehnisse verschleiert.

Auch wenn die Paralleltextur und der scheibenförmige, rhythmische Wechsel von Mineralkomponenten innerhalb weiter Räume ganz ungestört zu sein scheint, in Profilen und im Horizontalschnitt geradlinig verläuft und gemäß seinem chemisch-

mineralogischen Charakter nicht mit dem Resultat eines aktuellen, gesteinsbildenden Prozesses zu vergleichen ist, so können sie noch weniger als Folge eines Differentiationsprozesses erklärt werden; denn die bekannten Bildungsbedingungen der in den Texturen vertretenen Minerale sind meistens so verschiedenartig, daß sehr komplexe und wechselnde Zustände von Temperatur, Druck und Kristallisation für dieselben postuliert werden müssen. Diese Zustände können in das breitere, geologische Milieu der Gesteine nicht eingepaßt werden, müssen aber als Ergebnis der Felduntersuchungen für die Bildung der Gesteinsgruppen in ihrer Gesamtheit angenommen werden. Die oft besprochene und beschriebene „Bänderung" in basischen, gabbroiden Gesteinen ist während mehrerer Jahrzehnte Gegenstand intensiver Untersuchungen und weitgehender Spekulationen gewesen. Diese mündeten in den meisten Fällen in einer Erklärung aus, welche alle anderen Bildungsmöglichkeiten außer der differentiationsmagmatischen ausschloß. Es sollte sich also in diesen Fällen um Konvergenzerscheinungen zu dem vorhergenannten rhythmischen Wechsel handeln. Aber abgesehen davon, daß die in Frage kommenden Mineralkomponenten ebenfalls ganz außerhalb eines magmatischen Milieus gebildet werden können, bei bedeutend niedrigeren Temperaturen, als sie für die letztgenannten (vergl. „Kontaktgesteine") gefordert werden, so darf man nicht vergessen, daß die Kristallisationsdifferentiation ein Prozeß ist, der von einer radikalen Verminderung der Energiebeträge innerhalb des Systemes flüssig-kristallin begleitet wird. In Anbetracht der relativ oberflächennahen Lage der „gebänderten" Gesteine im geologischen Profil, und unter Berücksichtigung ihrer glutflüssigen Platznahme, mit den Kennzeichen eines magmatischen Tiefengesteins (ganz an der Grenze der Kristallisationstemperaturen), muß ihre liquide Beweglichkeit, und ihr Vermögen zu wiederholter Differentiation, auf Null reduziert worden sein. Und zwar lange bevor eine mengenmäßig einigermaßen ansehnliche „Bänderung" entstanden sein kann. Dasselbe gilt für Kugelgranite, Kugeldiorite etc., deren Bildung erst kürzlich eine sinngemäße Erklärung gefunden hat. Die Konvergenzerscheinung im Falle basischer „Bänderung" kann scheinbar sein; auch hier kann eine näherliegende Möglichkeit wahrgenommen werden. Die „Bänderung" dürfte das Produkt einer Metasomatose repräsentieren, die sich in ihrer Vollendung einem

Aussehen nähert, das sonst durch Magmagesteine repräsentiert wird. In einem verschieferten, amphibolitisch umgewandelten (bereits die „Amphibolitisierung“ repräsentiert einen komplexen Typus der Metasomatose!), ursprünglichen Basalt, vollzieht sich eine selektive Stoffwanderung längs den Verschieferungsebenen; die ursprüngliche Position des Basaltes als Oberflächengestein innerhalb der geosynklinalen Sedimentationsbecken verschiebt sich während der Auswirkung der Revolutionsbewegungen in der Richtung der optimalen Tiefenstufe der Metasomatose, bzw. zu deren Temperaturen und ihren Amphibolitisierungen. Die Bänderung (Mg-Verdrängung durch Ca-Jonen) ist eine Verschärfung dieses Prozesses. Hiermit steht möglicherweise die deutliche, chemische Differenz, zwischen dem Basalt einerseits und dem tiefenäquivalenten Gabbro andrerseits, im Zusammenhang.

Unter Metasomatose werden somit die chemisch-mineralogischen, häufig eigenartigen und radikalen Veränderungen innerhalb vorher fertig gebildeter Gesteine verstanden, deren Ursprung nicht unmittelbar aus angrenzenden, größeren oder kleineren Massen von Intrusivgesteinen hergeleitet werden kann; diese können oft vollständig fehlen. Und damit wird gewöhnlich der Unterschied zwischen der Metamorphose und der Metasomatose gekennzeichnet. Zu guter Letzt ergibt sich diese Grenzziehung aus der Auffassung einer Fernwirkung („Metasomatose“) und einer Nahwirkung („Metamorphose“), sowie einer (Granit-) Intrusion, als primärer Ursprungsquelle für die beiden Typen der Umwandlung. Schon eine oberflächliche Berechnung („Bilanz“) der mengenmäßigen Rolle der Metasomatose, die größer ist, als die der Metamorphose, zeigt dagegen, daß diese Auffassung fehlerhaft sein muß.

Bevor ein Versuch gemacht werden soll, noch eingehender in dieses schwer zu bearbeitende, von vielen vorgefaßten Meinungen und sogenannten „direkten Feldbeobachtungen“ überladene Gebiet geologischer Forschung einzudringen, muß eine seit langem gefestigte Felderfahrung mit einigen Worten berührt werden. Es ist die beständige und kritische, überall angetroffene Gesteinsfolge, von oben nach unten:

Phyllit (gelegentlich mit Chloritschiefern)

Glimmerschiefer (mit Albitamphiboliten = Grünsteinen)

Gneis (mit Plagioklasamphiboliten = Metagabbro z. T.).

Sie unterteuft (wie vielfach angenommen, in konkordantem Verbande) die ältesten, an Ort und Stelle bekannten, fossilführenden Ablagerungen und läßt keine andere Altersbestimmung zu, als daß die einzelnen Glieder derselben etappenweise (in der oben genannten Ordnung) „allgemein“ älter sind, und doch prinzipiell ganz andere Bildungsbedingungen und ein abweichendes Bildungsmilieu repräsentieren. Sie wurden einfach als die „ältesten“ bekannten Bildungen innerhalb der Erdkruste bezeichnet. Gegen eine derartige verallgemeinerte Deutung dieser Felderfahrung, welche sich noch immer in der allgemeinen Nomenklatur zu erkennen gibt („terrains primitifs“ = „Grundgebirge“ = „Urberg“), kämpft noch heutzutage die sinngemäße Felduntersuchung in fast allen Ländern und Erdteilen. Und immer noch verweist man auf das fennoskandische Grundgebirge (=„Urgebirge“), innerhalb welchem die letzten beiden der oben angeführten Gesteinsglieder in sehr dominierender Weise repräsentiert sind, die Phyllite jedoch nur in geringerem Ausmaße. Hierbei ist der Unterschied, welcher sich in der großen Diskordanz nach oben hin, zu den durchaus ältesten, bekannten, fossilführenden Ablagerungen in Fenoskandia kundgibt, überhaupt wenig beachtet worden, im Vergleich mit der scheinbaren oder wirklichen Konkordanz innerhalb des vergleichbaren Zeitabschnitts an den klassischen Lokalitäten, ein Unterschied, der bedeutende Altersdifferenzen der angedeuteten Scheidefläche angibt. Dieser älteren, allgemeinen Deutung stehen zwei Feldbeobachtungen gegenüber; eine ist regionaler, und die andere lokaler Natur:

1. Innerhalb jüngerer, paläontologisch datierbarer Orogene kann die vorgenannte Gesteinsfolge konkordant mit jüngeren (tektonisierten) Sedimenten fast jeglicher Altersstellung gefunden werden. Sie ist durch die Konkordanz ihrem Alter nach an die jüngeren Gesteine gebunden; die oberen Glieder des „Kristallins“ können sogar erkennbare Fossilien enthalten.

2. Unter dem Gneis treten Granite auf, also unzweifelhafte „Magmagesteine“. Sie sind „intrusiv“, also jünger als der Gneis und weisen in der Nähe des Kontaktes mit diesem häufig so viele mineralogische, chemische und strukturelle Züge gemeinsam auf, daß es in vielen Fällen, besonders innerhalb des fennoskandischen Grundgebirges, schwer hält, eine Grenze zwischen beiden zu ziehen. — Im Zusammenhang mit dieser Schwierigkeit wurden

die beschreibenden Bezeichnungen „Gneisgranit“, „Granitgneis“, „flaseriger, streifiger Granit“ usw. geschaffen, wodurch die Scheidelinien zwischen (sedimentogenen) „Paragneisen“ und („magmatischen“) „Orthogneisen“ sowohl im Feld, wie auch in der Schrift vollständig verwischt wurden.

Eine Reihe von Abhandlungen mit dem bezeichnenden allgemeinen Titel „über Granit und Gneis“ von Seiten gediegener Forscher liefern den Beweis für diese Unsicherheit und zeigen, daß diese Fragen jahrzehntelang das Interesse fesselten. Noch während der letzten Jahre mußte ein leitender französischer Forscher (RAGUIN) eingestehen, daß die Entstehung des Granits immer noch in größtes Dunkel gehüllt sei, während ein ebenso hervoragender, deutscher Gelehrter und Petrogenetiker (ERDMANNSDÖRFFER) annahm, daß es sich in der Frage des Komplexes Granit-Gneis um „Konvergenzerscheinungen“ handeln dürfte. Denn aus den beiden zitierten Feldbeobachtungen geht mit voller Deutlichkeit hervor, daß die angeführte kristalline Gesteinsfolge metamorph sein muß. Da der dem Gneis am nächsten und unter ihm auftretende Granit deutlich jüngeren Datums sein muß, und der Kontaktoberfläche zwischen ihnen außerdem meist relativ schwache (endo- und exokontakt-) metamorphe Züge aufgeprägt wurden, kann jedoch die charakteristische Mineralkombination des Gneises (gleichwie der Glimmerschiefer und der Phyllite im Hangenden) nicht als Resultat einer vom Granit ausgehenden Metamorphose entstanden sein. Der Gneis (sowie dessen kristallines Hangendes) muß das Produkt einer Metasomatose mit unbekannter Quelle sein, welche die ursprünglichen Sedimente in chemischer und struktureller Hinsicht bis zu einem granitischen Habitus (= Granitgneis) homogenisiert hat: Die Sedimente und die anderen mit ihnen vergesellschafteten Gesteine sind granitisiert worden (SEDERHOLM); die Granitisierung muß, mit Rücksicht auf das dominierende Auftreten des (Granit-) Gneises innerhalb zentraler Teile aller Orogene (vgl. die „zentrale kristalline Achse“ älterer Geologengenerationen), irgendeine Art Endresultat aller metasomatischen Einwirkung darstellen, somit ein bestimmtes, geophysikalisch-chemisches Gleichgewicht repräsentieren. Die Vorsilbe „geo“ soll in diesem Zusammenhang angeben, daß das Gleichgewicht sich in

einer gewissen Tiefe innerhalb der Erdkruste einstellt; die Tiefe kann in diesem Falle nicht einfach und allein durch Belastungsdruck von so und so vielen Atmosphären und durch eine entsprechende Anzahl von Wärmegraden substituiert werden, sondern sie soll auch den Ausdruck für den Grad atomarer oder anderer Permeabilität des fraglichen Niveaus geben (Anpassung für „elementäre geochemische Migration"). Die Deutungsversuche der Feldbeobachtungen führen somit zu einer bemerkenswerten Übereinstimmung: das Endprodukt einer vollständigen Metasomatose (der Gneis), für welchen der Ursprungsort des Zuschußmaterials unbekannt ist, zeigt eine sehr weitgehende petrographische Ähnlichkeit, ja nahezu eine vollständige Identität mit einem „Magmagestein", dessen Genesis in Dunkel gehüllt ist (Granit). Diese Unsicherheit in der Definition und in der Trennung zweier ganz verschiedener Gesteinsgruppen, verursacht möglicherweise die zunehmende Abneigung, bei der geologischen Detailkartierung die Grenzen zwischen Granit und Gneis zu markieren, und die Tendenz, dem letzteren überhaupt immer engere Feldgrenzen zu geben.

Da die Endprodukte der Metasomatose im äußersten Falle beweglicher und infolgedessen in höhere Niveaus, z. B. in fertiggebildete Gneise, (vergl. S. 52) intrudiert werden können, so ist das Endprodukt nur ein granitisches oder nahverwandtes Gestein. Der Konvergenzfall Gneis-Granit erhält in diesem Fall eine andere Bedeutung: er repräsentiert eine konsequente und einheitliche Entwicklung infolge der metasomatischen Elementwanderung im Gebiete höherer Temperatur. Die notwendigen Temperaturen werden durch Absenkung in die großen Tiefen erreicht, im Zusammenhang mit den Revolutionsbewegungen der Geosynklinalen (der permanenten Sedimentationsbecken), allenfalls unter Mitwirkung der Wärmeentwicklung, welche durch den Zerfall der lokal angehäuften radioaktiven Elemente geleistet wird, sowie des Wärmetransports der Geosynklinalbasalte. Der Ursprung des Granits aus hypothetischen, permanenten oder temporären „Magmabecken", von welchen man annahm, daß sie bedeutende Räume in verschiedenen Tiefen innerhalb der Erdkruste einnähmen, muß in diesem Falle, gelinde gesagt, als zweifelhaft bezeichnet werden; denn exakte geophysikalische Forschung hat keine Existenz von derartigen Becken nachweisen können. Der Granit ist nicht „magmatisch" in althergebrachter Bedeutung.

Als „magmatisch“ können bislang im eigentlichen Sinne nur die Basalte bezeichnet werden. Durch ihre, im Großen gesehen, einheitliche Zusammensetzung, ihr chemisches Gegensatzverhältnis zu allen bekannten Sedimenten und ihren bedeutenden Wärmeüberschuß bei der Platznahme, auch an der Erdoberfläche, bilden sie eine Gruppe für sich. Ihr ursprünglicher Wohnsitz sind die großen, subkrustalen Tiefen; aber auch sie werden durch die Umgebung beeinflußt auf ihrem weiten Wege an die Erdoberfläche, denn im Detail zeigen die Basalte mannigfache mineralogische und chemische Varianten. Für diese Gruppe besitzen die Differentiationsprozesse, so wie sie bei kombinierten Laboratoriums- und Felduntersuchungen formuliert wurden, volle Gültigkeit; dies verhindert jedoch nicht, daß auch die Basalte im Lauf der Zeiten Opfer von metasomatischer Umwandlung werden können.

5. Petrogenetische Anwendungen.

Die Endprodukte der oben angedeuteten Prozesse — der Metasomatose und der Granitisation — repräsentieren eine periodische Erneuerung der äußeren Teile der Erdkruste, eine Rekonstruktion der Energiesumme, die durch Verwitterung und biologische Ausbeutungen während geologischen Zeitläufen zerstreut und vergeben wurde, und die nun aufs neue fixiert und in gesammelter Form, sozusagen in Bausch und Bogen, „epeirogenetisch“ an die Erdoberfläche getrieben wird, um erneuter Verwitterung und neu einsetzender Ausbeutung ausgesetzt zu werden: Die Periode umfaßt wenigstens den Zeitabstand zwischen zwei Orogenesen, also im besten Fall etwa 200 Mill. Jahre, oder ein ganzes Vielfaches davon.

Neben dieser wichtigen petrogenetischen und sozusagen geogonischen Erkenntnis öffnen sich beinahe noch wichtigere geologische Gesichtspunkte. Während der fortlaufenden metasomatischen Umwandlungen innerhalb der Geosynklinale bleibt der Grundriß und der Sinn der allgemeinen tektonischen Beanspruchung (Kompressionen + Dilatationen) im großen und ganzen unverändert. Mit Hilfe der Leitung durch die sichtbaren Spuren, ist es möglich regional zu bestimmen, ob es sich um ein und denselben geologisch-tektonischen Großzyklus (Orogen) handelt. Aber keine Metasomatose, auch keine Granitisation ist so voll-

ständig, nirgends deren Einfluß regional so intensiv, daß nicht größere oder kleinere Striche oder Gebiete der völligen Umwandlung entgangen wären, daß nicht gewisse Gesteinsglieder noch Anfangsstadien dieser Umwandlung aufweisen. Man kann deshalb nicht nur das Ausgangsgestein als irgend ein normales Sediment identifizieren, sondern auch beurteilen, in welchen Vergesellschaftungen und in welchem Milieu es sich ursprünglich befand; man kann auf der Basis von Palimpsesten (SEDERHOLM), mit größerer oder geringerer Sicherheit, die Situation vor der Metasomatose und vor der Granitisierung rekonstruieren. Typomorphe Sedimente, oft monomineralisch (Quarzite, Kalksteine, Eisenerze u. a.) und deshalb wenig und spät umgewandelt, wie auch typische Umwandlungsprodukte, erlauben die Bestimmung, in welchem Teil oder Niveau der früheren Geosynklinale man sich nunmehr befindet (S. 48). In der normalen, öfters einförmigen, unteren (Quarzite → „Granulite"), mittleren (Tonsedimente → Granat- [Cordierit-] Gneise, „Eisengneise"), oder oberen (kalkige Sedimente → Oligoklasgranite) Abteilung der Evolutionsserie; oder in den rasch wechselnden und mächtig wechsellagernden, oft „zyklothemen" Gesteinsgruppen der Revolutionsserie (der Flyschabteilungen z. T.), die in ausgeprägtem Gegensatz zur vorhergehenden Serie oft örtlich oder regional an nutzbaren Minerallagerstätten und (Eisen-) Erzen angereichert sind; oder endlich in den mächtigen Detritussedimenten der Detraktionsserien (den „Molasseabteilungen", Arkosensandsteine → Kaligranite), die ebenfalls teilweise, jedoch sporadisch, an nutzbaren Lagerstätten angereichert sind.

Eine derartige Orientierung ist von großem, praktischem Nutzen: eine erfolgreiche Erzprospektion ist innerhalb der Gruppe 2 zu erwarten, möglicherweise auch in der Gruppe 3, während in der Gruppe 1 die Aussichten sehr gering sind. Sie hat auch einen bedeutenden theoretischen Wert, z. B. dadurch, daß die unscharf umrissene und unsichere Hypothese von „metallogenetischen Epochen" (DE LAUNAY) in die richtige Beleuchtung gestellt wird: Epochen, während welchen eine „magmatische (granitische) Differentiation" durch reichliche Erzbildung (die variskische Orogenese) besonders ausgezeichnet war, sollten im Gegensatz zu anderen stehen, welche die Erze ganz vermissen lassen. Eine nähere Kontrolle zeigt, daß im Hinblick auf die

Lage ganz verschiedene Teile von Orogenen und deren Granitisationen miteinander verglichen worden sind. Sie ermöglicht es ebenfalls, die in unversöhnlichem Gegensatz stehenden, erzgenetischen Prinzipien auf denselben Nenner zu bringen. Es können dazu folgende Beispiele angeführt werden:

1. Die teils als sedimentogen, teils als magmatogen bezeichneten Eisenerze Mittelschwedens treten in vollständig analogem, kristallinem Milieu auf und gehören derselben „Flysch"-Abteilung an; b e i d e Gruppen dürften sedimentogen sein und die etwas verschiedenartigen Sedimentationsverhältnisse vor der Metasomatose und vor der Granitisation (vgl. moderne Zeiten) dürften die gelegentlichen Verschiedenheiten (z. B. des P-, Mn-Gehaltes) verursacht haben.

2. Die sedimentären, innerhalb des westlichen Sedimentgebietes auftretenden Eisenerze des mittleren Urals sind jungpaläozoisch, ebenso wie die im östlicheren Streifen innerhalb des Kristallins (Syenite, Granite) auftretenden „magmatogenen" Erze (Vyssokaja, Blagodatj). Es kann kaum bezweifelt werden, daß, während die variskische Metasomatose und Granitisation die östlicheren, ursprünglich zum selben Niveau gehörenden Sedimente nebst Erzen umwandelten, das westliche, randlich gelagerte Gebiet von dieser Umwandlung nicht erreicht wurde.

3. Die karbonatischen Erze der Ostalpen (Erzberg in Steiermark), die innerhalb genau datierbarer Sedimente liegen (Karbon, lokal auch Mesozoikum), werden als durch Metasomatose angereichert angesehen. Das vermutete „Muttermagma" (die Granodiorite und Gneise der Hohen Tauern) nimmt eine geeignete Altersstellung ein, weist aber keine Eisenerze als „Differentiationsprodukte" auf und kann in „Bilanz"-Hinsicht nicht für die Eisenerzbildung verantwortlich gemacht werden; es gehört einem anderen (Granitisations-) Niveau an.

Die 3 angeführten Beispiele weisen, jedes für sich, klar auf eine gleichartige Genese und konsequente Bildung hin, sie sprechen, ebenfalls jedes für sich, sowohl geologisch, als auch petrogenetisch, für einen verschiedenartigen Ursprung, somit auch für einen konvergenten Bildungsgang. Die Orientierung in der Synklinale, in der Metasomatose und in der Granitisation erleichtert die Deutung.

Die geologische Orientierung in den verschiedenen Phasen des „Urgebirges" wird andererseits erleichtert durch das Stu-

dium der arealen Verteilung der Schwerkraftanomalien und des Verlaufs ihrer Isolinien. Innerhalb des gleichen Orogens zeigen nämlich Areale, in denen Gesteine der Evolutionsphase zu Tage treten, die größten Schwerkraftüberschüsse (positive Anomalien); je tiefer die bloßgelegten Horizonte sind, desto höher werden die Zahlenwerte. Die „Flysch"-Areale der Revolutionsphasen sind im allgemeinen durch kleine absolute Zahlenwerte ausgezeichnet; sie sind teils positiv, teils negativ. Die „Molasse"-Areale der Detraktionsphasen zeigen hohe und höchste Negativwerte. All dies als Folge der geringsten, bzw. größten Mächtigkeiten der spezifisch leichten Sialkruste. Es ist auch anzunehmen, daß jedes Orogen für sich ein geschlossenes System von differenzierten Schwerkraftanomalien aufweist, indem die Evolutionsareale des ältesten Orogens überhaupt die absolut höchsten positiven Zahlen zeigen müßten, während die „Molasse"-Areale des jüngsten Orogens durch absolut höchste Negativzahlen ausgezeichnet sein sollten. Es liegen jedoch zur Kontrolle für diese Anahme, welche in gewissem Gegensatz zu der gewohnten Vorstellung eines stetigen und verhältnismäßig schnellen Kompensationsausgleichs im Laufe der Zeiten steht, allzu wenige Arealmessungen vor. Dagegen lassen gewisse Zahlenreihen die Annahme zu, daß in Grenzgebieten zwischen zwei Orogenen, in speziellen Fällen, wo „Überlagerungen" vorkommen, Reihen von relativen Negativwerten auftreten können.

Auch die areale Verteilung der magnetischen Anomalien, konsequent und richtig gedeutet in geologischer, petrologischer und mineralchemischer Hinsicht, kann wertvolle Aufschlüsse in der gleichen Richtung geben. Eine Diskussion derselben in diesem Zusammenhang würde jedoch zu allzu weitläufigen Einzelheiten führen.

6. Die ältesten Orogene Fennoskandias.

Die obigen Ausführungen, die die Form einer zusammenfassenden Übersicht über den Zusammenhang der neuen Problemstellungen der letzten Jahre, mit besonderer Berücksichtigung der speziellen petrogenetischen Probleme, angenommen haben, waren notwendig, um das Verständnis für die tatsachenbetonte Seite der Antwort auf diejenige Frage zu schaffen, welche im Titel dieser Uebersicht enthalten ist. Die Antwort kann

nun relativ kurz zusammengefaßt werden. Folgende orogene Strukturelemente können innerhalb Fennoskandias unterschieden werden:

1. Marealbiden. Die höchsten absoluten Alterszahlen in Fennoskandia beziehen sich auf 2 Lokalitäten im nordöstlichen (russischen) Karelien; sie geben das Alter eines pechblendeführenden Pegmatites, nach wiederholten Kontrollen und Reduktionen an, das zwischen 1580 und 1520 Millionen Jahren liegt und zwar mit ziemlich guter, gegenseitiger Übereinstimmung; eine weitere, geringe Reduktion der Ziffern kann möglicherweise vorausgesehen werden. Der Pegmatit tritt als jüngstes Glied in einem Gebirgsgrund von Plagioklasgraniten (Granodioriten) auf, deren Orientierung (Streichen) nordöstlich verläuft, ungefähr senkrecht zur Westküste des Weißen Meeres. Auf einer Strecke von 400 km, in der Luftlinie gemessen, von der NNW-Ecke bei Kantalax (Kandalakscha) bis zum Mündungsgebiet des Onega-Flusses im SSE, wird die Küste von dieser Gesteinsfolge sozusagen im Querprofil aufgebaut. Zahlreiche scheiben- und klumpenförmige, auch stark gefaltete Gabbro- und Amphibolitkörper, zum größten Teil älter als die Granitisierung, welche übrigens in mehreren Reprisen stattgefunden hat, liefern unter anderem Beweise von geosynklinalem basaltischem Vulkanismus. Die Deutung von Palimpsesten, welche an Al-Ueberschuß reiche Mineralkombinationen repräsentieren, sowie die relativ einförmigen Gesteinskombinationen, weisen auf eine mittlere und knapp obere Abteilung der vorgranitischen Evolutionsserien hin; Andeutungen von tieferen Niveaus („drusitische Granulite") sind sporadisch. Die Schwerkraftüberschüsse gehören zu den höchsten positiven Werten in Fennoskandia. Nur im SSE, zwischen Kemj und Soróka, und bei Térbostrov scheinen geringere Areale von eingefalteten Gesteinen, welche möglicherweise einer diskordanten „Flysch"-Abteilung angehört haben, erhalten zu sein. In Übereinstimmung mit der relativen Stellung des Gebirgsgrundes haben bisher ausgeführte, intensive Erzprospektierungen zu keinerlei positiven Ergebnissen geführt.

An der nördlichen Kante der Marealbiden macht sich eine jüngere Umstellung der Strukturen in EW und sogar WNW-Richtung bemerkbar. In der Richtung des Streichens repräsentieren die Marealbiden nur einen verhältnismäßig schmalen Küstenstrich von höchstens 120 km (bei 65° 45' N) Breite; er wird im

W von einem jüngeren System abgeschnitten: den Gebirgsketten von Onega-Karelien, mit einem anderen, kontrastreichen Relief und ganz neuen Gesteinskombinationen. Auch wenn weiter nach Westen, im Grenzstrich zwischen Finnland und Rußland, zwischen den morphologisch hervortretenden Gebirgsketten Onega-Kareliens und dem Finnischen Karelien, sowie in der Küstengegend zwischen Uleåborg und Kemi, der marealbidische Gebirgsgrund unter den jüngeren Faltungsstreifen auftauchen sollte, so ist er hier so sehr durch eine spätere Orogenese umgeformt worden, daß er kaum identifiziert und besonders ausgeschieden werden könnte.

2. Die Norwegosamiden. Im hohen Norden wird Fennoskandia an der Eismeerküste durch ein Gebiet abgerundet, das in der Hauptsache einheitliches, WNW-liches und NW-liches Streichen innerhalb des Gebirgsgrundes besitzt. Es umfaßt die Kola- (Same-) Halbinsel und das finnische Lappland mit dem Enareträsk als Zentrum, sowie das norwegische Südwaranger. Die Südgrenze verläuft in der westlichen Hälfte ziemlich scharf vom innersten Kantalaxfjord bis etwa zur Kreuzung von 68° N und 26° E, und von dort beinahe geradewegs nach N. Der Gesteinskomplex ist seiner Anlage nach jünger als die Marealbiden, aber älter als die weiter im Westen von Süden her hinzustoßenden karelischen Gebirgsbildungen. Eine absolute Altersbestimmung liegt für dieses Gebiet nicht vor, mit Ausnahme der Nephelingesteinsmassive im zentralen, bedeutend jüngeren Umptek-Lujavr-Urt, von welchen bereits RAMSAY vermutete, daß sie dem oberen Devon angehörten (vgl. Tab. 2 und S. 38), eine Datierung, die später mit absoluten Zahlen bekräftigt wurde (etwa 270 Millionen Jahre). Zu diesen jüngeren Gesteinsreihen gehören ebenfalls die späteren alkalischen Granitisierungen weiter im Osten, am mittleren Ponoj, sowie die Karbonatite, Melilithgesteine und Ijolithe der Turjahalbinsel, von Afrikanda und von Khabozero im Süden und von Gremiakha im NW, die z. T. als doppelt metasomatisch bezeichnet werden können. Vielleicht gehören hierher auch die Alakaligesteine von Kuusamo und Kuolajärvi. Für den älteren Gebirgsgrund, der sicherlich Teile eines sehr alten Orogens repräsentiert, sind zwei Altersstellungen möglich: Die Norwegosamiden können im Alter mit den Svekofenniden gleichgestellt werden (vgl. unten), mit deren Streichrichtung (WSW) sie ungefähr übereinstimmen und von

welchen sie ein nördliches Bruchstück darstellen könnten. Oder sie nehmen eine selbständige Altersstellung zwischen den Svekofenniden und Marealbiden ein, entsprechend einem Alter von 1200—1300 Millionen Jahren.

Obwohl die Svekofenniden in gewisser Ausdehnung abweichende Gesteinsverhältnisse aufweisen, ist dies allein nicht beweisend für die zweite Alternative; um aber eine allzu gepreßte Parallellisierung zu vermeiden, dürfte auf Grund der verschiedenen Streichrichtungen genügend Anlaß vorhanden sein, doch der letzteren Alternative den Vorrang zu geben.

Die westliche Hälfte dieser hiermit als selbständig angedeuteten Norwegosamiden, um einen Kern im Süden (bestehend aus den tiefsten Evolutionsgesteinen [„Granulitmassiv"], gegen Norden aus höheren [= Granatbiotitgneisgranite] und höchsten [Oligoklasgranite] Niveaus der Evolutionsserie) gruppiert, und einen Zipfel der abgesenkten Oszillationsgesteine (eisenerzführende Formationen Südwarangers) im Nordwesten beherbergend, ist mittelst einer breiten Flexur, die ungefähr parallel der finnisch-russischen Grenze verläuft, von der östlichen getrennt; die östliche Hälfte ist im Verhältnis zur westlichen einer bedeutenden Absenkung unterworfen worden. Die beiden Hälften sind außerdem gekippt worden, die westliche gegen Norden oder NNE, die östliche gegen Süden oder SSW, und zwar mit den größten Beträgen im Osten. In der östlichen Hälfte tritt der tiefste Gebirgsgrund im Norden und Nordosten in der Ausbildungsform der mittleren (nunmehr „Eisengneis"-artige Mikroklingranitgneise an der N-Küste) und oberen (Oligoklasgneisgranite S davon) Abteilungen der Evolutionsserie zutage. Das eisenerzführende Glied der Oszillationsserie wird weiter südlich in 3 Streifen bloßgelegt, die durch ungleichmäßige Einfaltung in die Unterlage kulissenartig angeordnet sind, angefangen mit der Tjagueåivtundra im NW, im S der Fischerhalbinsel, und abgeschlossen am N-Ende des Imandrasees. Die höhere Oszillationsserie folgt südlich und ostwärts in mehreren Wiederholungen innerhalb der Schieferformation der Keiwyserie (von N nach S), den basischen Vulkaniten und Dolomiten der Panatundra, und den leptitartigen Wechsellagerungen (mit Kalken und Amphiboliten) des südlichen Küstengebietes. Ob die diskordanten, flachgelageren und als jotnisch bezeichneten roten Quarzite an der Südküste, östlich der Turjahalbinsel, in der Eigenschaft von

Detraktions-(Molasse-)Bildungen die Abbauprodukte der Norwegosamiden oder eines späteren Orogens (vergl. unten) ausmachen, dürfte unsicher sein, dagegen gehören die diskordanten Kaligranite bei Turja im Süden, bei Araporjas und Litza im Norden (westlich des Kolafjordes) zu den granitisierten Detraktionsbildungen der Norwegosamiden. Diese zeigen also ziemlich vollständige Serien aller 3 Abteilungen der Hauptsedimentationen.

3. Die Svekofenniden. Zu diesem am frühesten aufgestellten „Urgebirgs"-Orogen gehört Süd-Finnland vom Ostufer des Ladoga an, und von dort das Gebiet etwa südlich einer Linie, die über Nyslott—Tammerfors—Björneborg das südliche Bottenmeer überquert. In Schweden umfaßt es die Landschaften Uppland, südliches Gästrikland, S. Dalekarlien, Västmanland, Närke, Södermanland, Östergötland, sowie wahrscheinlich NE-Småland, denn die Grenzen können bis auf weiteres noch nicht mit Sicherheit fixiert werden. Das vorherrschende Streichen ist E-W, oder richtiger WSW, bis auf bogenförmige Abweichungen, bedingt durch regionale und lokale Tektonik („axiales Tauchen" und deuterische Blockfaltungen). Zu den Svekofenniden gehören wahrscheinlich auch Areale mit ungefähr dem gleichen Streichen, welche als isolierte Bruchstücke in einem jüngeren Gebirgsgrund, also „Zwischengebirge", ausmachen und deren Streichen infolgedessen teilweise umgestellt worden ist. Diese Areale sind:

1. Die Gegend um und SW von Arendal an der Westseite des Oslofjords („Bamle-Formationen" mit SW-Streichen);
2. je ein halbkreisförmiges Gebiet zu beiden Seiten von Nord-Quarken, mit etwas wechselndem (E-W) Streichen und stark verschleierter, jüngerer Granitisierung, sowie unsicherer Grenze gegen N und NW; möglicherweise auch
3. der östliche Teil von Blekinge, an der SE-Ecke Schwedens, mit E-W Streichen.

Die Altersbestimmungen stammen von 4 (Pegmatit-) Lokalitäten, nämlich von: 1. Arendal, SSW von Oslo, 1047 Millionen Jahre; 2. Ytterby (nach den letzten Untersuchungen nicht dem Stockholmsgranit angehörend), E von Stockholm, 1012 Millionen Jahre; 3. Varala, SE von Tammerfors, 1060 Millionen Jahre, sowie 4. Impilax, N-Ladoga, 1021 Millionen Jahre. Es offenbart sich in diesen Zahlen eine gute, gegenseitige Über-

einstimmung. An der letztgenannten Lokalität, am N-Ufer des Ladogasees, macht sich ein N-S-gerichtetes, jüngeres Streichen in wechselnder Ausdehnung und Intensität geltend, sodaß auch hier eine Grenzziehung gewisse Schwierigkeiten bereitet. Im übrigen ist zu bemerken, daß die Altersbestimmungen relativ gut und gleichmäßig im Hauptteil der Svekofenniden verteilt sind, wobei auch das „Zwischengebirge" vom Oslofjord repräsentiert ist. Die mittlere Abteilung (Granatgneise = Sörmlandsserie) der Evolutionsserie nimmt den größten Teil von Södermanland in Schweden ein, geringere Areale hiervon werden in SW-Finnland (Åbogegend) und in den Schären E und W von Helsingfors angetroffen („Kinzigitgneis" z. T.). Die obere Abteilung (Oligoklasgranite = „Upplandsserie") nimmt große Areale in Uppland ein (Uppsalagranit, Salagranit), in den Schären NW von Åbo und im östlichen und südlichen Orijärvigebiet über Kimito hinaus; die älteste Abteilung wird möglicherweise von der Quarzitkuppel bei Lahti repräsentiert. Die Oszillations-(„Flysch"-)Abteilung scheint in den beiden Hälften in verschiedenen Faziesausbildungen entwickelt zu sein, jeweils mit einer unteren und einer oberen Abteilung. Im Westen besteht die untere Abteilung aus „Leptiten" (in der Hauptsache aus kieselsäurereichen „Effusivgesteinen"), wechsellagernd mit metamorphen, deutlichen Sedimenten, und ist reich an oxydischen und sulfidischen Erzen („svionische" oder „Bergslagsserie"). Die obere ist ebendort reicher an Tonsedimenten („Saxå-Grythytte-Larsboserie") und erzarm oder erzfrei. Im Osten sind reichliche basische Vulkanite faziesbestimmend; die untere Abteilung mit deutlichen Anteilen, doch meist in untergeordneten Mengen, der „svionischen" Serie (ev. mit Erzen = „Orijärviserie"), und die obere mit dominierender basaltischer Zusammensetzung („Pellinge-Pernåserie"). Die Namen geben die ungefähre Verteilung der Oszillationsabteilungen der Sedimentbildungen an, doch kommt noch dazu, daß die „svionische" (oder ev. erzführende) Abteilung dieser Serie als konstantes stratigraphisches Niveau die verschiedenen Abteilungen (nördliches und östliches Uppland, verglichen mit dem zentralen und westlichen Södermanland) der Evolutionsserie krönen kann. Dies deutet auf (Sedimentations- oder Erosions-) Lücken in der ursprünglichen Schichtfolge hin.

In Norwegen scheint das svekofennidische „Zwischengebirge" ganz aus den Granitisations- und Metasomatosenprodukten der

Oszilationsabteilungen zu bestehen, während die Reliktblöcke im nördlichen und südlichen Schweden im Augenblick nicht näher stratigraphisch fixiert (wahrscheinlich „Flysch") werden können.

Die Gesteine der Detraktionsabteilung können im Tammerfors-Enklinge-Konglomerat in Finnland, möglicherweise im Graversforsgranit im südlichen Kolmården und im „Flysch"-Gebiet Östergötlands, sowie vielleicht in dem während eines späteren Orogenabschnitts als Randbildung umgebildeten und granitisierten Malmbäckskonglomerat identifiziert werden. Die Unsicherheit ist jedoch in diesem Falle groß.

Auch die Hauptmasse der Svekofenniden ist ähnlich wie die der Norwegosamiden der Quere nach deformiert worden. Die ansehnlichste Deformation ist eine scharfe Doppelflexur, nunmehr durch die Ålands Inseln und das Meer markiert. Sowohl am Ost-, als auch am Westrand tauchen die Bildungen der Oszillationsabteilungen steil nach W, bzw. nach E ab. Der Sockel von Åland unter dem Rapakivi repräsentiert möglicherweise eine sekundäre Heraushebung. Weitere Einzelheiten können in diesem Zusammenhang nicht berührt werden.

4. Die Gothokareliden. Als Kareliden wurde frühzeitig der reliefbetonte Gebirgskomplex des finnischen Karelien mit überwiegend N- oder NNW-Streichen bezeichnet, das also ungefähr senkrecht zu der Hauptrichtung des vorausgegangenen Orogens orientiert ist. Als Gothiden und als ein Orogen für sich wurde das westschwedische „Eisengneis"-Gebiet bezeichnet; auch dieses besitzt in der Hauptsache N-S-Streichen. Kann der Beweis erbracht werden, daß die „Gothiden" jünger sind als die Svekofenniden, so erübrigt es sich, entweder die „Gothiden" und Kareliden zu demselben Orogen zu rechnen, oder die „Gothiden" bei der algonkischen (präkaledonischen) Orogenese unterzubringen. Da die Kareliden s. str. und die „Gothiden", infolge verschiedenartiger Ausbildung der Gesteinskombinationen, verschiedene (Fazies-) Abteilungen der jeweiligen Geosynklinalen repräsentieren müssen, können sie nicht erfolgreich verglichen werden. Nur eine Gruppe von Altersbestimmungen an Granitpegmatiten im N-S-streichenden kristallinen Gebirgsgrund liegt vor, nämlich von Moß an der Ostseite des Oslofjords: mit 863, 864 und 825 Millionen Jahren. Der Granit, dem der Pegmatit angehört (Bohus-Haldengranit), ist jünger als die Strukturen in West-Schweden und im östlichen Norwegen (Näsodden); er ist

wahrscheinlich ein sehr später „Flysch"-Granit. Vom östlichen Rand der Kareliden (den Gebirgsketten Onega-Kareliens, welche die Westfront der Marealbiden abschneiden), gibt eine Altersbestimmung an Diabas innerhalb einer ungefalteten quarzitischen (Onega-) Sandsteinformation, der jünger ist als diese, und die ihrerseits die (jüngste?) Molasse der Kareliden repräsentiert, einige Leitlinien: es wurden 615 und 630 Millionen Jahre berechnet. Von beiden Seiten, im Osten und im Westen, wird somit die Möglichkeit der Manifestation einer algonkischen Gebirgsfaltung ausgeschlossen (sie müßte der Altersstellung von etwa 600 Millionen Jahren entsprechen), und zwingende Gründe sprechen dafür, daß eine einzige, gothokarelische Orogenese den größten Teil Fennoskandias deformiert hat, vom Jäderen in W bis östlich des Onegasees, von Schonen im Süden bis Lappland im Norden, doch ohne im gegenwärtigen Landbilde das Eismeer zu erreichen. Der Altersabstand von den Svekofenniden gibt ungefähr den vorher extrapolierten Zeitwert zwischen zwei Orogenen an.

Die Gothokareliden zeigen im Osten so zahlreiche, mit „modernen" Faltengebirgen übereinstimmende Züge, daß alpine Geologen sich hier fast mit derselben Sicherheit, wie in ihrem eigenen tertiären Orogen orientieren konnten. Etwas komplizierter zeigt sich das Bild im Westen, infolge von durchgreifenden Granitisierungen, welche im übrigen schrittweise von Osten nach Westen zunehmen. Diese erlauben jedoch den sicheren Schluß zu ziehen, daß die zentralen Kernteile der Geosynklinale im Westen zu suchen sind. In Wirklichkeit zeigt die Verteilung der Oszillationsgesteine und deren metamorphe, sowie metasomatische Äquivalente, ihre Anordnung in langen, relativ schmalen Streifen, kulissenförmig oder „en-échélon" hinter einander auftauchend, und getrennt durch flache, konform streichende Schwellen mit stetig zunehmender Tiefenlage, und entsprechenden Faziesveränderungen nach Westen hin, trotz Maskierung von Seiten der Granitisationen, klare „moderne Züge". Die Formationsnamen der Lehrbücher: Sariol, Jatul, Oneg, Kalev, Ladog, Bothnium (von E nach W), sind Ausdrücke für die Faziesmannigfaltigkeit dieser Oszillationssedimente. Im Norden sind sie (hauptsächlich als quarzitische Fazies mit eingeschalteten Tongesteinen und basischen Effusivgesteinen) in phantastischen Schlingen und mit stark wechselndem Streichen

zusammen- und aufgestaucht, um und gegen den Süd- und Westrand der Norwegosamiden. Ob die nickelführende Formation von Petsamon Tunturit, weit innerhalb des Gebietes der Norwegosamiden, ein Fragment der Gothokareliden ist, das längs Bruchflächen in den älteren Gebirgsgrund versenkt worden ist, soll. z. Z. unentschieden bleiben (vergl. S. 65). Auch die Gesteine der Evolutionsserie (die Revsundsgranite der oberen Abteilung, die nördlichen Ångermangneise der mittleren Abteilung, u. a. granat- und cordieritführende Gesteine, ev. mit Kohlensubstanz), deren Äquivalente in schmäleren Streifen auch im Osten sichtbar werden (in Satakunda, Österbotten und Savolax, innerhalb überwiegender „Flysch"-Areale, sowie im westlichen Schweden als „Eisengneise"), zeigen im großen eine Verteilung „en-échélon", mit dazwischengeklemmten Streifen von Oszillationssedimenten. Sie werden in der westlichen Hälfte abgelöst von flyschartigen, nach einem ähnlichen Plan verteilten Gesteinsstreifen, bestehend aus tiefsten (Åmål, Göteborg, Kongsberg?), mittleren (Västanå, Västervik, Hammarön?, Styrsö, Koster, Näsodden) oder höchsten (Dalsland, Telemarken und norwegisches Sörland) Niveaus, mit entsprechenden basischen oder sauren Vulkaniten, und mit „jungen", stellenweise stark mobilisierten Graniten. Bestimmte Niveaus der Oszillationssedimente, teilweise nach der oben angeführten, flüchtig angedeuteten Gruppierung, sind lokal reich (Eisen-) erzführend (Kiruna, Gellivare, Juvakaisenmaa u. a. im Norden, Suojärvi u. a. im Osten, Västervik, Västanå, Kongsberg u. a. im Süden und Westen). Die Grenzstreifen zu den Svekofenniden hin sind oft stark durch intensive „Flysch"-Granitisierung maskiert, auch wenn der „Flysch" mächtig und flach über die svekofennidische Unterlage transgrediert. Sie sind dann strukturell von dem tektonischen Stil der Unterlage beeinflußt (östliches Småland mit den Västerviksgraniten u. a.).

Vor allem sind es die „Molasse"-Sedimente der Detraktionsserie (Hoglandium + Jotnium), die mit ihrer Faziesausbildung und -verteilung (als „innere" Molasse mit reichlichem, basischen Plateauvulkanismus) bis ins Kleinste mit denen jüngerer Orogene übereinstimmen. Sie schließen sich als isolierte Erosionsreste (oft von „Oldest Red"-Typus) den „Senken" zu dem nächstälteren Orogen hin an. Dessen resistenter Block hat während der Evolutionsphase des jüngeren Orogens Inseln innerhalb der

Geosynklinale gebildet, ist dagegen während der Revolutionsphase durch Senken in dem Gothokareliden-Gebirge repräsentiert. Die vielen Basalte der Molasse, mit ihren wechselnden Altersstellungen, haben u. a. durch ihren Wärmetransport Granitisationen veranlaßt (Rapakivigranite, Rätansgranite u. a.), ja sogar kieselsäurereiche effusive Mobilisierungen (Dalaporphyre, Ostseeporphyre) bewirken können. Die Molassesedimentationen haben sich über bedeutende Zeiträume und Areale erstreckt, vom Svir-Gebiet nahe dem Ostrand über Nordingrå und Dalekarlien bis Egersund-Soggendal in SW-Norwegen. Stellenweise (Jaala-Mäntyharju, Nordingrå, SW-Norwegen) werden sie von den eigenartigen Anorthositen begleitet, die wahrscheinlich durch spezielle „Metasomatose" umgewandelte, ältere „Molasse"-Basite repräsentieren. Alle diese Gesteinsbildungen der „Molasse" sind so gut wie deformationsfrei, bis auf Hoglandium und Teile der Almesåkragruppe, welche lokal und schürfend gefaltet sind. Da die absoluten Zeitbestimmungen diese Sedimentationen zwischen rund 800 und 600 Millionen Jahren einschließen, kann diese Lokaldeformation möglicherweise einem schwachen Reflex von algonkischer Revolution entsprechen, deren Kulmination etwa bei 600 Millionen Jahren stattgefunden haben müßte (vergl. S. 69). Algonkische geosynklinale Sedimentation fehlt jedoch in Fennoskandia vollständig; dagegen haben die westskandinavischen „Sparagmit"-Sedimente eine Altersstellung (von etwa 550 Millionen Jahren), welche einer algonkischen „Molasse"-Bildung entsprechen könnte. Eine ähnliche Stellung kommt wahrscheinlich der Visingsö-Formation zu. Das entsprechende Orogen ist dann außerhalb Fennoskandias (im S oder SSW?) zu suchen.

7. Die säkuläre Landhebung.

Das fennoskandische Urgebirge repräsentiert somit eine sehr grobe Mosaik uralter Strukturelemente, entsprechend 4 präkambrischen Orogenen von verschiedenen Altersabstufungen. Für die postglaziale Landhebung, deren ursächlicher Zusammenhang mit der diluvialen Vereisung (Belastung) und deren Schwund (Entlastung) bei weitem noch nicht klargelegt worden ist, wird mit einem in Deformationshinsicht gleichförmigen und homogenen Fennoskandia gerechnet. Man inter- und extra-

polierte deshalb, im Anschluß an zahlreiche, durch Messung festgelegte Höhepunkte an alten Strandlinien, rings um eine zentrale Lokalität mit maximalem Hebungsbetrage, gleichförmige und symmetrische Isobasen oder Kurven gleicher Hebungsintensität. Diese regelmäßigen Kurven wurden als Ausdruck eines isostatischen Ausgleichs der Eisbelastungsdeformation Fennoskandias gedeutet. Die ersten systematischen Schweremessungen im Süden Finnlands ergaben ausgeprägte absolute Minima in Rapakivigebieten (Åland, Nystad, Wiborg etc.) und schienen die erwähnte Ansicht zu bekräftigen. In dem Maße, wie die Schweremessungen nach Norden fortschritten, konnten die erhaltenen Werte der Schwereanomalien in immer geringerem Ausmaße in den Kurvenverlauf des Landhebungssystems eingefügt werden, welches die Isobasen angeben müßten. Eine Detailrevision derselben, sowie eine Nachkontrolle des Präzisionsnivellements hat an gewissen Lokalitäten und längs gewissen Streifen starke Unregelmäßigkeiten der Landhebung aufgedeckt; auch die während mehrerer Jahrzehnte ausgeführten Pegelablesungen längs der Küsten Schwedens scheinen einen unregelmäßigen Hebungsvorgang bis in die Neuzeit hinein anzudeuten. Es erhebt sich die Frage, ob nicht ganz andere Voraussetzungen, als eine Annahme von mechanischer Gleichförmigkeit innerhalb und über das ganze Areal des Grundgebirges Fennoskandias an der Landhebung als mitbestimmend betrachtet werden müssen, nämlich, daß die Mosaikelemente und deren gegenseitige Grenzen als Ausdruck für regionale Diskontinuitäten, sowie die areale Verteilung innerhalb dieser Mosaikeinheiten der ursprünglichen Anteile von verschiedenartigen Sedimenten und deren extrapolierte Mächtigkeiten als Ausdruck für die wechselnde Dicke der Sialkruste, eine besondere Rolle teils beim Hebungsvorgang, teils auch bei der Verteilung der Schwereanomalien gespielt haben und noch spielen.

Für die Übertragung der größeren Teile dieser Schrift ins Deutsche schulde ich meiner Frau HILDEGARD meinen besten Dank.

Mitt. Naturf. Ges. Schaffhausen, Bd. XVII, Jahrgang 1941
H. G. BACKLUND Tafel II

Fennoskandia.

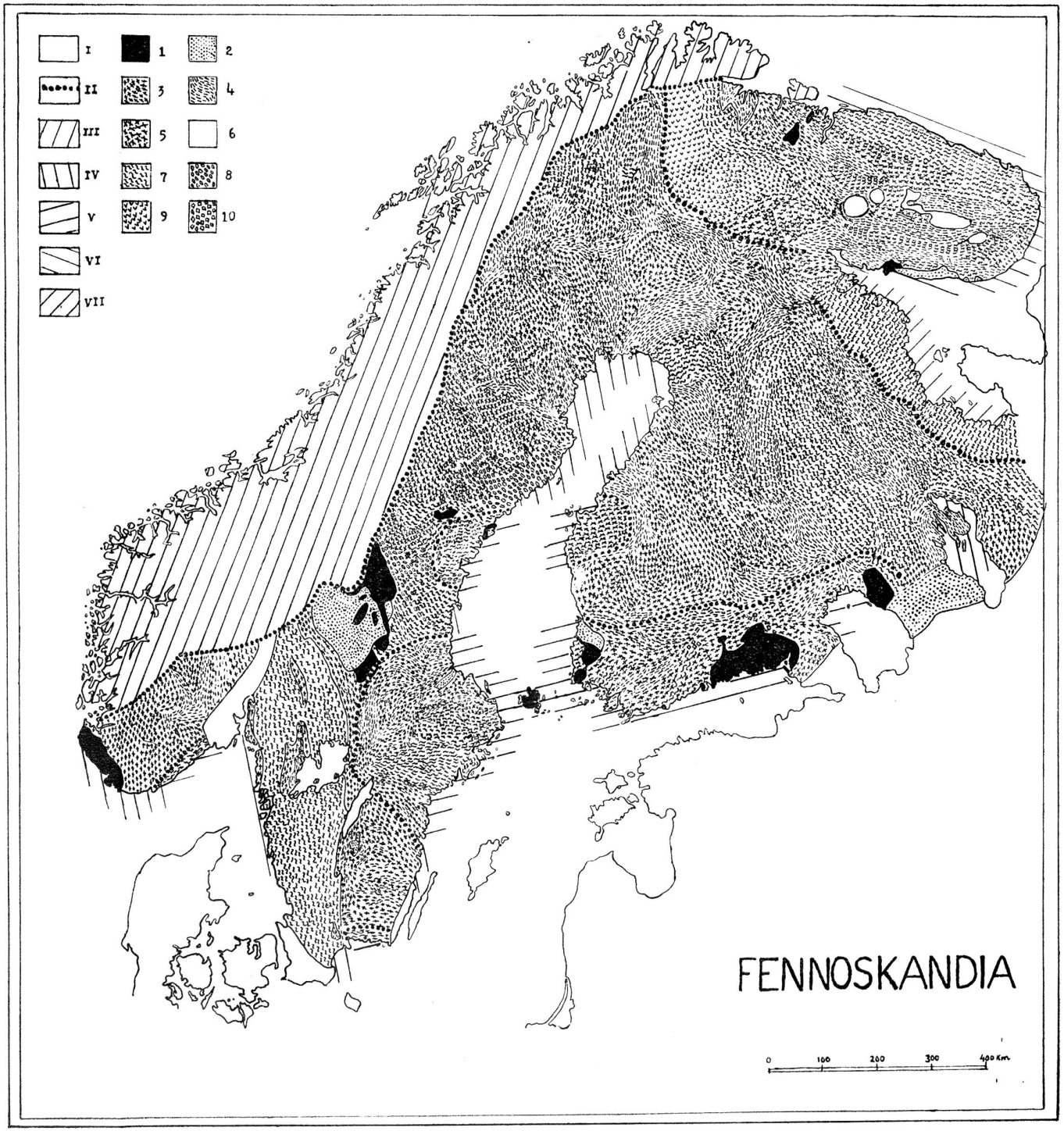
Nur die 4 großflächigen Binnenseen sind angegeben, Reste postkambrischer Deckschichten innerhalb der Mitte und des Südens sind abgedeckt.

Gröbere Signaturen: I (weiß) — jüngere Bildungen (und Wasserbedeckung); II — ungefähre Grenzen der Großkreisläufe (Orogene-Tektogene); III — Kaledoniden; IV — Gothokareliden; V — Svekofenniden; VI — Norwegosamiden; VII — Marealbiden.

Die Schraffuren der älteren Großkreisläufe IV bis VII, deren Richtung das Generalstreichen markieren soll, sind, um Unübersichtlichkeit zu vermeiden, nur an den Rändern der Wasserbedeckung angebracht worden.

Feinere Signaturen: gerade Zahlen — petrogenetisch erkennbare (Sediment-)Bildungen in metamorphem Gewand; ungerade Zahlen — entsprechende Bildungen, bis zur Unkenntlichkeit granitisiert. Für alle 4 beschriebenen Großkreisläufe (Orogene-Tektogene IV—VII): 1 u. 2 — Detraktions- (Molasse z. T.) Bildungen; 3 u. 4 — Oszillations- (Flysch z. T.) Bildungen; Evolutions-(Geosynklinal-) Bildungen: 5 u. 6 — kalkige Unterlage (für 6 keine Markierung, da gelegentlich sichere Bildungen dieser Gruppe im Felde zu kleindimensioniert sind, um auf der Karte zum Ausdruck zu kommen); 7 u. 8 — tonige Unterlage; 9 u. 10 — sandige Unterlage.

Wegen des Maßstabes wurde z. T. stark schematisiert. Nur stark tektonisierte und ausgeprägt diskordante Grenzen wurden gelegentlich mit vollen Linien ausgezogen. Detraktionsbildungen der Svekofenniden sind nicht ausgeschieden worden, z. T. wegen ihrer geringen Flächenausdehnung, z. T. auch wegen ihrer noch nicht definitiv erkannten Stellung



SCHRIFTENVERZEICHNIS

ANGEL, F.: Unser Erzberg. Mitt. Naturw. Ver. Steiermark 75, 1939, 227—321.

BACKLUND, H. G.: Der „Magmaaufstieg" in Faltengebirgen. Bull. Comm. Géol. Finl. 115, 1936, 295—347.

BACKLUND, H. G.: Die Umgrenzung der Svekofenniden. Bull. Geol. Inst. Ups. 27, 1937, 219—269.

BACKLUND, H. G.: The problems of the Rapakivi granites. Journ. Geol. 46, 1938, 339—396.

DRESCHER-KADEN, K. F.: Granit, Magma und Stoffkreislauf in der oberen Erdkruste. Nachr. Ges. Wiss. Göttingen, Jahresberichte 1938/39, 106 bis 133.

ERDMANNSDÖRFFER, O. H.: Studien im Gneisgebirge des Schwarzwaldes XI. Die Rolle der Anatexis. Sitz.-Ber. Heid. Ak. 1939 : 7.

ESKOLA, P.: On the origin of the granitic magmas. Min. und Petr. Mitteil. Wien. 42, 1932, 455—481.

GUIMARAES, Dj.: Metallogenese e a theoria migratoria dos elementos. Serv. de Fomento de Produç. Min. Braz. Boletim 24, 1938.

HAUSEN, H.: Ämnesvandringen i jordskorpan ur geologisk synpunkt. Soc. Scient. Fenn. Årsbok XVIII. B. No. 3, 1939/40.

HOBBS, W. H.: Earth evolution and its facial expression. Chapter II—IV. New York 1921.

HOLMES, A.: The age of the earth. Lond. 1937 (Nelson Classics).

LAPPARENT, Jacques de: Leçons de Pétrographie, pp. 241—248, 476—488. Paris 1923.

RAGUIN, E.: Problèmes de la géologie du granite. Revue des Questions Scient. 1937. Louvain.

REINHARD, M.: Ueber Gesteinsmetamorphose in den Alpen. Jaarb. Mijnbouwkund. Veren. Delft 1934—35, 39.

REYNOLDS, Doris L.: The genetic significance of biotite-pyroxenite and hornblendite. Min. und Petr. Mitteil. Wien 46, 1935, 447—490.

ROUBAULT, M. & PERRIN, R: Le granite et les réactions à l'état solide. Bull. Serv. Carte Géol. d'Algérie. 5 Série No. 4, 1939.

SEDERHOLM, J. J.: On migmatites and associated pre-Cambrian rocks of South-Western Finland I. II. III. Bull. Comm. Géol. Finl. 58, 1925; 77, 1926; 107, 1934.

SEDERHOLM, J. J.: Om granit och gneis. Ibid. 25, 1907.

WEGMANN, C. E.: Zur Deutung der Migmatite. Geol. Rundschau 20, 1935, 305—350.