

Der Bau der Kaledoniden und Wegener's Hypothese.

Von **Franz Eduard Suess**, Wien.

Mit 1 Textabbildung.

Bereits 1885 hat JUDD aus den gleichartigen Gesteinsfolgen geschlossen, daß Skandinavien und Schottland mit den Orkney- und Shetland-Inseln ursprünglich eine einheitliche Gebirgsmasse gebildet haben, die wahrscheinlich erst vor verhältnismäßig kurzer Zeit in die Bruchstücke zerlegt worden war. Den ersten Hinweis auf diesen Gedanken hatte er in den wiederkehrenden Transgressionen des Old Red gefunden und denen der damals einander gleichgestellten vorcambrischen Schichtmassen, der Sparagmite und des Torridon-Sandsteins. REUSCH hat 1888 auf die Verwandtschaft der beiderseitigen Faltsysteme hingewiesen. Fast unmittelbar nachher haben MACCULLOCH und HAY CUNNINGHAM die merkwürdigen Lagerungsverhältnisse in Nordwestschottland auf der Strecke zwischen Loch Eiriboll und Glen Coe, die Auflagerung der Gneise auf fossilführendem Cambrium und Ordovic und vorpaläozoischem Torridon-Sandstein festgestellt, die zuerst von NICOL als großartige Überschiebung gedeutet wurden. In berühmten Arbeiten haben PEACH und HORNE den vielgliederten Schuppen- und Überschiebungsbau mit allen Einzelheiten überzeugend dargestellt.

Horizontale Verfrachtung unvergleichlich größeren Stiles zeigte der Bau des skandinavischen Gebirges, wie ihn TÖRNEBOHM bereits 1895 in einer großzügigen Zusammenfassung dargestellt hat. Die gleichförmig in einer Strecke von mehr als 1400 km immer wiederkehrende Auflagerung von Kristallin auf cambrischen und vorcambrischen Sedimenten wurde von ihm als einheitliche Überschiebung mit Förderungsweiten bis zu einigen hundert Kilometern erklärt und trotz mancher von verschiedenen Seiten vorgebrachter Einwände behält diese Vorstellung unbestreitbar ihre Geltung; ja man kann sagen, daß sie im Lichte zahlreicher, seit TÖRNEBOHM geförderter Tatsachen noch an Großartigkeit gewinnt.

Es erschien zunächst befremdend, daß das Gebirge in Schottland nach WNW und in Skandinavien nach der entgegengesetzten Rich-

tung, nach SO, bewegt worden sein soll. Das Bestreben, die Teile zur dynamischen Einheit zu verbinden, führte zu der Vorstellung einer symmetrischen Anlage des Baues. HOLMQUIST hat sie zuerst angeregt; er dachte sich die Kaledoniden aus einem schrägen Graben aufgepreßt. Daneben erwog er aber auch die Möglichkeit eines einseitigen schrägen Aufschubes oder einer Unterschiebung vom Vorlande her. Das Vorherrschen stark metamorpher und stark gefalteter Gesteinsmassen im NW, gegen die Meeresküste zu, schien auf tiefes Hinabtauchen der Unterfläche hinzuweisen. Auch E. SUSS (Antlitz d. Erde. II. S. 469) erwog die Annahme eines Grabens im Sinne von HOLMQUIST, von dem die westlichen und östlichen Ränder in Schottland und in Skandinavien sichtbar geblieben sind; er dachte aber auch an die Möglichkeit einer einzigen über die ganze beiderseitige Erstreckung hin ausgedehnten, windschiefen Dislokationsfläche. Zugleich hat er aber auch schon darauf hingewiesen, daß die bei Loch Eiriboll meerwärts hinausstreichende Überschiebungslinie keineswegs parallel dem skandinavischen Überschiebungsrande verläuft, sondern in ihrer Fortsetzung weit hinausführt in die Nordsee.

Die zuerst von NATHORST (1901) und dann von NORDENSKJÖLD (1909) an den nördlichen und östlichen Küsten Grönlands und auf Spitzbergen wahrgenommenen Faltenzüge vordevonischen Alters, sind zunächst als eine Fortsetzung der skandinavischen Kaledoniden aufgefaßt worden. Über die Art der Verbindung mit der Hauptkette waren die Meinungen geteilt. HOLTEDAHL (1920) verband zuerst die skandinavischen Kaledoniden durch einen breiten Bogen über die Falten des Hekla-Hoek-Systems im westlichen Spitzbergen mit der nordgrönländischen Faltenzone. Nach LAUGE-KOCH (1936) teilt sich ein verbindender Faltenbogen nördlich von Spitzbergen in zwei Äste, von denen der eine in der nordgrönländischen Faltenzone wieder auftaucht, der zweite in die Richtung der ostgrönländischen Falten umbiegt und vielleicht noch die Ostküste Grönlands entlang streicht. Er soll vielleicht auch noch mit den kanadischen Appalachen von Neufundland und Neubraunschweig zu verbinden sein.

Nach anderen Vorstellungen gehört nicht nur der Moine Thrust in Nordwestschottland, sondern auch die Faltenzone der ostgrönländischen Küste zu einem gegen NW gefalteten Gegenflügel der Kaledoniden. Überhaupt beherrscht gegenwärtig die Vorstellung von dem symmetrischen Bau der Kaledoniden gegenwärtig durchaus das Schrifttum. Ja, man erwähnt die Kaledoniden als eines der klarsten Beispiele der durch Zusammenpressen von beiden Seiten erstandenen Orogene, als eine der überzeugendsten Stützen der herrschenden Theorie.

Auch HOLTEDAHL deutet in seiner jüngsten Darstellung (1936) die landeinwärts gerichteten Falten an den Küsten zu beiden Seiten des Skandik als die Ränder einer breiten einheitlichen Geosynklinale.

Er denkt sich, daß Grönland im Sinne der Hypothese von WEGENER etwa seit dem Alttertiär weiter nach W hin abgewandert ist; die ursprüngliche Geosynklinale wäre damit auf die volle Breite des Skandik erweitert worden. Der Moine Thrust wird von ihm mit dem angenommenen Westrande der Geosynklinale am Liverpoolsunde verbunden.

Die Erklärung des Gesamtbaues, die hier den bisherigen Auffassungen entgegengestellt wird, verwertet vor allem die Besonderheiten des Grundgebirges, wie sie von verschiedenen Forschern geschildert werden, und beruft sich auf die in anderen Gebirgen gewonnenen Erkenntnisse über die Zusammenhänge von Tektonik und Metamorphose. Trotzdem eine symmetrische Geosynklinale hier nicht anerkannt wird, nähert sich die hier vorgebrachte Erklärung am meisten der von HOLTEDAHL; ja sie bekräftigt sie sogar in einem gewissen Sinne.

Von den drei Zonen, in die das kristallinische Grundgebirge von Schottland seit GEIKIE eingeteilt wird, dem Lewisian, Moinian und Dalradian, gehören nur die beiden letztgenannten zum kaledonischen Baue. Über dem durch die Überschiebung des Moine Thrust abgetrennten Lewisian transgriert der vorcambrische Torridon-Sandstein. Moinian und Dalradian sind wohl durch den Baustil und die Fazies der Metamorphose klar voneinander geschieden, aber tektonisch inniger miteinander verbunden.

Aus der langen Reihe der Erforscher des Schottischen Hochlandes sollen hier zunächst die genannt sein, denen die jüngste grundsätzliche Aufklärung des Innenbaues des Dalradian zu danken ist; vor allem E. B. BAILY und ihm folgend ANDERSON, ELLES, PHEMISTER, MAC GREGOR, READ, TILLEY. Ihre Studien haben gezeigt, daß die ganze Zone in liegende Falten und überstürzte Decken zergliedert und gegen SO vorgetrieben ist. Die Grundlage stimmt demnach überein mit der der skandinavischen Kaledoniden. Der nach SO überstürzte Deckenbau im Vereine mit der kennzeichnenden Metamorphose erklärt sich aus der Stellung des Dalradian im Gesamtrogen. Hier herrschen stark verschleifte Gesteine mit dem Mineralbestande der Meso- und Epikristallisation. Die Minerale verschiedener Stufen sind häufig miteinander vergesellschaftet, entsprechend einer Polymetamorphose in den Ungleichgewichtsgesteinen, die unter wiederholt wechselnden Bedingungen verarbeitet worden sind. Aus allem ergibt sich klar die tektogenetische Einordnung der Zone in den Bereich der „enrogenen Regionalmetamorphose“, die eine Verarbeitung mit gleichzeitigem Anstiege der Temperatur durch eine darüber hin bewegte Scholle voraussetzt (F. E. SUESS 1937).

Das Dalradian ist nach seiner Lage in der Mitte des Orogens der Deckenzone des Pennin in den Alpen gleichzustellen; dementspre-

chend erweist es sich auch in bezug auf die innere Tektonik und auf die Metamorphose als das der genannten alpinen Zone am nächsten zu vergleichende Gegenstück. Das Kennzeichnende für beide sind die Eigenschaften der mittleren, d. h. der überfahrenen oder belasteten Zone des Orogens. Überstürzte Deckfalten, wie sie von BAILY nachgewiesen worden sind, gehören zu dem, was man hier zu erwarten hat. Die umformende Bewegung kann nur von NW her, aus der Richtung des Moinian gekommen sein; denn im SO sind ihr die nicht metamorphen Falten der unbelasteten Zone angeschlossen. Zu dieser gehört zunächst das Silur, das in den Pentland Hills aus dem jüngeren Paläozoicum der Central Lowlands auftaucht; an sie reihen sich gegen außen zu die breiteren altpaläozoischen Faltengebiete von Wales und Devonshire.

Der Auffassung des Moinian als erzeugende Scholle oder als Rest der dem Dalradian einst aufgeschobenen Scholle entspricht auch das Innengefüge und die kristallinische Fazies dieser Zone. Die darin festgehaltene Umformungsgeschichte ist wesentlich verschieden von der der überfahrenen Zone des Dalradian. Die große Hauptmasse der das Moinian aufbauenden Gesteine, die als „Quarzgranulite“ unterschiedenen Schiefer sedimentärer Herkunft, zeigen nicht die synkinematische Kristallisation, wie sie das Dalradian kennzeichnet. Ihre mächtigeren Bänke sind nicht während der Kristallisation in dem Maße zerdrückt und verschleift worden, wie die Hauptmasse der dalradischen Gesteine. JOHN FLETT hat bereits 1912 ihre granoblastischen und homöoblastischen Strukturen klar gekennzeichnet. Erwärmung ohne weitgehende Verformung hat hier vor allem die Sammelkristallisation oder Metamorphose eingeleitet. Das Parallelgefüge dieser Gesteine ist nicht tektonitischer Art, sondern sedimentären Ursprungs und in den großen Zügen durch Abbildungskristallisation aus dem ursprünglichen Zustand übernommen worden. Das hindert nicht, daß in einzelnen Lagen auch die Gesteine des Moinian während des Transportes von rückschreitender Metamorphose ergriffen worden sind. Polymetamorphose wird häufig angezeigt durch eingestreute Schuppen von Muscovit und Körner von Epidot. Volle Mesokristallisation mit Granat, manchmal auch mit Cyanit oder Staurolith, und mehr oder weniger durchgreifender Deformationsverglimmerung hat die tonigen Lagen zwischen den quarzitischen Bänken ergriffen; denn sie waren besonders dazu geeignet, die Deformation zu übernehmen. Darin erkennt man die Ansätze einer rückschreitenden Umwandlung, wie sie viel großartiger und durchgreifender die lastenden und höchsten Deckensysteme der Alpen, die Austriden, ergriffen hat, in denen Glimmerschiefer und glimmerige Gneise eine so große Rolle spielen. Auch diese sind in der Hauptmasse aus ursprünglich periplutonischem Grundgebirge hervorgegangen. Beide gehören nicht in den eigentlichen Bereich der enrogenen Regionalmetamorphose. Es sind Abarten der ab-

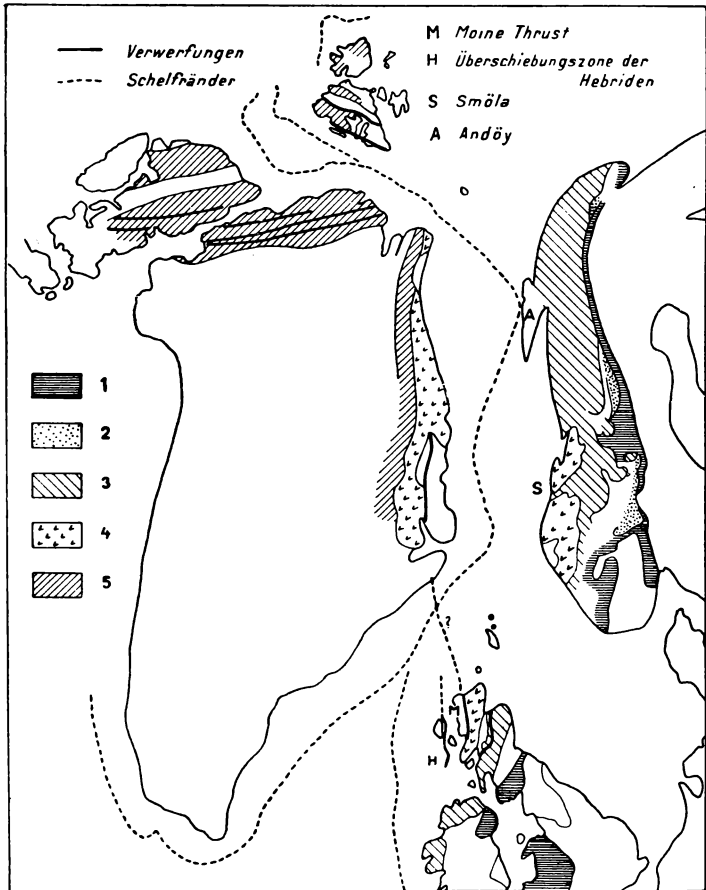


Abbildung 1. Ursprüngliche Lage von Skandinavien, Grönland und Spitzbergen im Sinne der Hypothese von WEGENER.

1. Autochthones und parautochthones Altpaläozoicum im Vorlande der skandinavischen Kaledoniden, Altpaläozoicum des Oslo-Gebietes, nicht metamorphe Faltenzone der britischen Kaledoniden.
2. Sparagmit-Quarzitdecken der skandinavischen Kaledoniden.
3. Vorwiegend enorogen metamorpher Deckenbau mit verschleiftem Grundgebirge in den skandinavischen Kaledoniden, Dalradian in Schottland.
4. Vorwiegend periplutonisch metamorphes Gebirge in Grönland und an der norwegischen Küste, zum Teil hypokinometamorph, Moinian in Schottland.
5. Nicht metamorphes Präcambrium und Altpaläozoicum gefaltet und ungefaltet in den grönländischen Küstenketten, Hekla-Hoek-Formation auf Spitzbergen.

wandlungsreichsten Gruppe regionalmetamorpher Gesteine, die einer „hypokinematischen“ Regionalmetamorphose zugeteilt werden; sie sind in den inneren Teilen der bewegten Scholle umgeformt worden. (Näheres darüber enthält der Aufsatz „Zum Bewegungsbilde des älteren Mitteleuropa“, Fortschritte d. Geologie usw. H. 43. Berlin, Borntraeger 1938.)

Die Gesamtbewegung der beiden äußeren Zonen gegen SO entspricht der in der Zonenfolge des Orogens enthaltenen Dynamik. Die Verhältnisse an der Grenze zwischen dem Moinian und dem Dalradian scheinen aber damit nicht übereinzustimmen, denn dort tauchen die Schiefer des Moinian — oder der ihm gleichzustellenden Eilde Flags und Struan Flags — mit flachem Winkel unter das Dalradian ein. Die Studien von ANDERSON (1923) im Schichallion-Gebiete haben gezeigt, daß dort keine regelmäßige Auflagerungsfläche die beiden Gesteinsgruppen scheidet, sondern daß ein Parallelgefüge sedimentären Ursprungs in die Richtung einer angeschlossenen großen Störungs- oder Verwerfungsfläche umgestellt worden ist; ANDERSON vermutete, daß die ursprüngliche Lagerungsfolge rückgefaltet worden ist.

Zum näheren Verständnis führt auch hier der Vergleich mit dem alpinen Bau. Dort hatte der durch lange Zeiträume andauernde Nordschub die Decken zu einer Höhe aufgetürmt, die von dem in fortwirkendem oder erneuertem Schub herangepreßten Blocke nicht mehr überschritten werden konnte. Die Wurzeln der Decken sind dadurch zusammengepreßt und steilgestellt und dann, in der von ARGAND als die „insubrische“ bezeichneten Phase, nach S überworfen worden. In den Alpen ist es die Grenze zwischen den Dinariden und den Penniden, in den schottischen Kaledoniden die Grenze zwischen dem Moinian und dem Dalradian, d. h. in beiden Fällen die Grenze zwischen der erzeugenden Scholle und der belasteten Zone, die durch eine „surcompression“ entgegen der Hauptfaltung nach rückwärts umgebogen worden ist.

Aus verschiedenen Gründen kann der Moine Thrust nicht als Anzeichen einer symmetrischen Gegenbewegung dem in der ganzen Ausdehnung durch Schottland bis Finnmarken nach SO bewegtem Hauptstamme der Kaledoniden gegenübergestellt werden. Das Auseinanderstreben der beiderseitigen Überschiebungsrichtungen widerspricht bereits einer solchen Annahme. Bedeutungsvoller ist die durchaus ungleichartige Gesamtanlage der einander gegenübergestellten Strukturen. Der „Cleax Cut Thrust“ überfährt einige knapp zusammengedrückte Verschuppungszonen. Die Gesteine sind dort wohl arg zerdrückt und mylonitisiert, aber von eigentlicher Metamorphose kann dort nicht die Rede sein. Die Überschiebung bringt das Kristallin der Kaledoniden, über dem erst der Old Red transgrediert, unmittelbar auf ein vollkommen fremdartiges Vorland, das schon in vorcambrischer Zeit bis auf den kristallinen Untergrund

abgetragen und von dem mächtigen Kontinentalschutt des Torridon Sandsteins überdeckt worden war. Kräfte ganz anderer Art mußten am Werke gewesen sein, um das voll entwickelte Orogen mit dem in schräger Gegenrichtung nach SO überworfenen Deckenbau aufzubauen, dem noch die breite, gegen das Vorland auslaufende, nicht-metamorphe Faltenzone angeschlossen ist.

Entscheidend für die Auffassung des Moine Thrust ist aber, daß er in dem Schichtpaket des Moinian unverkennbar einen Teil des fertigen kaledonischen Baues schräge durchschneidet. Der tektonische Verband des Moinian mit dem durch die kaledonische Orogenese geformten Dalradian besagt, daß es durch die gleiche Gebirgsbewegung, wie das Dalradian, in seine gegenwärtige tektonische Stellung gebracht worden ist. Schon daraus ist zu folgern, daß der Moine Thrust jünger ist als die kaledonische Orogenese.

Es scheint, daß diese Erkenntnis noch überzeugender hervorgehoben wird durch die Verhältnisse auf der weiter abseits, im S gelegenen Insel Islay. Sie wurden allerdings von verschiedenen Forschern verschieden gedeutet. Es ist aber wohl nicht zu bezweifeln, daß so wie im N das Moinian mit dem Moine Thrust, so hier das fertige Dalradian mit einer recht mannigfaltigen Gesteinsreihe durch eine die Insel an ihrer schmalsten Stelle querenden Überschiebung auf das Lewisian der westlichen Scholle mit dem auflagernden Torridon-Sandstein aufgeschoben worden ist. Es ist dabei nicht wesentlich, ob eine breite Schuppe im Liegenden der Aufschubfläche, wie PEACH und WILKINSON (1907) und BAILEY (1917) annehmen, dem oberen Torridonian, oder gemäß der Meinung von ELLES und TILLEY (1930) und von GREGORY (1931) einem nicht metamorphen Dalradian oder gar einem verlagerten Moinian zugeteilt wird. BAILEY hat (1917) angenommen, daß sich in diesem Loch Skerrols Thrust die Moine-Überschiebung fortsetzt. Der Aufschub auf der gleichen Unterlage unterstützt augenscheinlich die Annahme, daß beide dem gleichen Bruchsysteme angehören und ein Bruchsystem, das beide Zonen des Orogens, das Moinian und das Dalradian, gleichzeitig durchschneidet, muß jünger sein als die Orogenese und einer Gruppe von postorogenen Ereignissen zugehören (s. READ 1935, S. 11). Diese Überlegung kann durch den Umstand nicht beeinflusst werden, daß zwischen der Richtung des Moine Thrust und dem Loch Skerrols Thrust, quer übergreifend die Loch Gruinart Fault eingeschaltet ist, die BAILEY mit dem Great Glen verbindet.

Was den Untersuchungen der letzten Jahrzehnte über den Bau der skandinavischen Kaledoniden zu entnehmen ist, führt trotz mancher scheinbarer Widersprüche und von verschiedenen Seiten geäußerter Zweifel — mit voller Entschiedenheit zurück zu der großzügigen Auffassung TÖRBEBOHM's. Nur die Vorstellung eines den ganzen gewaltigen Gebirgswulst beherrschenden Fernschubes gegen

SO ist imstande, die Gesamtheit der im einzelnen viel zersplitterten Lagerungsverhältnisse mechanisch verständlich zu machen. Einzig in der Größe seiner Anlage und in seiner Einheitlichkeit ist der über 1600 km verfolgbare und nur durch die Eingriffe der Erosion vielfältig abgelenkte und zergliederte Überschiebungsrand. Die glatte Oberfläche des unzerstückelten Vorlandes ermöglicht eine solche Einheitlichkeit, während die alpin-karpathischen Schubmassen im Andrängen gegen das in Horste zerteilte Vorland in breiten Wellen mächtig emporsteigen und absinken; daher dringen die Decken ungleich weit über das Vorland und die Grenze ist aus den Rändern übereinandergelegter Schuppen zusammengefügt. Weder in den Alpen noch in den Varisziden gibt es so weithin über den flachen Untergrund fortlaufende, fast rein kataklastische Fußmylonite, die den Kakiriten der skandinavischen Gebirge zu vergleichen wären.

Aber die zunehmende Verwicklung des Baues durch die Vielgestalt der mitgenommenen Glieder im Inneren hat dieses Gebirge gemein mit anderen Orogenen und wichtige Hinweise, die aus dem dort Erkannten über den Grundplan solcher Strukturen zu gewinnen sind, sollen hier nicht unbeachtet bleiben.

So greift auch HOLTEDAHL in einer neueren Übersicht über die ihm so vertrauten Kaledoniden zum Vergleiche mit den Alpen, um — wie er ausdrücklich hervorhebt — durch einen Blick auf das bestbekannte Faltengebirge der Erde dem Verständnis der viel umstrittenen Geschichte der Kaledoniden in cambro-silurischer Zeit näher zu kommen (1936, S. 138).

Auch er knüpft zunächst an den Begriff der Geosynklinale als langsam sinkenden Erdstreifen, in dem außerordentlich mächtige Sedimente gesammelt werden und der die Orogenese vorbereitet. Er beruft sich dabei auch auf neuere Vorstellungen, nach denen das Einsinken der Geosynklinale durch eine Streckung und örtliche Verdünnung der äußeren, kieselsäurereichen Erdschale bedingt ist; damit soll auch den reichlicheren basischen Magmen im vorbereitenden Abschnitte der Geosynklinalbildung der Austritt aus der Tiefe ermöglicht werden, wie dies die Magmenfolge in den beiden genannten großen Orogenen anzuzeigen scheint. Zu gleicher Zeit wird aber auch darauf hingewiesen, daß die Faltung beständig von erneuerter Sedimentbildung begleitet sein kann und durch lange Zeiträume andauert.

Das Oslo-Gebiet wird der den Alpen angeschlossenen Vorfaltungszone des Juragebirges gleichgestellt. In beiden Gebieten ist nur die dem kristallinen Untergrunde auflagernde sedimentäre Decke von der Faltung ergriffen worden; dort war es das Mesozoicum, hier das Cambro-Silur. Eine Zone von äußeren Schubmassen aus wenig veränderten Schichtgesteinen, Sandsteinen und Quarziten der Sparagmitformation, soll den Helvetiden der Alpen entsprechen. Einer zentral-alpinen Zone mit weit vorherrschenden metamorphen und kristalli-

nischen Massen, im besonderen dem Pennin, werden die im ganzen aus stark metamorphem Eocambrium und Cambro-Silur bestehenden Sevedecken gleichgestellt. In manchen Strecken sind sie durch große Granit- und Gabbromassen vertreten.

So schließt sich hier in diesen beiden, wie in anderen Orogenen, an die äußere nicht belastete Zone mit den nicht metamorphen Falten die belastete Zone mit den Deckfalten der enorogenen Regionalmetamorphose.

Nach dem, was ich dem Schrifttum entnehmen kann, erhebt sich auch die in der ganzen skandinavischen Gebirgskette vorherrschende Metamorphose in keiner Strecke über die dem enorogenen Bereiche zugehörige Epi- und Mesostufe. Der ganze Bau kann so wie das Kristallin der Alpen nur durch einen gewaltigen Schub von außen her geschaffen worden sein.

Innerhalb des durch den gleichen Bauplan gegebenen Rahmens, der sie mit anderen großen Orogenen zu einer tektogenetischen Gruppe vereinigt, bewahren die Kaledoniden — so wie auch jene — durch besondere Merkmale einen Eigenstil. So sind die Kaledoniden durch einen übergroßen Anteil von, wie angegeben wird, syntektonisch eingedrungenen, plutonischen Massen begleitet. Hierher gehören vor allem die mächtig anschwellenden basischen Intrusionen, die VOGT in den nördlichen Gebieten als „Phakolithe“ bezeichnet hat, und die mit konkordantem Parallelgefüge in die umgebenden Schiefer eingeschalteten sauren Erstarrungsgesteine, ihre Hauptvertreter sind die „Trondhjemite“ V. M. GOLDSCHMIDT's. Ein weiteres sind die eigenartigen, von V. M. GOLDSCHMIDT als „Faltungsgräben“ bezeichneten Lagerungsformen in den südlichen Gebieten. Seine Auffassung von dem Ineinandergreifen der tektonischen und magmatischen Vorgänge in den niedersinkenden Grabenrinnen hatte die Vorstellungen von der kaledonischen Orogenese nachhaltig beeinflusst. Auch hier ist die Gesteinsgesellschaft keine andere als im enorogenen Bereiche der Alpen und der Varisziden und in anderen verschleiften Gneisgebirgen und man fühlt sich versucht, daraus auf eine gleichartige tektonische Geschichte zu schließen.

Auch die Auffassung der gabbroiden Phakolithe ist kaum loszulösen von der der angeschlossenen amphibolitischen Unterlage, und diese können kaum auf andere Weise entstanden sein als durch eine Mesoverschieferung der gabbroiden Erstarrungsgesteine. Sie gehören in den gleichen Entstehungsbereich wie die Hauptmassen der Zweiglimmergneise und Gneisglimmerschiefer, in denen die vorherrschenden Typen einer tiefen retrograden Verschieferung enthalten sind. In dieser Annahme ist auch schon die einer passiven horizontalen Verfrachtung der basischen Tiefenmassen enthalten.

Zunächst scheint es, daß zur Anpassung an das Gesamtbild der kaledonischen Orogenese die Wahl zwischen drei verschiedenen Er-

klärungen zu treffen wäre. Nach der ersten wären die Körper in der vorliegenden Gestalt im Inneren massig, an den Rändern aber durch Deformation während der Erstarrung mit schiefrigem Parallelgefüge und entsprechend abgeändertem Mineralbestande erstarrt. Diese Vorstellung ist es, die von GOLDSCHMIDT für die Trondhjemite und von VOGT für die gabbroiden Phakolithe beansprucht wird.

Nach einer zweiten Annahme wären die Magmakörper wohl als Phakolithe oder Lagergänge in die Schiefermassen eingedrungen, dann aber verschleift und randlich zu kristallinen Schiefeln umgeformt worden. Auch in diesem Falle blieben die Massen im wesentlichen autochthon mit Verschiebungen von nur geringer Förderungsweite. Eine dritte Annahme ist die, daß die ganzen Massen im starren Zustande bei der Gebirgsbildung mitgenommen, vom ursprünglichen Erstarrungsorte losgelöst und so wie die umschließenden Schubdecken, auf größere Entfernung verfrachtet worden sind. Sie wären den großen Schubmassen TORNEBOHM's einzuordnen. Ursprünglich verzweigte Intrusionen wären zu lakkolithähnlichen Körpern mit schiefrig glatten oder zwiebelschaligen Rändern umgepreßt worden. Diese letzte Vorstellung ist es, die den Erfahrungen in den Alpen und in den Varisziden wie auch im moravisch-silesischen Deckenbau am nächsten entspricht.

Über die großen Züge des alpinen Bauplanes hinaus führt die Deutung der sogenannten Mulde von Tröndelagen, südlich von Trondhjem durch WEGMANN (1925), einen Forscher, der die Kenntnis des Gebietes mit alpinen Erfahrungen verbindet. Ein an den Rändern der mit einer Länge von nahe an 300 km in die älteren Gneise eingepackten Schiefermasse auf längere Strecken verfolgbares Lager von Augengeneis wird von WEGMANN als über dem tieferen Grundgebirge kataklastisch und kristalloblastisch verschleifte durchgehende Unterlage als der Träger der ganzen Mulde aufgefaßt. Ihr ganzer Inhalt wird damit zur verschlepten, eingefalteten und in sich verfalteten Riesenscholle. Daß die stark verschuppte nächste Unterlage dem vorcambrischen Grundgebirge zugehört, bezeugen, nebst anderen Umständen, einzelne Vorkommen von Anorthositen und Rapakiwi-Gesteinen knapp außerhalb des westlichen Randes. Der Umriß der ungeheuren Überschiebungsklippe wiederholt in den Hauptzügen die bereits von TÖRNEBOHM entworfenen Linien.

Der schönen Karte des Gebietes von Västerbotten, die die H. G. BACKLUND und P. QUENSEL (1929) geliefert haben, kann man wohl auch die Züge eines gleichartigen Baustiles mit fernher verfrachtetem Grundgebirge entnehmen. Auch die knappe, von BACKLUND (1935) gegebene Erläuterung zur Karte fordert heraus zu alpinen Vergleichen. Über den roten Graniten des Sockels und den klastischen Vorlandsbildungen liegt noch autochthon ausgewalztes und verschiefertes Cambrium. Flache Überschiebungsdecken folgen zunächst den klastischen Gebirgsrandbildungen der mylonitisch gebänderten Spa-

ragmitformation mit ihren Begleitern. Schärfer abgehoben von diesen sind die kristallinen Randbildungen der „unteren Decke“ aus Glimmerschiefern, Quarziten und Kalken über einer Zone mit den klassischen Mylonitbildungen.

Die obersten Ausleger der kristallinen Hochgebirgsschiefer bestehen aus Glimmerschiefern, Glimmerkalken, Feldspatquarziten und Albitamphiboliten; sie formen sich nach BACKLUND zu einer Tauchdecke, die auf eine Mindestentfernung von 60 km gefördert worden ist. Sie hat das Kristallin der mittleren Decke überschritten und damit auch die Ophiolithe und Grünschiefer und die begleitenden Sandsteine, Kalke und Schiefer des Kälitypus, in denen auch Vertreter des Ordovik-Gotland nachgewiesen worden sind. Nach ihrer metamorphen Fazies wären die Hochgebirgsschiefer der Hauptmasse der Schiefer des austriden Grundgebirges in den Alpen gleichzustellen. Ihr Verhältnis zu den Kälischiefern wiederholt das der Austriden zu den Phylliten, Grünschiefern und Ophiolithen des Pennin. Der von HOLTEDAHL angeregte Vergleich wird damit noch vertieft und vervollständigt. Die Ähnlichkeit würde noch vollkommener sein, wenn auch in den Alpen die Abtragung noch weiter vorgeschritten wäre; wenn auch dort, wie im Gebiete von Västerbotten, die Fenster ihre Ränder verloren hätten und die Bloßlegung der tieferen Decken zur zusammenhängenden Fläche erweitert, die Austridendecke aber bis auf gesonderte Lappen abgeräumt worden wären.

Die Umdeutung der Mulde von Tröndelagen im Sinne von WEGMANN — sowie auch die sonstigen Erfahrungen in den skandinavischen Gebirgen, Sarek, Västerbotten u. a. — kann nicht ohne Einfluß bleiben auf die Vorstellung von den „Faltungsgräben“, zumal auch die Trondhemite so wie andere Gesteine dieses weitverbreiteten Typus aus allgemeinen Gründen als im starren Zustande verschleifte Intrusivkörper aufzufassen sein werden. Diesen Faltungsgräben Gleichzustellendes ist wohl kaum noch in anderen Orogenen beobachtet worden. Aus der gleichen grabenförmigen Einsenkung, in der die Sedimente angehäuft worden sind, sollen die Magmen hervorgebrochen sein und zugleich auch die Metamorphose verursacht haben. Man wird versucht, an einen ähnlichen überstürzten Faltenknäuel zu denken, wie ihn WEGMANN in der Mulde von Tröndlagen erkennen will.

Die Behandlung dieser großen Hauptfrage soll späteren Auseinandersetzungen vorbehalten bleiben.

Nach der Vorstellung WEGENER's ist der Skandik der zuletzt geöffnete Teil der atlantischen Spalte und noch gegenwärtig entfernt sich Grönland von Skandinavien, mit dem es einst zu einer zusammenhängenden Landmasse vereinigt war; der einstige geschlossene Stamm der Kaledoniden wäre demnach in gesonderte und verlagerte Trümmer zerlegt worden.

In einer neueren Darstellung des kaledonischen Baues hat HOLTEDAHL (1936) auf die Vorstellung WEGENER's näheren Bezug genommen. Die englisch-skandinavischen Falten auf der einen und die Störungen in Nordwestschottland und an der ostgrönländischen Küste auf der anderen Seite betrachtet er als die beiden Gegenflügel einer ursprünglich schmäleren Geosynklinale, die durch das Abrücken von Grönland auf die gegenwärtige Breite des Skandik erweitert worden ist.

Entscheidend in dieser Frage ist das Baubild der ostgrönländischen Faltenzone. Es ist durchaus verschieden von dem des skandinavischen Gebirges. Aber gerade die Unterschiede unterstützen eine Deutung im Sinne WEGENER's. Allerdings muß man, wie sich gleich zeigen wird, der norwegischen Küste die Küste Grönlands nördlich von Scoresby-Sund gegenüberstellen und nicht den mittleren und südlichen Küstenabschnitt, wie dies noch WEGENER getan hat. (s. Abb. 1).

Das Baubild Ostgrönlands erkennt man klar in den anschaulichen Schilderungen von BACKLUND (1930), KRANCK (1935) und WEGMANN (1935, 1937). Anatexis und Migmatitis im Bereiche der periplutonischen Metamorphose beherrschen hier den Untergrund. Daß dieser Bau nicht als der Untergrund einer der kaledonischen ähnlichen Faltenzone aufgefaßt werden kann, bezeugt sein inniger Verband mit nicht metamorphen, paläozoischen und vorpaläozoischen Formationen in verhältnismäßig wenig gestörter Lagerung. Hierher gehört z. B. die mächtige Eleonora Bay-Formation des Strindberglandes im S des Franz-Josef-Fjordes. Aus dem Zusammentreten der so ungleichartigen Strukturen des Unterbaues und des Deckgebirges ergaben sich ausgiebige Meinungsverschiedenheiten über den Grad der Faltung und über die Bedeutung der Orogenese in diesem Gebiete. Während eine Gruppe von Forschern hier den tiefen Untergrund eines mächtigen, dem skandinavischen vergleichbaren Orogens zu erkennen glaubte, wurde von andern dem ostgrönländischen Gebiete nur eine sehr einfache Faltung, etwa „germanotyper“ Art, zugebilligt (TEICHERT 1935). Den Widerspruch erklärt die Zuteilung des Gebietes zur Intrusionstektonik, in der periplutonische Regionalmetamorphose ebenso in ein wenig gestörtes Gebirge wie in hochmetamorphem Faltenbau aufsteigen kann (s. F. E. SUESS 1937). Die periplutonische Migmatitfront ist in ihrem Auftreten unabhängig von der Beschaffenheit des Deckgebirges.

Das Baubild widerspricht auch der von KOCH und anderen geäußerten Annahme, daß das kaledonische Orogen im weitausgreifenden Bogen nach Ostgrönland zieht und daß man hier nichts anderes als seine nach W gewendete Fortsetzung wahrzunehmen habe. Das skandinavische Orogen kann nicht im fortlaufenden Bogen nach Ostgrönland hinübergeführt werden. Gerade die tiefgreifenden Unterschiede der metamorphen Bauten liefern die allerbedeutungsvollste Stütze für die Annahme des einstigen innigen Verbandes der beiden

Festländer, aber in anderem Sinne, als dies KOCH angenommen hat. Die Wandertektonik der skandinavischen Kaledoniden mit dem weit ausgreifenden Deckenbau verlangt nach einer erzeugenden Scholle, die in ihrem Rücken gelegen gewesen sein muß; beide zusammen bilden erst die dynamische Grundeinheit, der nach außen hin die nicht metamorphe Faltenzone angeschlossen ist. Nach den Erfahrungen in anderen vollständiger erhaltenen Orogenen sind unter der erzeugenden Scholle die Intrusionen heimisch, und es war ohne Zweifel der östliche Rand der grönländischen Tafel, dessen Vorschub als erzeugende Scholle den skandinavischen Deckenbau mit seiner enorogenen Regionalmetamorphose geschaffen hat. Der Zusammenschluß beider Gebiete wiederholt das Verhältnis zwischen der Intrusionstektonik der moldanubischen Scholle und der Wandertektonik des Erzgebirges. Hier kann nicht näher ausgeführt werden, wie allgemein ein ähnlicher Verband von Intrusionstektonik und Wandertektonik die orogenen Bauten der Erde beherrscht. Nur auf die westlichen Randgebirge Nordamerikas sei hier hingewiesen, als auf das großartigste Beispiel eines nicht abgeräumten orogenen Baues, in dem das Großgefüge des Unterbaues aus der Oberflächentektonik und aus der Bezugnahme auf die sichtbaren Tiefengefüge erschlossen werden kann. Die Tektonik der Rocky Mountains ist im Vergleiche mit der der verbreiteten jüngeren Kettengebirge verhältnismäßig einfach, trotz der gelegentlich sehr weit ausgreifenden Überschiebungen, die darin enthalten sind. Sie bleibt stets nahe der Oberfläche und hat nichts gemein mit dem durch großzügig einheitlichen Schollenschub erzeugten, tief enorogen metamorphen Deckenbau der eigentlichen Orogene, wie der Alpen, der Varisziden oder der Kaledoniden. Zum kennzeichnenden Stile der Rocky Mountains gehören aber auch die zahlreichen, oft sehr ausgiebigen, im ganzen ziemlich unregelmäßig verstreuten vulkanischen Durchbrüche. Mit den ihnen zugeordneten Lakkolithen weisen sie auf sehr ausgedehnte tiefe Magmaherde, die das nicht metamorphe, breitgefaltete Gebirge an seiner Unterfläche berühren. Dort wird man eine Zone der Intrusionstektonik mit anschließender Migmatitfront und periplutonischer Metamorphose annehmen dürfen. Die Küstenkordilleren entsprechen dem angeschlossenen Überschiebungsbau oder der überfahrenen Zone, obwohl auch dort, wie es scheint, Deckenbau und Wandertektonik nicht in dem großzügigen Stile zur Entwicklung gelangt sind wie in den angeführten Hauptorogenen des Paläozoicums oder wie in den Alpen. Über dem Gebirge der grönländischen Ostküste befand sich etwa in der Zeit des Ordovic noch ein den Rocky Mountains vergleichbarer Bau mit verhältnismäßig einfacher Bruch- und Falten- tektonik, so wie anderseits unter den Rocky Mountains eine der grönländischen vergleichbare Intrusionstektonik anzunehmen ist. Den Küstengebirgen entsprechend war damals die skandinavische Gebirgskette der grönländischen Scholle unmittelbar angeschlossen.

Nur aus den allgemeinen Umrissen und aus der Füllung des Skandik mit den jungen Magmen hat WEGENER zunächst die Westwanderung Grönlands erschlossen. FREBOLD (1932, 1934) hat den Gedanken an den stratigraphischen und tektonischen Bezügen der den Skandik umlagernden Küsten eingehend erwogen, ohne aber zu einem entscheidenden Urteile über die Frage zu gelangen. Die aus den Beziehungen des beiderseitigen Grundgebirges gewonnenen neuen Belege besagen zugleich auch, daß die grönländische Tafel nicht von der ihr durch WEGENER zugewiesenen Lage ihren Ausgang genommen haben kann. Nach seiner Darstellung waren die Küstenstrecken bei den Lofoten an der grönländischen Ecke beim Scoresby-Sund am meisten einander genähert. Wenn man aber Grönland auf der Globusfläche in unveränderter Winkelstellung an Norwegen heranschiebt, so schließen die Schelfränder zu beiden Seiten des Skandik nahe aneinander. Von den durch die jüngere vulkanische Aufschüttung erzeugten Unregelmäßigkeiten wird man selbstverständlich abzusehen haben. Der nördliche Abschnitt der grönländischen Küste und die norwegische Küste zwischen Sogne Fjord und Nordkap liegen dann einander gegenüber. Der geradlinige Schelfrand im N vor der Spitzbergischen Küste rückt dann an die Nordküste von Grönland und mit ihm auch das nahe angeschlossene Spitzbergen. Manche Züge der Tektonik lassen sich dann besser von beiden Seiten her aneinanderrühen.

Es geraten damit unter anderem die Falten des Hekla Hoek-Systems im westlichen Spitzbergen in die nächste Nähe der vorpaläozoischen Falten an der nordgrönländischen Küste. Man versteht, warum bei Smöla an der norwegischen Küste zusammen mit einem Stück von periplutonischem Kristallin ein Lappen vom Ordovic in nordwestschottischer und amerikanischer Fazies erhalten geblieben ist. Die Schichtfolge des Mesozoicums in Grönland und Spitzbergen ist aus Meeren mit sehr wechselnden und zumeist geringen Tiefen abgesetzt worden. Sie ist örtlich zu vielgestaltig und abwechslungsreich, als daß man allenthalben eine nahe Übereinstimmung der Faziesfolgen jenseits der aneinandergeschlossenen Schelfbreiten erwarten dürfte.

Man kann auch leicht verstehen, daß die Trias des mittleren Ostgrönland recht verschieden ist von der Spitzbergens. Die Entfernung zwischen beiden Gebieten beträgt mehrere hundert Kilometer und es ist überdies wahrscheinlich, daß das nördliche marine Absatzgebiet von dem kontinentalen im S durch höher aufragendes grönländisches Grundgebirge getrennt gewesen ist. Um so bemerkenswerter ist die nahe Übereinstimmung zwischen dem Kohlen führenden Jura in der abgesunkenen Scholle auf Andöy in den Lofoten und den gleichen Stufen im gegenüberliegenden mittleren Ostgrönland. Als die Landmasse, die nach HOLTEDAHL als Quelle der aus dem S stammenden mächtigen Sedimente des Alttertiärs auf Spitzbergen

vorausgesetzt werden muß, stellt sich Nordgrönland in seiner ursprünglichen Lage dar.

Das Relief der Küstenstrecken enthält die Aufzeichnungen über die jüngsten Vorgänge. Über die vereinigten grönländisch-skandinavischen Strukturen waren die mesozoischen Transgressionen ausgebreitet, als die Loslösung in der Zone der alten Fuge begann. Die zuerst von DE GEER (1910) beschriebene junge Hebung rings um den Skandik geschah im Gefolge des Abrisses, durch den die Küstenstrecken von einer inneren Zugspannung befreit worden waren. Die gehobenen Steilküsten sind durch das fortschreitende Absinken von schmalen Randstreifen an Längsverwerfungen immer mehr nach einwärts verschoben worden. Auf dem erwähnten Streifen, bei Andöy, sind Reste der einstmals über das ganze Gebiet ausgebreiteten mesozoischen Decke erhalten geblieben. Auch in den küstennäheren Geländeformen ist die Wirkung der jungen Abbrüche klar verzeichnet. Die Mündungen der im Tertiär angelegten Flußläufe sind landeinwärts verschoben worden, und rückschreitende Erosion hat die meerwärts gelegenen Talstücke versteilt. Erst später sind die Täler durch die fjordbildenden Gletscher tiefer nachgeschürft worden.

Der den Steilküsten vorgelagerte Schelf besteht zum Teil aus den in Staffeln abgesunkenen und durch die Brandung ausgeglichenen Randstreifen. Den Küsten annähernd gleichlaufende untermeerische Stufen sind von HOLTEDAHL (1935, 1936) als junge Verwerfungen beschrieben worden und bezeugen, daß das Nachbrechen der Küsten noch bis in die jüngste geologische Zeit andauert.

Aus dem im tektogenetischen Gefüge enthaltenen Bewegungsbilde der Schollen um den Skandik ist die bedeutungsvolle Erkenntnis zu gewinnen, daß die treibenden Kräfte der äußeren Erdgestaltung im Laufe der geologischen Vergangenheit nach der entgegengesetzten Richtung umgestellt worden sind. Im Altpaläozoicum hat andauernder Druck von Laurentia gegen Fennoskandia den kaledonischen Deckenwulst geschaffen. Während eines langen nachfolgenden Zeitraumes sind die Schollen innig aneinandergeschweißt in ihrer gegenseitigen Lage verblieben und nur durch allgemeinere Beanspruchungen von außen an Bruchsysteme nach verschiedenen Richtungen zersplittert worden. Erst in der mittleren Tertiärzeit ist die Trennungsfuge neuerlich aufgelockert und die grönländische Scholle nach der entgegengesetzten Richtung abgetrieben worden.

Der ausführliche Beleg für diese Anschauungen wird in dem dritten Aufsätze der Reihe enthalten sein, die bei Bornträger (Berlin) unter dem Titel „Bausteine zu einem System der Tektogenese“ erscheint.

Zum Schriftennachweis.

- ANDERSON, E. M.: The Geology of schists of the Schichallion District. Quart. Journ. Geol. Soc. **79**. London 1923. S. 423.
- BACKLUND, H. G.: Contribution to the Geology of Northeast Greenland. Meddelelser om Grönland. **74**. Kopenhagen 1930. S. 209—295.
- BACKLUND, H. G. and P. QUENSEL: Karta över Berggrunden inom Västerbottens Fjällområde. Stockholm 1929.
- BACKLUND, H. G.: Zur Tektonik des nordschwedischen Hochgebirges. Geol. Rdsch. **26**. Stuttgart 1935. S. 429—432.
- BAILEY, E. B.: The Islay Anticline. Quart. Journ. Geol. Soc. **72**. London 1917. S. 123.
- The Structure of the South-west Highlands of Scotland. Quart. Journ. Geol. Soc. **78**. London 1922. S. 82.
- ELLES, G. L. and C. E. TILLEY: Metamorphism in Relation to Structure in the Scottish Highlands. Transact. Roy. Soc. **56**. Pt. III. Edinburgh 1930. S. 621.
- FLETT, J. S.: Petrology of the Moine Schists. Mem. of the Geol. Survey, Scotland. **93**. Edinburgh 1912. S. 38.
- FREBOLD, H.: Parallele Züge im geologischen Bau Ostgrönlands, Spitzbergens, der Bäreninsel sowie Norwegens. Naturwiss. **20**. Berlin 1933. S. 799—806.
- Tatsachen und Deutungen zur Geologie der Arktis. Meddelelser fra Dansk Geol. Förening. **8**. H. 4. Kopenhagen 1934. S. 301—326.
- DE GEER, G.: Kontinentale Niveauveränderungen im Norden Europas. Rep. IX. Internat. Geol. Congreß. Stockholm 1910. S. 854.
- GOLDSCHMIDT, V. M.: Die Injektionsmetamorphose im Stavanger Gebiete. Videnskap. selsk. skrifter. Kristiania 1920.
- HOLTEDAHL, O.: Paleogeography and Diastrophism in the Atlantic-arctic Region during paleozoic time. Amer. Journ. of Science. Ser. **4**. **49**. New Haven 1920. S. 1.
- Tectonic of arctic Regions. Intern. Geol. Kongreß P. IV. Madrid 1926. S. 1735.
- On fault lines indicated by submarine relief in the shelf area W. of Spitzbergen. Norsk Geogr. Tidskr. **6**. H. 4. Oslo 1936a.
- Den Norske Landmasses begrensning mot havet. Das. H. 5. Oslo 1936b. S. 453—566.
- Trekk av det skandinaviska fjelledeströks historie. Nordiska (19. skandinaviska) naturforskarmötet i Helsingfors. 1936. S. 129-145.
- KOCH, L.: Stratigraphy of Greenland. Meddelelser fra Dansk. Geol. Foren. **5**. 1920.
- Geologie von Grönland, aus Geologie der Erde, herausg. von KRENKEL. Berlin 1935. VIII u. 159 S.
- Über den Bau Grönlands. Geol. Rdsch. **27**. Stuttgart 1936. S. 9—30.
- KRANCK, E. H.: On the crystalline Complex of Liverpool Land. Meddelelser om Grönland. **95**. No. 7. Kopenhagen 1935. 122 S.

- PHEMISTER, J.: Scotland, the Northern Highlands, Brit. Regional Geology, Depart. of Scientific and Industrial Research. Geol. Survey and Museum. Edinburgh 1936. 98 S.
- READ, H. H.: The Grampian Highlands, Brit. Regional Geology, Depart. of Scientific and Industrial Research. Geol. Survey and Museum. Edinburgh 1935. 81 S.
- SUCESS, F. E.: A suggested interpretation of the Scottish Caledonide Structure. Geol. Magazin. **68**. London 1931. S. 71—81.
- Bausteine zu einem System der Tektogenese. I. Periplutonische und enorogene Regionalmetamorphose in ihrer tektogenetischen Bedeutung. Fortschr. der Geol. und Paläont., herausg. von W. SOERGEL, Berlin 1937. VIII u. 86 S.
- TEICHERT, C.: Untersuchungen zum Bau des kaledonischen Gebirges in Ostgrönland. Meddelelser om Grönland. **95**. Kopenhagen 1933.
- Nordostgrönland. Zs. deutsch. geogr. Ges. Jg. 1935. Berlin. S. 159-208.
- WEGMANN, C. W.: Sur le rôle tectonique de quelques gneiss ocellés de la chaîne caledonienne Scandinave. Eclogae Helvet. **19**. Basel 1925. S. 641.
- Preliminary Report on the Caledonian Orogeny in Christian X's Land (NE Greenland). Meddelelser om Grönland. **103**. Nr. 3. Kopenhagen 1935. 59 S.
- Zum Baubilde von Grönland. Mitt. naturforsch. Ges. **13**. Nr. 3. Schaffhausen 1937. S. 15—23.
- WILKINSON, S. B. (and J. J. H. TEALL and B. N. PEACH): The Geology of Islay. Mem. of the Geol. Survey Scotland, Explanation of Sheets 19 and 27. Edinburgh 1907.

Bei der Schriftleitung eingegangen am 19. April 1938.
