Zeitschrift: Eclogae Geologicae Helvetiae
Herausgeber: Schweizerische Geologische Gesellschaft
Band: 31 (1938)
Heft: 1

Artikel: Die Lineamenttektonik und ihre Probleme
Autor: Sonder, Richard A.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-159821

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: 02.10.2025

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

Die Lineamenttektonik und ihre Probleme.

Von **Richard A. Sonder**, Herrliberg.

Mit 12 Textfiguren.

Inhaltsverzeichnis.

Seite
A. Lineamenttektonische Klüftung und Spezialklüftung 199
B. Lineamenttektonische Klüftung und Radialtektonik 201
C. Der lineamenttektonische Kluftplan der Erde 205
D. Das Problem der Richtungskoordination unter spezieller Berücksichtigung der europäischen Verhältnisse 209
E. Lineamenttektonisches Kluftsystem und die Reliefierungsprozesse 212
F. Die geographischen Homologien 220
G. Definitionen und Begriffe 223
H. Zur Theorie der kontinentalen Homologien und der Zonalenlehre. 227
I. Die Haupttypen der Gebirgsbildung 231
K. Schlusswort 234
Literaturverzeichnis 237

A. Lineamenttektonische Klüftung und Spezialklüftung.

Der Begriff „Lineament" ist bisher wenig gebraucht worden und hat in der Literatur keine spezifische Deutung und Definierung erfahren. Es mag deshalb Erstaunen hervorrufen, wenn ich an der Spitze meiner Ausführungen feststelle, dass meines Erachtens unter dem Namen „Lineamenttektonik" ein den übrigen tektonischen Hauptbegriffen gleichwertiger Arbeitsbegriff eingeführt werden sollte, wie solche für Orogenese (Gebirgsbildung durch Faltung und Zusammenschub), Tafrogenese (Reliefierung durch radiale Verstellung längs Verwerfungsflächen), Epirogenese (Reliefierung durch radiale Verstellung infolge Rindenverbiegungen) und Plutonismus bestehen. Diese Ansicht möchte ich nachstehend begründen.

Man setzte bisher fast allgemein voraus, dass die Verwerfungsprozesse in der Erdkruste sich längs Bruchflächen und Rissen vollzogen, welche durch die verwerfenden Kräfte selbst geschaffen wurden, dass also Aufreissen der Verwerfungsspalte und Einsetzen der Verwerfung zwei mehr oder weniger gleichzeitige Vorgänge seien, welche auf die gleiche mechanische Beanspruchung zurückgehen. Diese Annahme ist jedoch gar nicht selbstverständlich. Es besteht die Möglichkeit, dass die Gleitbahnen der Verwerfungen schon vorher im Boden ausgebildet waren und dass ein präexistierendes Schollenmosaik der Kruste im Gefolge von bestimmten tektonischen Vorgängen und Einwirkungen „aktiviert" wurde. Diese Vorstellung ist vielfach die richtige. Sie führt sofort zur Frage nach Ursprung und Wesen dieser präexistierenden Verwerfungsbahnen.

Die Lineamenttektonik ist die Lehre von diesem in bezug auf die Dislokationen präexistierenden Klüftungsnetz der Kruste. Den Namen Lineamenttektonik habe ich deshalb gewählt, weil es sich keineswegs um Klüftungstektonik im allgemeinen handelt. Man muss bei den in der Erdkruste auftretenden Klüftungen unterscheiden zwischen:

1) Kluftsystemen, welche die Erdrinde als solche beherrschen und entstanden sind infolge grosstektonischer Beanspruchungen, welchen die Erdrinde fortwährend unterworfen ist, und

2) spezielleren Klüftungssystemen, welche verbunden sind resp. neu entstehen mit regionalen und lokalen tektonischen Prozessen.

Es gibt also in der Erdrinde nach dieser Auffassung zeitlich nicht fixierbare universelle Klüftungssysteme und zeitlich fixierbare lokale Klüftungssysteme. Die ersteren allein fasse ich zusammen unter dem Begriffe lineamenttektonische Klüftung, die letzteren kann man zusammenfassen unter dem Begriff Spezialklüftungen.

Spezialklüftungen entstehen vor allem in orogenen Zonen, wo während der Dislokationen die Gesteine durchklüftet werden. Diese Klüftungsvorgänge werden von den lokalen Beanspruchungsvorgängen bestimmt. Orogene Prozesse können ferner mechanische Effekte auf das weitere Umland ausstrahlen, wodurch dort ebenfalls Spezialklüftungen entstehen mögen, sofern die Gefügebeweglichkeit des bereits vorhandenen Klüftungsnetzes nicht ausreicht, die entstehenden mechanischen Beanspruchungen auszugleichen. Auch mit Intrusionsvorgängen und Intrusionskörpern mögen manchmal spezielle Klüftungsprozesse verbunden sein (Cloos'sche Granittektonik). Es soll also nachstehend die Existenz von solchen speziellen Klüftungsproblemen nicht bestritten werden. Die bisherige tektonische Lehrmeinung ging jedoch m. E. viel zu allgemein von der Vorstellung aus, dass alle in den Gesteinen vorhandenen Klüftungserscheinungen sich als solche Spezialklüftungen erklären lassen.

Es lässt sich feststellen, dass die statistisch vorherrschenden Klüftungsrichtungen oft höheren Ordnungen angehören, welche auf weite Distanzen hin verwandte Züge tragen. Eine rein topographische Betrachtung zeigt für sehr viele Erdgebiete, dass in der Reliefierung orientierte Ordnungen enthalten sind, welche sich ideell durch ein Linienschema aus parallelen Geraden wiedergeben lassen, wobei sich in einigen Fällen auch sich kreuzende Scharen von Linien ergeben. Der Kreuzungswinkel ist häufig annähernd 90°. Das Landschaftsbild ist gewissermassen lineamentiert. Manchmal lassen sich solche orientierte Richtungen geradlinig auf sehr grosse Distanzen verfolgen (Flussläufe, auffällige Reliefformen, Vulkanreihen etc.), weshalb einige amerikanische Geologen (z. B. Hill, Hobbs) von Lineamenten gesprochen haben.

Daubrée war vielleicht der erste, der darauf hingewiesen hat, dass geregelte Orientierungen, die schon vor ihm einige französische Topographen in Flussnetzen festgestellt hatten, verbreitete Erscheinungen sind und mit Klüftungssystemen in der Erdrinde zusammenhängen (Fig. 1). Eine besonders wertvolle Sammelbetrachtung, die sehr viel anschauliches Material zusammenbringt, verdankt man Hobbs (1911). Man kann erkennen, dass Landschaftsbilder in statistischem Sinne Lineamentierungsgitter enthalten, welche auch bei mechanischen Klüftungserscheinungen auftreten. Die orientierten geradlinigen Reliefordnungen, welche dem Geographen auffallen, hängen offenbar zusammen mit bestimmten, weithin sich gleichsinnig erstreckenden Klüftungsordnungen in der Erdkruste.

Kürzlich habe ich, von dieser Problemstellung ausgehend, eine tektonische Analyse der mittelamerikanischen Gebiete gegeben (Sonder 1936). Ich möchte

nachstehend versuchen, das lineamenttektonische Problem auf allgemeiner Basis zu begründen. Obgleich es mir im Rahmen einer kurzen Abhandlung nicht möglich ist, die gesamten theoretischen Grundlagen der Lineamenttektonik zu behandeln, hoffe ich doch, dass die nachfolgenden Ausführungen zur Verständlichmachung meiner Gedankengänge ausreichen werden.

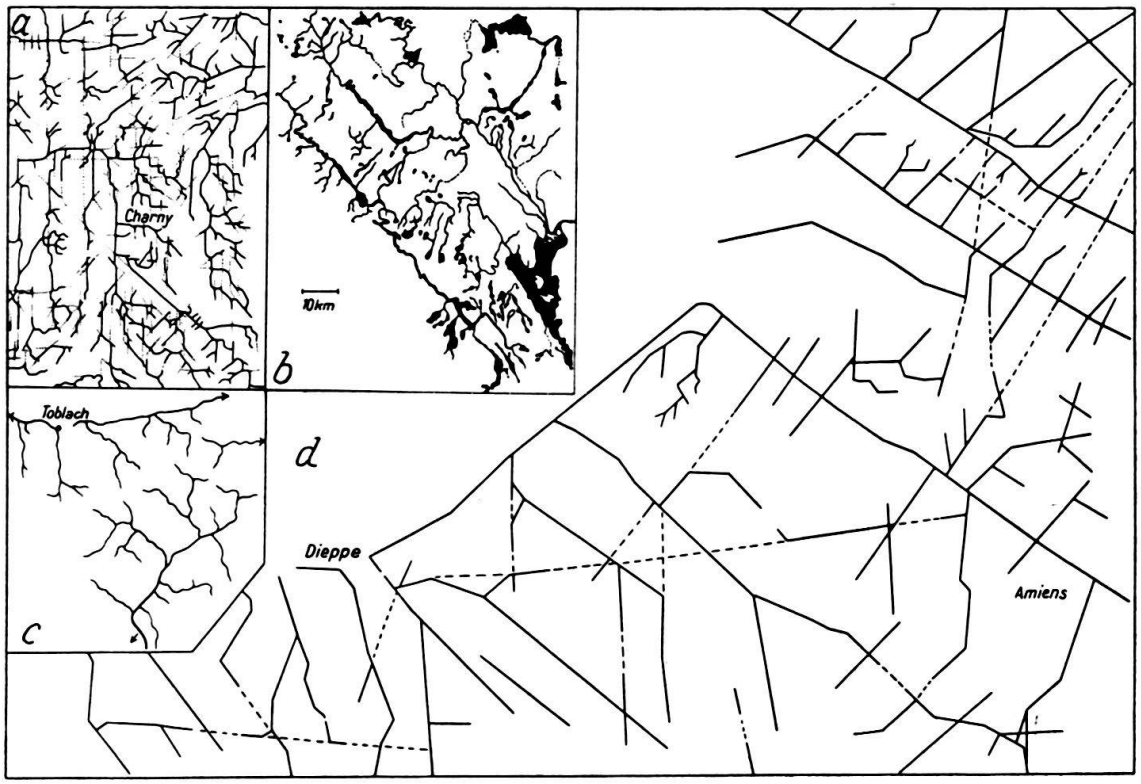

Fig. 1. *Lineamenttektonisch orientierte Flussnetze.*

a & *d*: Beispiele aus Frankreich nach DAUBRÉE.
b: Beispiel aus Ontario, Nipissing, glazial beeinflusst, nach HOBBS.
c: Flussnetz aus den Dolomiten nach HOBBS.

Zusammenhang zwischen Flusserosion und Klüftungssystem. Flussnetze vorzugsweise nach NW und NE orientiert, manchmal nach N und E, lassen auf eine universelle Klüftungsordnung schliessen.

B. Lineamenttektonische Klüftung und Radialtektonik.

Waren die Bruchlinien, längs welchen der Rheintalgraben, die ostafrikanischen Gräben usw. einbrachen, alt und präexistierend, oder sind sie erst mit diesen tektonischen Störungen entstanden? Soweit die bisherigen Kenntnisse reichen, kann diese Frage überhaupt nicht direkt nach dem Feldbefunde beantwortet werden. Wenn man anfänglich annahm, die Störung des Rheintalgrabens sei verursacht durch die Alpenfaltung, so haben sich andererseits schon verschiedentlich Stimmen erhoben, die sagen, dass die Anlage dieses Grabens doch wohl älter sein müsse. Auch über die Entstehung des skandinavischen Bruchspaltennetzes sind in der Literatur die verschiedensten Meinungen zu lesen. Immerhin ist wohl die Mehrzahl der Geologen der Meinung, dasselbe müsse mindestens teilweise alt sein. So kann dort erkannt werden, dass manche

sehr alte tektonische Richtung mit den Orientierungen des Bruchnetzes harmoniert, ferner hat man stellenweise in Bruchspalten Einlagerungen von kambrischem Sandstein gefunden.

Diese Argumente können aber wohl alle nicht als beweisend angesehen werden. Einen tieferen Einblick in das ganze Problem der Klüftung erhält man, wenn man die Ubiquität der Klüftungserscheinungen in Betracht zieht und die beobachtbaren Erscheinungen auf rationelle Grundlagen zu stellen versucht. Wenn die Rindenklüftung eine Spezialklüftung wäre, so könnten doch wohl Klüftungssysteme nur regionalen und lokalen Charakter haben, was offensichtlich nicht der Fall ist. Junge Sedimentgesteine, in deren unmittelbarer Nähe keine Dislokationen auftreten, und die selbst nicht wesentlich disloziert sind, müssten im allgemeinen keine Klüftung tragen. Dies trifft aber häufig nicht zu. So hat ja beispielsweise DAUBRÉE seine Ausführungen über Klüfte und kluftorientierte Flussläufe gerade anhand der Kreidekalke der atlantischen Küste Frankreichs bei Tréport entwickelt. Dort lässt sich an den Steilabbrüchen erkennen, dass die mesozoischen Ablagerungen von einer einigermassen regelmässig äquidistanten, steilstehenden Klüftung durchzogen sind. Die Äquidistanzen dieser Klüftung sind zwar sehr viel weiter als die der Kleinklüftung von verfalteten Schichten. Sie sind aber doch so eng, dass man sie in grösseren Aufschlüssen beobachten kann. Diese und andere Beobachtungen an allerjüngsten Ablagerungen (vgl. z. B. HOBBS 1911, Pl. 12, Fig. 1) scheinen anzudeuten, dass in der Erdkruste tatsächlich eine Grundklüftung existiert, längs welcher kleine Ausgleichbewegungen mehr oder weniger dauernd stattfinden, und welche nicht verheilt sind. Infolgedessen werden vermutlich tiefliegende Klüftungsmuster der Rinde auf neu sich bildende Auflagerungen übertragen. Die Tiefenkluft frisst sich nach oben durch. Diese Übertragung des Klüftungsplanes auf junge Auflagerungen ist demnach überall dort, wo sie auftritt, ein Beweis für die ständige Bewegungsunruhe längs des betreffenden Klüftungssystems.

Die Meinung ist heute noch allgemein verbreitet, man könne das Alter einer Klüftung stratigraphisch bestimmen. Dies gilt nur für Klüftungen, welche man zweifelsfrei als Spezialklüftungen festlegen kann. Wenn jedoch junge Sedimente älterem durchklüftetem Boden aufliegen, so werden im Unterlageboden, sobald in demselben mechanische Beanspruchungen sich ausgleichen, in erster Linie die alten Klüftungsmuster aktiviert werden, und nur bei ganz besonders heftigen, speziellen Beanspruchungen, die absolut nicht zum alten Kluftmuster passen, wirklich neue Klüftungssysteme entstehen. Es wird also wohl in weitaus den meisten Fällen nur eine reaktiviertes altes Klüftungsmuster auf die jüngeren Schichten übertragen. Wohl ist diese Klüftung in den überlagernden Sedimenten jünger als das Sediment; das Alter der massgebenden d. h. der tiefliegenden Klüftung, ist aber offensichtlich durch solche stratigraphische Feststellungen nicht erfasst.

Eine andere Erscheinung, die man möglicherweise in diesen Zusammenhang bringen muss, ist die Beobachtung, dass oberhalb von Klüften „Stiche" in die überliegenden Sedimente reichen, dass längs den Klüften die Schichten aufgerichtet sind. BORN, KEILHACK, LOTZE, SELZER u. A. haben derartige Erscheinungen beschrieben. Es bestehen dafür verschiedene Erklärungsmöglichkeiten. Da in Deutschland die Stiche vielfach in diluvialen Ablagerungen beobachtet wurden, besteht vor allem die Ansicht, dass es sich um Wirkungen von Eiskeilen in Frostböden während der Eiszeit handeln könnte. Diese Theorie klingt für viele Fälle recht plausibel, doch darf man die Möglichkeit nicht ausser Acht lassen, dass

es sich bei einem Teil von solchen Fällen (nicht bei allen!) um die Folgen eines „Kluftspieles", eines Arbeitens der Klüfte handeln könnte.

Wenn man ein durch mechanische Überbeanspruchung aufgesplittertes Material wechselnden Beanspruchungen unterwirft, so resultieren in dem entstandenen Blocksystem kleine differentielle Bewegungen. Das entstandene Kluftsystem „arbeitet" unter dem Einfluss der wechselnden Beanspruchungen. Ähnliche Vorstellungen dürften vielfach am ehesten in der Lage sein, die vorstehend genannten Festsellungen geologischer Natur zu erklären.

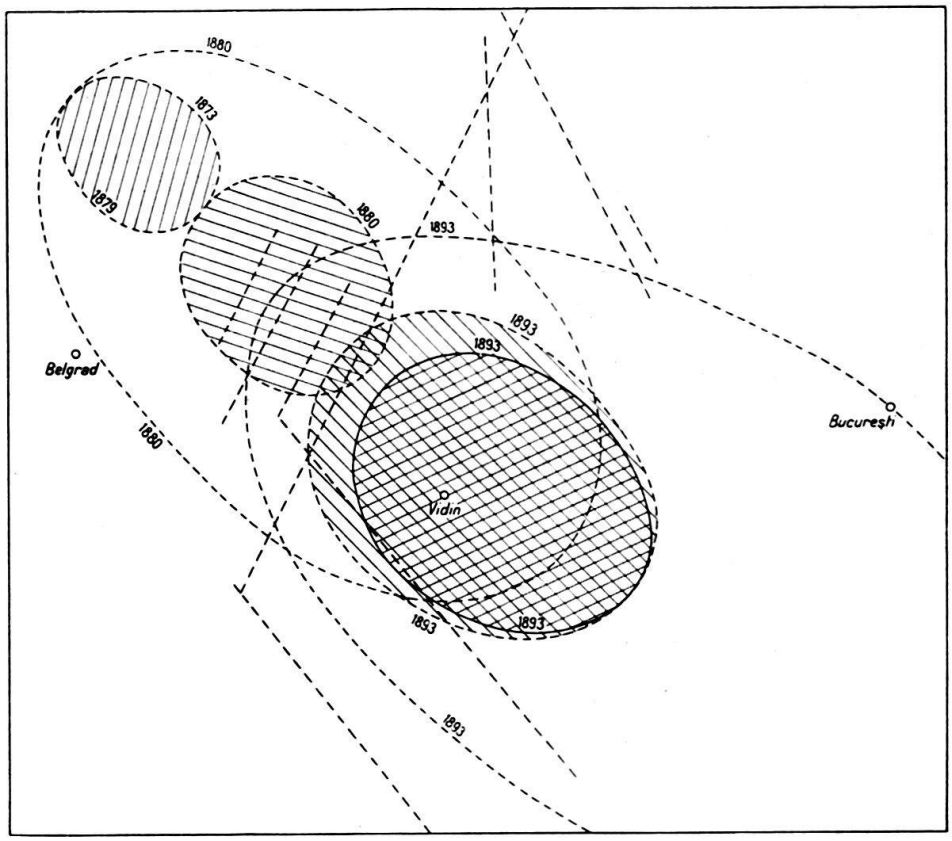

Fig. 2. *Beben im Balkan nach dem NW-Lineament*

mit sukzessiver Verlagerung des Herdes in der Kluftrichtung. Nach DRAGHICENU. (Gestrichelte Gerade: Verwerfungen.)

Die meisten grossen Balkanbeben verlaufen nach dieser Schütterrichtung, d. h. in NW-Fortsetzung der Aegäis (Durchgangsbereich der Rote-Meer-Island-Zonale, vgl. Fig. 7).

Das „Arbeiten" in den Kluftsystemen der Erdrinde erfolgt nun nicht, oder zum mindesten nicht immer, durch langsame, kontinuierliche Verschiebungen, sondern anscheinend meist in Form von grösseren oder kleineren Rucken, welche zu Erdbeben führen. Es ist den Seismologen schon von jeher aufgefallen, dass viele dieser Beben sich nicht von einem Punkt konzentrisch ausbreiten, sondern ausgesprochen linearen Charakter haben, also Bewegungen längs Klüften repräsentieren (Fig. 2). Gestützt auf solche Erfahrungen hat man von jeher versucht, Orientierungspläne über die aktiven Erdbebenklüfte zu entwerfen (seismotektonische Karten, HOBBS, SIEBERG u. A.). Für das Gebiet von Europa wären vor allem die diesbezüglichen neueren Arbeiten von SIEBERG zu erwähnen (Fig. 3).

Gestützt auf einige geologische Tatsachen und vor allem auf eine Reliefinterpretation habe ich seinerzeit (SONDER 1924, S. 226) für die Ägäis die Existenz eines rechtwinkligen Bruchliniensystems postuliert, welches nach NW und NE orientiert ist. Ein solches lineamenttektonisches Kluftnetz konstruiert auch SIEBERG (1932) für das gleiche Gebiet (siehe Fig. 3), und zwar durch Auswertung von seismologischen Beobachtungen. SIEBERG scheint dabei meine Arbeit, die er zwar zitiert, nicht gekannt zu haben, denn er betont, dass seine Erkenntnis betreffs dieser Brüche neu sei.

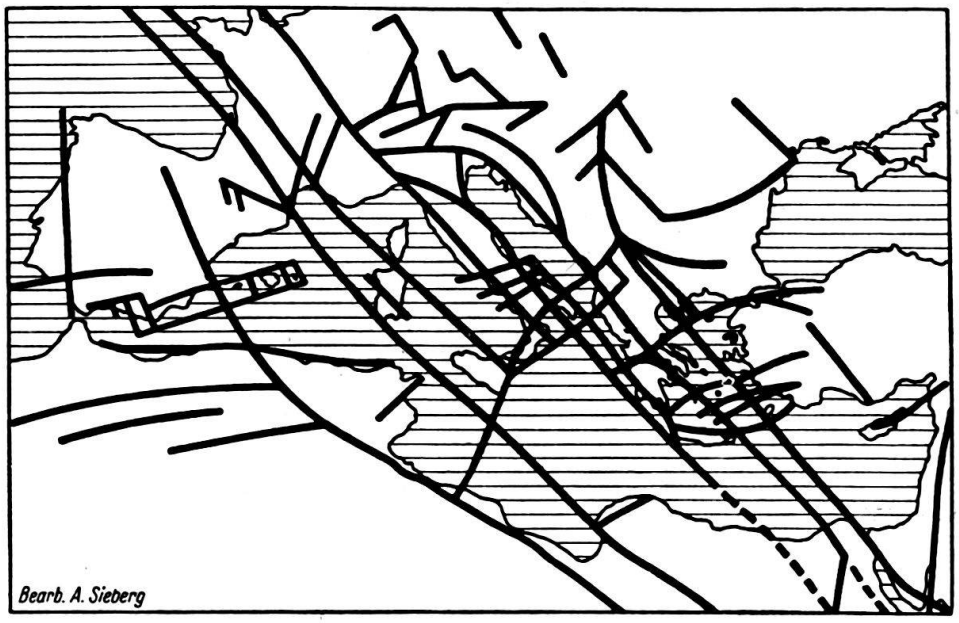

Fig. 3. *Seismotektonische Karte von Süd-Europa und Nachbarregionen.*

(Aus B. GUTENBERG, Handbuch der Geophysik, Bd. IV, 3. Lfg., von A. SIEBERG, p. 769, Fig. 426. Verlag Gebr. BORNTRÄGER, Berlin 1932.)

Dieses vielleicht zu systematische Bild der Schollenstruktur auf seismischer Grundlage gibt wohl nicht alle vorhandenen Schütterlinien wieder, stellt aber einen interessanten Beitrag zur Analyse der Krustenstruktur dar. Es zeigt, dass für die Beben statistisch ausgesprochene Richtungen massgebend sind, welche mit denen des Lineaments und der Tektonik zusammenfallen. Die hauptsächlichste heutige seismische Tätigkeit ist also eine lineamenttektonisch orientierte.

Auch für Mittelamerika haben sich voneinander unbeeinflusste, gleichsinnige Resultate ergeben. Nachdem ich meine diesbezügliche lineamenttektonische Arbeit zur Hauptsache abgeschlossen hatte, bin ich auf eine sehr viel früher veröffentlichte seismologische Lineamentkarte von HOBBS über Westindien gestossen, welche ziemlich genau die von mir aus dem Gelände rekonstruierten Lineamentorientierungen enthielt. Also auch dort deckt sich das Tektonik und Relief bestimmende Lineament genau mit dem aktiven seismologischen Lineament (siehe lineamenttektonische Skizze von Mittelamerika, SONDER 1936).

Die Verwerfungsmuster in radial dislozierten Gebieten zeigen, im Grossen betrachtet, Hauptbewegungen, welche sich in Zonen abspielen, z. B. Grabenbrüche. Im Detail lässt sich feststellen, dass kleinere differentielle Blockverstellungen mit sehr vielen, oft komplizierten Detailverwerfungsbahnen erfolgen (Fig. 4). Diese Detailverwerfungen laufen zueinander parallel (z. B. Grabenränder)

und enthalten oft noch andere parallele Systeme, die das erste System kreuzen (häufiger Winkel ca. 90°). Die Verwerfungsbahnen zeigen also das Prinzip der normalen Klüftungsordnung. Selbst sehr grosse Verwerfungsfelder können diese Anordnung zeigen. Als Beispiel verweise ich auf das grosse afrikanische Bruchsystem, in welchem sehr deutlich NW- und NE-orientierte Bruchliniensysteme von lineamenttektonischem Charakter statistisch hervortreten. (Fig. 5. Man konsultiere auch KRENKEL 1922, Taf. I, ostafrikanische Brüche.)

Angesichts solcher Verwerfungsbilder liegt der Gedanke sehr nahe, dass das, was uns allgemein als Radialdislokationen in der Tektonik entgegentritt, durch irgendwelche zusätzliche Beanspruchungen aktivierte und gegeneinander verstellte Krustenblöcke sind, die schon vor der Verwerfung existierten und durch ein Kluftnetz der Rinde untergeteilt waren. Kluftmessungen aus europäischen Gebieten zeigen ein statistisch sehr deutliches Heraustreten von solchen Orientierungen, welche im allgemeinen auch die tektonischen Leitlinien des europäischen Verwerfungsbaues sind. Auch für einige Gebiete N-Amerikas dürften bestehende Kluftmessungen derartige Beziehungen schon ziemlich einwandfrei ergeben. Detailbeobachtungen (vgl. HOBBS 1911, SEDERHOLM 1913) erweisen vielfach die Koinzidenz von normaler Klüftungsanordnung und Verwerfungsbahnen. (S. auch Bemerkungen zu Fig. 4.)

Es ist sehr unwahrscheinlich, dass das universell verbreitete System der jungen extraorogenen Radialstörungen etwa allein durch die junge tertiäre Orogenese angelegt hätte werden können. Eine solche Durchklüftung der Kruste ist eine ungeheure Arbeitsleistung. Es finden sich junge radiale Dislokationen und vulkanische Extrusionen über die ganze Erde hin, oft fernab von jeglichen orogenen Vorgängen. Sehr viel plausibler muss die Annahme erscheinen, dass durch alte Tradition und durch immer neue Anregungen infolge orogener Prozesse sich ein Kluftplan ausgebildet hat, der die Erdkruste in ein Schollenmosaik zerlegt. Es sind dann die speziellen Bedingungen während der orogenen Phasen, die dazu führen, dass in gewissen exponierten Stellen und Zonen dieses Schollenmosaik aktiviert wird, z. B. in Form lokaler Lockerungen des Gefüges, welche vulkanische Exudationen aus der Tiefe durchlassen oder radiale Schollenverstellungen erlauben.

C. Der lineamenttektonische Kluftplan der Erde.

Wenn in der Erdkruste durch alte Tradition überlieferte und entwickelte Kluftpläne vorliegen, so müssen sie durch gegenseitige Beeinflussung über die ganze Erdrinde hin aufeinander eingespielt sein. Schon HOBBS (1911) hat darauf hingewiesen, dass ein universeller Klüftungsplan zu existieren scheint. Die Hauptorientierungen der Verwerfungstektonik verlaufen vorzugsweise nach NW und nach NE. Solche Orientierungen findet man besonders im afrikanischen Kontinent (somalische und erythräische Richtung, s. Fig. 5); sie sind auch in der europäischen Tektonik enthalten (besonders die NW-Orientierung), ferner in europäischen Flussnetzen (Fig. 1), Kluftrosen (Fig. 11) und seismischen Strukturkarten (Fig. 3). Man findet sie wieder auf Island (Fig. 12). HOBBS und Andere haben ihre Bedeutung für den nordamerikanischen Kontinent erwiesen (s. Fig. 1b). Ferner treten diese Richtungen in Mittel- und Südamerika auf (SONDER 1936).

Die pazifischen Inseln zeigen an vielen Stellen ein auffälliges NW-Streichen, worauf schon DANA hingewiesen hat. In Tonking herrscht eine sehr ausgeprägte NW-Orientierung. Im östlichen Asien scheinen nach AHNERT (1926) NE-Orien-

tierungen in den Verwerfungen neben untergordneteren NW-Brüchen wesentlich zu sein. Am Westrand Asiens gegen Europa sind solche Orientierungen bekannt von der Ägäis bis nach der Halbinsel Kola. Während der Exkursion des letzten internationalen geologischen Kongresses konnte ich bei Kuybishev (Samara) beispielsweise eine sehr schöne vertikale Hauptklüftung messen, 55—60° NW und ca. 40° NE. Eine ebenso orientierte Hauptklüftung war verschiedene 100 km weiter östlich im Vorland des Urals zu sehen (Belebey).

Daneben (aber meist untergeordnet) macht sich auf der Erde ein komplementäres Lineament geltend, das N–S und W–E streicht. Der nächstliegende Einwand, der sich gegen eine solche Vorstellung von bevorzugten orientierten Richtungen erheben muss, ist der, dass Klüfte und Verwerfungen nach allen möglichen Richtungen streichen, so dass leicht irrige Vorstellungen erweckt werden könnten, indem Zwischenrichtungen einfach zu der einen oder andern Hauptgruppe gestellt würden. Hiezu ist zu bemerken, dass es zweifellos Gegenden gibt, die nicht in obiges Schema passen, ebenso wie es immer Klüfte gibt, die selbst dort schemawidrig verlaufen, wo das Schema zu herrschen scheint. Man muss sich aber vor Augen halten, dass es sich um statistische Feststellungen handelt, welche Ausnahmen ohne weiteres zulassen. Massgebend ist, dass die statistische Summe als solche die Feststellung belegt. So zeigen statistische Arbeiten über die Klüfte bestimmter Gebiete, wenn man sie in Form von Kluftrosen aufzeichnet, ganz ausgesprochene maximale Ausschläge nach sehr bestimmten Orientierungen (siehe z. B. Fig. 11, KAUFMANN 1931, TEICHERT 1927). In diesem Sinne allein können solche Angaben verstanden werden. Wenn man demnach feststellt, dass auf der Erde vor allem NW- und NE-Orientierungen herrschen, so ist damit gemeint, dass eine universelle Orientierungsrose im Bereiche dieser zwei Richtungen maximale Ausschläge aufweist. Lokale Gebiete können von Spezialklüftungen beherrscht sein, die anders orientiert sind.

Ein orientierender Blick auf den Globus zeigt, dass die Kontinente durch ihre Umrissformen die NW- und NE-Orientierungen betonen. Dieser Umstand weist darauf hin, dass zwischen den kontinentalen Grossformen und dem lineamenttektonischen Kluftnetz tiefere Zusammenhänge existieren müssen. Die kontinentalen Grossformen sind auf das generelle Lineamentnetz der Kruste einorientiert oder umgekehrt (s. auch SONDER 1936). Da die Kontinente sicher alte Formen sind, muss ein auf diese Formen einorientiertes lineamentektonisches Kluftnetz sicher ebenfalls sehr alt sein.

Zu Fig. 4: Die zahlreichen in Hinsicht auf Richtung und Bedeutung sehr verschiedenartigen Verwerfungen zeigen einen sehr komplizierten Sackungsvorgang an, welcher nur in Bezug auf die Hauptorientierungen einheitlichere Züge wahrt. Bekanntlich ist auch die Innenstruktur des Grabens kompliziert verworfen. Der Grabenbruch folgt also im Detail verschiedenen Sprungsystemen, von welchen man kaum annehmen kann, dass sie auf die Beanspruchung zurückgehen, welche den Absackungsvorgang als solchen verursachten. Im vorliegenden Bilde offenbart sich die Kruste als ein Schollenmosaik, das ganz den Charakter hat, als seien die einzelnen Schollenelemente des Grabens durch normale Klüftungssysteme im Felsgerüst der Kruste individualisiert. Durch die Arbeiten von DINU und RÖHRER ist nachgewiesen, dass die Kluftorientierungen im Schwarzwald und im Pfälzerwald senkrecht und parallel zu den Grabenstörungen verlaufen. Eine nähere Analyse der auftretenden Sprungrichtungen scheint eine statistische Systematisierung zu erlauben, wobei 3 Hauptklüftungssysteme bevorzugt sind, welche auch anderweitig in Europa eine grössere Bedeutung erlangen (siehe Fig. 6 & 7). In der hier vorgeschlagenen Nomenklatur sind es nach abnehmender Bedeutung für den Grabenbruch das asiatische, afrikanische und atlantische Lineamentsystem. Durch entsprechende Orientierungseinzeichnungen habe ich diese Verhältnisse deutlicher gemacht.

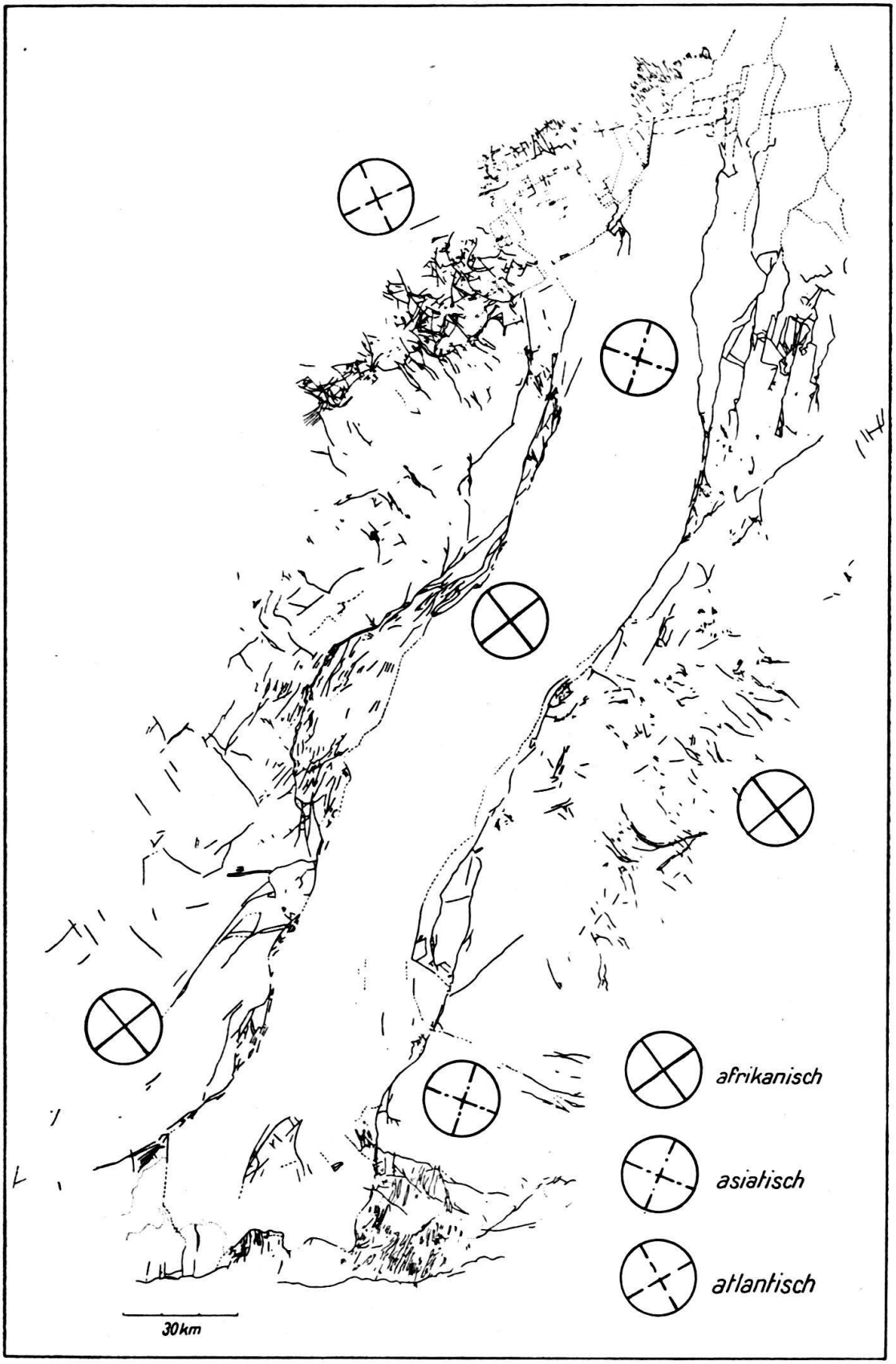

Fig. 4. *Die Detailverwerfungen des Rheintalgrabens.*

(Unterlage aus H. Cloos, Einführung in die Geologie, Tafel II zu Seite 408 von H. Korn, Verlag Gebr. Borntraeger, Berlin 1936.)

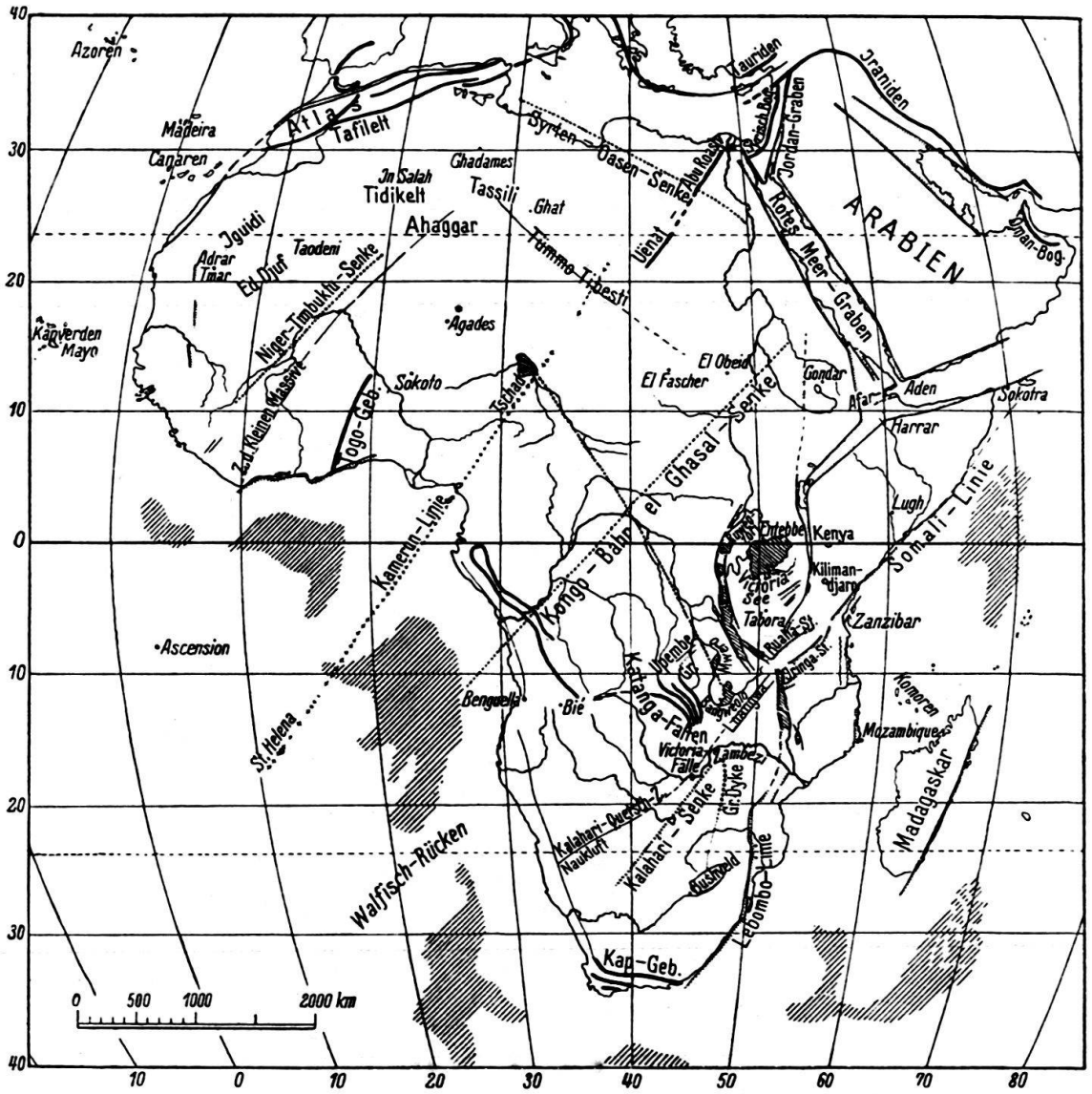

Fig. 5. *Der Grossbau Afrikas.*

(Aus: Regionale Geologie der Erde, Bd. 1: Die alten Kerne, Abschnitt V Afrika von E. HENNIG, p. 123, Abb. 21. Verlag Akademische Verlagsgesellschaft m. b. H., Leipzig 1938.)

Afrika ist vielleicht derjenige Kontinent, dessen tektonische Anlage am deutlichsten einen nach einheitlichen Gesichtspunkten orientierten Grossbau zeigt, wobei die äusseren Kontinentformen mit den tektonischen Leitlinien in deutlicher Harmonie stehen. Über die Bedeutung der orientierten Richtungen im Baue Afrikas ist demgemäss schon viel geschrieben worden, so von KRENKEL, STAHL, FOURMARIER u. A. Besondere Bedeutung hat die NW- und NE-Orientierung, welche in Flussläufen (z.B. des Nigers), Verteilung der Schwellen und Becken (siehe KRENKEL 1925), ja sogar in den den Kontinent umgebenden ozeanischen Gebieten zu Tage tritt. Ein besonderes Interesse erweckt der Verlauf des ostafrikanischen Grabensystems, welches als Grossystem deutlich die N–S-Achse wahrt. Wie aber KRENKEL's Darstellung der einzelnen Brüche zeigt (Bruchzonen Ostafrikas, Tafel I, Bornträger, Berlin 1922), haben sich die Detailverwerfungen grösstenteils diskordant zu dieser Richtung nach NW und NE eingestellt. Es zeigt sich also auch hier etwas ganz Analoges wie beim Rheintalgraben: Der Detailverlauf der Verwerfungen wird vorzugsweise durch die lineamenttektonischen Klüftungsbahnen bestimmt, welche, da sie auf die sicher sehr alte Kontinentalform abgestellt sind, sehr viel älter sein müssen als die Grabenverwerfungen selbst, die man als ganz jung erkannt hat. Das Sprungsystem der Brüche hat nicht das gleiche Alter wie die Brüche selbst und wurde deshalb durch Kräfte verursacht, welche mit dem Einbruch in keinem direkten Zusammenhang stehen.

D. Das Problem der Richtungskoordination unter spezieller Berücksichtigung der europäischen Verhältnisse.

Präzisere Überlegungen zeigen, dass die Formel einer Universallineamentierung der Kruste, nach welcher die Hauptorientierungen nach NW und NE gehen, keineswegs in der Lage ist, ein allseitig harmonierendes und aufeinander eingespieltes Klüftungsnetz in der Erdkruste zu schaffen. Tatsächlich kann dieses Problem mechanisch nicht einwandfrei gelöst werden. Ein wirklich geradliniges Sprungnetz wird geradlinige Grosskreise herausschneiden im Sinne der Meridiane. Lineamente können also auf grosse Distanzen hin gar nicht geradlinig und parallel verlaufen. Die Behauptung, dass die massgebenden Orientierungen NW und NE streichen, kann demnach bestenfalls nur eine Näherungsformel sein. Würde dies genau zutreffen, so müsste die Klüftung nach Loxodromen verlaufen, also in Form von Kurven, was kaum zutrifft.

Wenn in gewissen Gegenden das NW—NE-Klüftungssystem besonders ausgeprägt entwickelt ist, so werden andere Gebiete aus der Ordnung herausfallen müssen und Kompromisslösungen zeigen. Die Erdkruste muss, auch wenn sie ein auf die Gesamtkruste einorientiertes Kluftsystem enthält, zwangsweise in unterschiedlich lineamentierte Felder aufgeteilt sein, wobei örtlich diejenigen Klüftungsverhältnisse sich herausheben, welche unter Berücksichtigung der Lokalkonstellationen auf die Gesamtordnung des sphärischen Ganzen am besten einspielen.

Ist eine solche Synthese von disharmonischen Tendenzen im Erdbild nachweisbar und gehören tatsächlich die statistisch hervortretenden Reliefordnungen ausgezeichneten Systemen an? Reliefierungseigentümlichkeiten setze ich nachstehend direkt mit der Orientierung des Krusten-Lineamentes in Parallele und werde die Berechtigung dieses Vorgehens in einem späteren Abschnitt begründen. Als Untersuchungsbeispiel greife ich den europäischen Boden heraus. Europa scheint nämlich in bezug auf die Grossklüftung gewisse Kompromisse enthalten zu müssen. Im Süden liegt der afrikanische Kontinent mit seinen ausgeprägten NW- und NE-Orientierungen. Im Osten liegt die grosse asiatische Masse, der man wohl auch ein individuelles Lineament zuschreiben muss, obwohl sie noch wenig bekannt ist, und im Westen liegt der nordamerikanische Kontinent, der ebenfalls ein nach NW und NE orientiertes Lineament enthält.

Europa ist ein im Vergleich mit andern Kontinentalmassen relativ auffällig und stark gegliedertes Gebilde, wobei bestimmte Richtungen eine ausgeprägtere Rolle spielen. Auch die Geologen sind dazu gekommen, in Europa bei tektonischen Betrachtungen bestimmte Richtungen hervorzuheben, welche im Gewirre der verschiedensten Orientierungen eine besondere Bedeutung zu haben scheinen. Man hat diese Orientierungen teilweise nicht sehr einheitlich benannt. Man spricht von rheinischer, herzynischer, varistischer, erzgebirgischer, franconischer Richtung, von Karpinski'schen Linien usw. Weigelt hat diese Orientierungen in dem beigegebenen Diagramm (Fig. 6) zu systematisieren versucht. Er spricht dabei von einem Kluftrosendiagramm, doch ist klar, dass auch markante geographische und tektonische Orientierungen entsprechend verlaufen.

Wenn man eine Richtung mit ihrer um 90° gedrehten Gegenrichtung als System bezeichnet, so wären demnach in Deutschland hauptsächlich 3 bevorzugte Systeme enthalten, welche man nach Weigelt's Diagramm als franconisches, rheinisches und varistisches bezeichnen kann. In Fig. 7 habe ich versucht, die massgebenden Orientierungen im europäischen Bereiche in ihren verwandtschaftlichen Beziehungen darzustellen.

Die Skizze zeigt, dass die regionalen Richtungen Europas tatsächlich auf eine grossräumige Verwandtschaft zurückgeführt werden können, welche sich wie folgt ergibt. Das varistische Orientierungssystem koinzidiert mit dem afrikanischen Lineamentsystem und müsste deshalb, wenn man diese massgebende Beeinflussung des europäischen Bodens durch den grossen Nachbar im Süden anerkennt, eigentlich als das afrikanische System bezeichnet werden. Diese

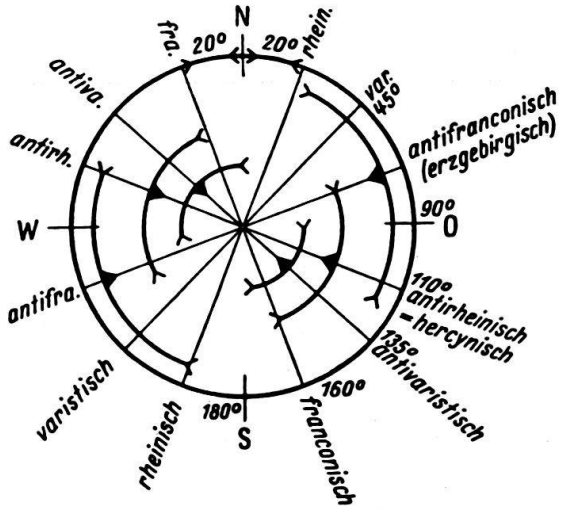

Fig. 6. *Kluftrose der varistischen Richtungen.*

(Aus: B. Gutenberg, Handbuch der Geophysik, Bd. III, 1. Lfg., von F. v. Wolff, p. 128, Fig. 31. Verlag Gebr. Borntraeger, Berlin 1930.)

In dieser Bezeichnung kommt die bisher allgemein geltende Auffassung zur Geltung, dass Kluftsysteme durch datierbare orogene Prozesse erzeugt werden. Dies dürfte nur für eine bestimmte Klasse von Klüftungen gelten, welche ich als Spezialklüftungen bezeichne. Das in dieser Kluftrose charakterisierte Klüftungsnetz des deutschen Bodens ist sicher durch uralte prävaristische Tradition im europäischen Boden entstanden und dürfte im Gegenteil für die varistische orogene Tektonik und ihre Orientierung mitbestimmend gewesen sein. Im übrigen dürften sicherlich im Boden Europas nicht nur die universellen 3 Klüftungssysteme stecken, welche in dieser Kluftrose zum Ausdruck kommen, und über deren Herkunft in Fig. 7 weiteres ausgesagt wird. Die vergangenen Grossfaltungsperioden mit der damit verbundenen intensiven Umarbeitung des Bodens dürften auch Spezialklüftungen geschaffen haben, welche dann eventuell zeitliche Namengebungen rechtfertigen würden. Diese Verhältnisse dürften es teilweise erklären, dass bei Kluftbeschreibungen lokaler Natur, sehr verschiedenartige Kluftsysteme aufgestellt wurden, welche den verschiedensten Richtungen der Windrose angehören. (Siehe in diesem Zusammenhang Foucar 1936, sowie Schlusswort.) Alle diese Feststellungen können die Tatsache nicht verwischen, dass, statistisch betrachtet, sowie unter Berücksichtigung der massgebenden Orientierungen in der Reliefierung Europas und speziell Mitteleuropas, die drei Systeme besonders hervortreten, welche ich als afrikanisch, asiatisch und atlantisch bezeichne (Fig. 4, 7).

Orientierung ist für viele Teile Europas die massgebende und verantwortlich für viele auffällige Reliefformen z. B. im Mittelmeer. Die tiefere Schollenorientierung Europas reagiert seismisch hauptsächlich nach diesem System (vgl. Fig. 3). Das rheinische System identifiziert sich mit dem nordamerikanischen Lineament und findet sich auch in der Nordatlantik. Da Asien direkt Nordamerika gegenüberliegt, muss auch das bisher weniger bekannte asiatische Lineament, nach Lage und Asiens Form zu schliessen, identisch sein mit dieser

Richtung. Da Europa Asien benachbart liegt, wird man dementsprechend das rheinische System in Europa als das asiatische bezeichnen. SUESS führte die KARPINSKI'schen Linien auf Einflüsse aus Asien zurück. Das franconische System zeigt gewisse Orientierungen, welche man im atlantischen Ozean wiederfindet. Die erzgebirgische Richtung Europas ist mit dem südamerikanischen Lineament verwandt. Der Grosskreis, welcher die SE-Küste Südamerikas begrenzt, weist bei Verlängerung in Europa nach der erzgebirgischen resp. antifranconischen Orientierung. Die franconischen Einschläge gehen in bezug auf grosstektonische Verwandtschaft am ehesten auf Beeinflussungen zurück, die aus dem SW kommen, so dass dafür der Begriff atlantisches System angebracht ist.

Fig. 7 veranschaulicht die Verwandtschaft der Orientierungsverhältnisse, welche man von solchen Voraussetzungen ausgehend postulieren kann. Auf diesem Wege können tatsächlich viele statistische Orientierungscharakteristika des europäischen Baues eine tiefere Erklärung finden. Damit möchte ich keineswegs behaupten, dass nun alle vorkommenden massgebenden Richtungen exakt in ein solches Schema passen sollten. Es ist sehr wohl denkbar, dass (selbst bei einem allgemeinen Zusammenspiel der lineamenttektonischen Klüftung) sich regional Orientierungsbilder ergeben, die irgendwie intermediär liegen. So habe ich z. B. die Westküste Norwegens keinem System zugeordnet, weil sie weder genau zu System III noch genau zu System II passt, sondern intermediär liegt. Die Frage, wie weit die Systematisierung getrieben werden kann, möchte ich offen lassen (siehe auch Bemerkungen zu Fig. 11). Allein durch eingehende statistische Untersuchungen, wofür teilweise noch Unterlagen fehlen, kann dieses Problem gefördert werden. Es spielen hier vielleicht noch andere Fragen mit, wie Umschlag in um 45° gedrehte komplementäre Systeme.

Zu einem vollen Verständnis kann man letzten Endes nur kommen, wenn man die Verhältnisse am Globus studiert. Es zeigt sich dann, dass die Lineamentsysteme I, II und III, welche auf dem europäischen Boden sich nicht decken, trotzdem so zueinander liegen, dass sie längs gewisser Zonen harmonisch ineinander übergehen. Ein solcher harmonischer Übergang vollzieht sich, wie bereits betont, über den Skandik vom asiatischen zum nordamerikanischen Hauptlineament. Wie aus meiner Mittelamerikastudie hervorgeht, vollzieht sich in Mittelamerika ein Übergang vom nordamerikanischen nach dem südamerikanischen Lineament. Die Projizierung des südamerikanischen Lineaments nach NE führt harmonisch zum atlantischen Lineament, welches jedoch nach Europa fortprojiziert keineswegs mehr mit dem asiatischen koinzidiert, trotzdem letzteres über Island ins nordamerikanische eingeht. Ferner sieht man, dass das atlantische Lineament, welches man im Bereiche der Azoren feststellen kann (siehe Tiefenkarte der „Meteor"-Expedition), nicht nur auf die Verlängerung des NE-Lineamentes von Südamerika eingestellt ist, sondern in der Querrichtung mit dem afrikanischen NW-Lineament koinzidiert. Die atlantischen Orientierungen gehören deshalb in diesem Gebiet auch zum afrikanischen System. wie auf der Skizze (Fig. 7) angeführt. Das atlantische Lineament ist erklärbar als eine Interferenzwirkung des westafrikanischen NW-Lineamentes mit dem südamerikanischen NE-Lineament. Wie die Tiefenkarte des nördlichen Atlantik zeigt, ist der Atlantikboden nach diesen Richtungen verworfen. Diese Erscheinung des scheinbaren harmonischen Übergangs längs gewisser Zonen, mit Winkeldiskordanzen andernorts, ist beispielsweise der Tatsache gleichzustellen, dass am Äquator alle Meridiane parallel laufen, während sie es in grösserer Äquatordistanz nicht mehr tun. So erscheint im Bereiche von Afrika die NW-Lineamentierung einigermassen parallel. In den

Atlantik projiziert, entspricht der westafrikanischen NW-Richtung die atlantische NW-Richtung (III). Infolge einer besonderen Zonalenwirkung[1]) wird auch die ostafrikanische NW-Richtung bis nach Island hinaus projiziert. Die Island–Rote-Meer-Zonale steht aber im Nordatlantik in deutlicher Winkeldiskordanz zum atlantischen Lineament, d. h. die Lineamente Afrikas sind in Wirklichkeit nicht parallel, sondern haben die Tendenz, längs Grosskreisen sich fortzusetzen (siehe auch Bemerkungen zu Fig. 11). Wie ich später noch begründen werde, gehen die Hauptlineamentierungstendenzen von den kontinentalen Körpern aus, so dass dieses gegenseitige Zusammenspiel der Lineamente letzten Endes durch die gegenseitige Lage der Kontinente bestimmt wird.

Aus solchen Betrachtungen bekommt man den Eindruck, dass eine Regelung der Erdkruste nach bestimmt orientierten Klüftungssystemen unbedingt existiert, wobei z. T. verwickeltere Orientierungen durch die zwangsläufig eintretende sphärische Interferenz zustande kommen. Ferner erkennt man, dass offenbar längs bestimmten Zonen eine bevorzugte Einregelung des Lineaments auf grössere Distanzen erfolgt. Das Zustandekommen von Gürteln, längs welchen gleichsinnige Lineamentierungstendenzen besonders weit ausstrahlen, dürfte aus den allgemeinen geomechanischen Grundlagen erklärbar sein, auf welche ich in Abschnitt H eintrete.

E. Lineamenttektonisches Kluftsystem und Reliefierungsprozesse.

Die Arbeiten von Daubrée, Hobbs, Salomon, Sederholm und Anderen haben viel Material beigebracht, welches Beziehungen zwischen Klüften und Relief belegt, und für welche man nicht ohne weiteres eine Erklärung in der unterschiedlichen Weichheit der Schichten oder im tektonischen Bau findet. Deecke hat in einer längeren Artikelserie seinerzeit solche Verhältnisse aufgezählt, für welche er allerdings kaum eine plausible Erklärung geben konnte.

Da man oft nur das anzuerkennen geneigt ist, was man deuten kann, wollen viele Geologen solche „imaginären landschaftlichen Formierungstendenzen" einfach abstreiten. Bekannt sind die diesbezüglichen Diskussionen über das Fjordproblem oder Kjerulf's Bruchspaltenbild von Norwegen. Man sollte aber nie vergessen, dass Tatsachen eben Tatsachen bleiben und alle geregelten Züge im Erdbild, welche einer statistischen Analyse standhalten, unbedingt eine Erklärung verlangen. Wenn eine solche Erklärung nicht gegeben werden kann, so beweist das beim heutigen Stande des geologischen Wissens wohl viel eher mangelndes Verständnis als Spiel des Zufalls. Der Zufall müsste ja gerade bei den Fragen der geographischen Homologien und oben genannten Auffälligkeiten ein wahrer Zauberer sein, weil die konstante Wiederkehr solcher landschaftlicher Formierungstendenzen weit ausserhalb der normalen Wahrscheinlichkeit liegt. Ich möchte nun nachstehend versuchen, die Wege aufzuzeigen, auf welchen zum mindesten viele dieser landschaftlichen Formierungsprobleme einer Erklärung näher gebracht werden können.

[1]) Näheres siehe unten, Abschnitt H 3, 4.

Zu Fig. 7: Die Skizze wurde nicht nach bestimmten Projektionsmethoden entworfen; es wurde vielmehr die Darstellung so gewählt, dass die massgebenden Parallelisationen auf der Skizze einigermassen die Parallelität ohne zu grosse Flächenverzerrung wahren. Die Rote-Meer-Island-Zonale ist nicht gekrümmt in der Natur, sondern verläuft längs eines Grosskreises. Um die Verhältnisse richtig zu sehen, muss man einen Globus zuziehen.

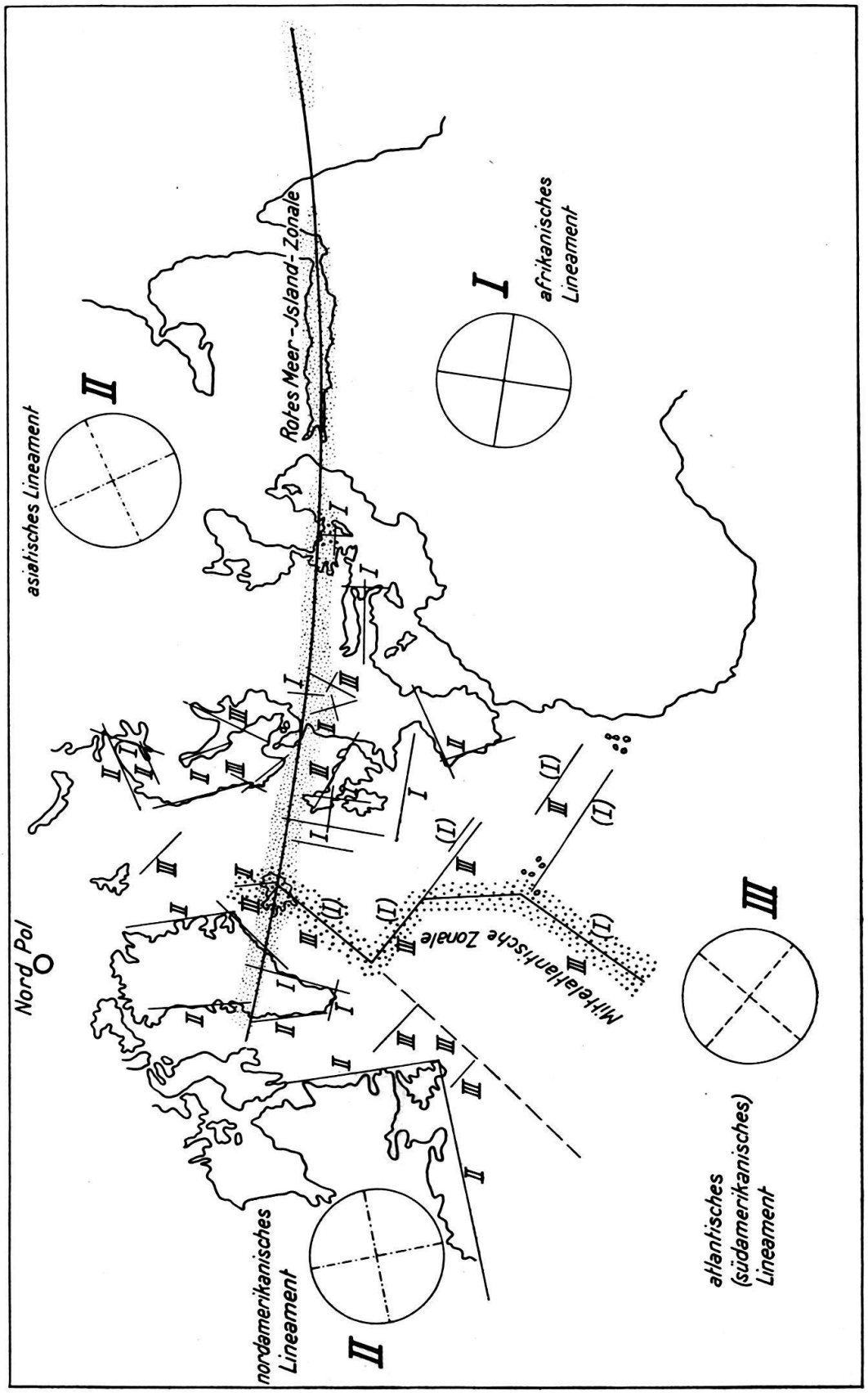

Fig. 7. *Das Grossrelief von Europa und der Nachbargebiete und sein Zusammenhang mit den Hauptlineamentsystemen der Nachbarkontinente.*

a) Erosive Reliefierung und lineamenttektonische Klüftung.

1) Fluviatile Erosion.

Nach dem Vorstehenden sind viele Klüfte nicht tote, sondern sich bewegende Fugen, welche junge Deckschichten bis zur Oberfläche durchfressen. Wasserläufe werden solche aktiven Fugen aufsuchen, wodurch lineamenttektonisch orientierte Flussnetze entstehen. Dieses Orientierungsprinzip muss sich in relativ flachen Gebieten, wo an sich ein geringer Erosionsanreiz besteht, unter Umständen massgebend entwickeln können (Fig. 1).

2) Eiserosion.

Arktische Gebiete, die einer früheren Vergletscherung anheimgefallen sind, zeigen häufig einen nackten Felsboden, dessen Reliefierung oft in besonders auffälliger Weise lineare und parallelscharige Orientierungen zeigt. Ein Beispiel bietet Fennoskandien (finnische Seenplatte, norwegische Fjorde usw.). KJERULF, SEDERHOLM und Andere haben anhand dieser Landschaftsbilder Bruchliniensysteme postuliert, wobei teilweise der Meinung Ausdruck gegeben wurde, dass tektonische Brüche und Radialdislokationen bei der Ausbildung der tieferen Hohlformen (Fjorde, Seen) mitspielen könnten (s. auch GREGORY, 1913). Diese Vorstellungen sind z. T. aufs heftigste bestritten worden, weil tektonische Verwerfungen nur in sehr vereinzelten Fällen wirklich nachgewiesen werden konnten. Man hat daneben auch versucht, die Reliefierung hauptsächtlich aus der älteren tektonischen Struktur zu erklären (siehe z. B. KOLDERUP). Die verschiedenen Standpunkte haben alle etwas für sich. Zweifellos ist jedoch die Reliefierung in starkem Masse von der Klüftungsstruktur des Bodens abhängig und beeinflusst.

Solche Feststellungen müssen aber noch nicht die Vorstellung einschliessen, dass damit effektive tektonische Lageverstellungen, Radialdislokationen oder dergl. erwiesen sind. Der tektonische Zermürbungsprozess, der die Aufklüftung bewirkt, ist offensichtlich nicht gleichmässig. Zonen grösserer und geringerer Durchklüftung werden miteinander wechseln. Es existierten sicher lockerer gepackte Felsnester neben fester gepackten, so dass der Erosion und Wegschaffung sehr unterschiedlicher Widerstand entgegengesetzt wurde. Diese lockeren und eventuell ausgeprägteren Klüftungszonen werden analog orientiert sein wie das massgebende Klüftungsnetz und einer selektiv stärkeren Ausräumung anheimfallen.

Über die Gletschererosion ist viel diskutiert worden. Vielfach geht die Meinung dahin, dass Gletscherschliff als solcher nur geringe Abbauwirkung hervorgerufen hat. Aus solchen Gründen wurde eine grössere Erosionskraft der Gletscher überhaupt in Frage gestellt. Damit geht man vermutlich zu weit. Die Gletscher besitzen auf alle Fälle ein sehr grosses Abtransportvermögen für loses Blockmaterial, einen Vorgang, den SEDERHOLM mit dem Begriff Detraktion belegt hat. Aufgeklüftete Zonen sind ideale Ausräumungszonen für Gletscher, sobald die Klüftung genügend stark und die Fugen einigermassen gelockert sind. In die Fugen eindringendes und dann gefrierendes Wasser mag in der Lage sein, Blöcke auszuheben oder zu sprengen, wodurch der Ausräumungsprozess eingeleitet wird und die Gesteinszerstörung sich im Boden fortfrisst. Es ist nun ohne weiteres denkbar, dass der Gletscher, der auf dem nackten Felsgerippe liegt, den resistenten Untergrund nur wenig abhobelt. Nester stärkerer Durchklüftung und lokaler Auflockerung werden dafür selektiv stark ausge-

räumt. Dadurch entstehen Hohlformen, die später zu Seen werden, und die in ihrer Umrandung den massgebenden Orientierungen des Kluftnetzes folgen, ja eventuell direkt von Kluftflächen begrenzt sind. Ein Beispiel für Hohlformen, die in ihrer Morphologie ganz an Grabenbrüche erinnern, ohne solche zu sein, ist der von SEDERHOLM beschriebene Päijänne-See in Finnland, mit einer Seentiefe in Fels von 93 m.

Selektive Eiserosion schafft Seenplatten mit so auffällig orientierten Einschlägen wie beispielsweise die finnische. Sobald das Gefälle gegen Niederungen grösser wird, wächst auch die detraktive Abräumungskraft und die Frostzerstörung am Gletschergrund durch Spannungsschwankungen[2]), so dass im Übergang vom Hoch- zum Tiefland Zonen von Lockerklüftung bis zu grossen Tiefen ausgeräumt werden und Fjordlandschaften entstehen, welche in ihrer Topographie den Stempel von Klüftungsbildern tragen, der für echte Fjorde so bezeichnend ist (Fig. 8). Man sehe hiefür auch die neuere Arbeit von PEACOCK über die Fjorde von Britisch-Kolumbien nach. So kann man den „tektonischen Charakter" der Fjorde, den GREGORY, DE GEER und Andere so sehr betonen, vollständig befriedigend erklären, ohne gegen die anderen Tatsachen zu verstossen, welche gegen eine „tektonische" Theorie sprechen. Auch die fast allgemein feststellbare Übertiefung der Fjorde im Bereich der grössten Niveaudifferenzen, d. h. wo der Eisdruck und damit vermutlich die detraktive Ausräumungskraft und selektive Frostzerstörung durch Spannungsschwankungen für lockere Klüftungszonen am grössten ist, spricht für eine solche Erklärung. Der lange Sognefjord in Norwegen weist eine Übertiefung im Innern gegen die Mündungsbarriere von ca. 1000 m auf. Ausserdem ist bekannt, dass Fjordlandschaften (mit ganz wenigen Ausnahmen, die vielleicht keine echten Fjorde sind) nur in Gebieten junger Vereisung entwickelt sind (siehe GREGORY).

Bei den Alpen hat man immer wieder versucht, die Durchtalung mit den tektonischen Strukturverhältnissen zu erklären. Einige solcher Erklärungsversuche scheinen einigermassen plausibel, andere fragwürdig. Sicher ist, dass es hier sehr viele Durchtalungsprobleme gibt, die keinerlei Zusammenhang zu haben scheinen mit dem tektonischen Bau, ja sogar den tektonischen Verhältnissen direkt widersprechen. Daraus hat man die Folgerung gezogen, dass die Anlage vieler Durchtalungen in bezug auf das tektonische Alpengebäude präexistierend war. Wenn man nun das Talsystem der Alpen auf Regelhaftigkeiten hin betrachtet, so fallen sofort gewisse Parallelorientierungen auf, welche nicht auf das natürliche Gefälle des entstehenden Alpenwalles eingestellt sind, sondern ausgesprochen lineamenttektonische Züge tragen (vergl. z. B. Fig. 1c). Es wären aus der Schweiz beispielsweise zu erwähnen: der rechtwinklige Knick des Rhonetales bei Martigny, die einigermassen entsprechende Knickung Thunersee–Brienzersee, die NE-streichende Senke Brünigpass–Sarnersee–Vierwaldstättersee, der Vierwaldstättersee und Walensee–Glarnerland (E–W- und N–S-Orientierungen). Auffällig sind die NNE-Orientierungen der oberitalienischen Seen vom Lago Maggiore bis zum Gardasee, welche im Norden ihr paralleles Gegenstück haben im Rheintal nach St. Margreten und in ihrer Orientierung der rheinischen Richtung entsprechen, ferner die NW-Orientierungen der Mittellandseen, speziell

---

[2]) FINSTERWALDER und BLÜMCKE haben die Bedeutung der Frostwirkungen hervorgehoben, welche durch Spannungsschwankungen am Gletscherboden entstehen können. SALOMON (1900) betonte die Wichtigkeit der Klüftung für die erosive Wirkung der Gletscher. Ich glaube, dass die Klüftung kristalliner Gesteine vielleicht einfach erklären kann, wieso der Gletscher in sprödem kristallinem Felsboden paradoxerweise stärker erodieren kann als in weicheren tonigeren Gesteinen, ja vielleicht sogar in Moränen.

des Bodensees. Die vorstehend angeführten Orientierungen erinnern sehr stark an orientierte Reliefierung, die mit dem Lineament des Bodens in Verbindung steht. Es ist vermutlich die generelle Lineamentierung des europäischen Rindenstückes, welche neben der jungen Tektonik das Durchtalungsbild des Alpenkörpers mitbeherrscht, und damit den Schlüssel bilden mag zu vielen alpinen Durchtalungsvorgängen.

Fig. 8. *Fjordbildungen bei Julianehaab in Südgrönland.*

Fjordlandschaften sind in Gebieten mit subrezenter Eisbedeckung beheimatet. Das Eis reliefiert das Gelände nach dem Klüftungsgefüge. Dieser Zusammenhang wird besonders deutlich im mittleren Fjordfelde, wo die Wasserwege direkt ein Kluftnetz anzuzeigen scheinen. Die gestrichelten Linien stellen nach den Aufnahmen von E. WEGMANN 1938 vulkanische Gänge dar (zur Gardarformation gehörend). WEGMANN beschreibt auch die Klüftung, welche dem Fjordsystem parallel geht, wobei auf dem festen Lande Klüfte auf grosse Distanzen herauspräpariert worden sind und als geradlinige Furchen verfolgt werden können. Nach WEGMANN (schriftliche Mitteilung) sollen für die Küstenformen auch jüngere Postgardar-Verwerfungen mitbeteiligt sein. Man kann also an diesem Beispiel sehr schön erkennen, wie die Lineamentsysteme des kristallinen Grundes sowohl die Orientierungen der vulkanischen Gänge, wie auch die spätere verwerfende Tektonik bestimmen, und wie schliesslich die selektive junge Eiserosion ebenfalls ganz auf die Klüftungsverhältnisse abstellt. Nach WEGMANN sind die meisten Klüfte prägardar, also möglicherweise präkambrisch. M. E. handelt es sich auch hier um das uralte traditionelle Klüftungssystem der Kruste. Die Orientierungen der Lineamente, welche die Skizze erkennen lässt, deuten auf drei Systeme hin, welche im Rahmen einer Gesamtsynthese anscheinend ohne grossen Zwang mit den kontinentalen Hauptsystemen von Fig. 7 identifiziert werden können.

Signatur wie in Fig. 4.

Viele Alpentäler haben ausgesprochenen Fjordcharakter. Dies ist besonders ausgeprägt im schweizerisch-oberitalienischen Seenbereich. Es wurde früher ganz allgemein angenommen, dass die hier beobachtete Seenübertiefung durch Gletscherwirkung zu erklären ist, eine Theorie, welche später durch die Rand-

flexurtheorie des Alpenwalles in den Hintergrund geschoben wurde. Mir scheint es immerhin einigermassen fraglich, ob eine solche Senkungstheorie die Seenübertiefung völlig erklären könnte. So ist beispielsweise am Zürichsee ein normales Ansteigen der Terrassen bis Meilen–Horgen feststellbar, die tektonische Störung der Terrassen erfolgt erst weiter alpenwärts. Die grösste Seentiefe liegt jedoch zwischen Herrliberg und Oberrieden, also noch im Bereich der alpenwärts ansteigenden Terrassen.

Die Schweizerseen müssen m. E. eher als glaziale Rückzugserscheinungen gedeutet werden, d. h. als Täler, welche möglicherweise eine glaziale Übertiefung erfahren haben und durch den Gletscherkörper vor der fluvioglazialen Zuschotterung bewahrt wurden. Sie sind den nordischen Fjordbildungen gleichzustellen, wo auch keine Randflexur in Frage kommt. Es kann allerdings bei den Schweizerseen, wie auch bei den Fjorden wegen der Aufschlussverhältnisse nicht ohne weiteres entschieden werden, inwieweit eine glaziale Übertiefung in Fels vorliegt oder nur ein späterer Barrierenabschluss durch Moränen, Schotter u. dgl.

Nach Vorstehendem vermag rein erosive Zerstörung den Lineamentierungsplan im Relief herauszuarbeiten, ohne dass diesem tektonisch bedingten Relief wirkliche Verwerfungsprozesse anhaften müssen. Dieser Umstand hat in der geologischen Literatur zu vielen Diskussionen geführt, die eigentlich keiner Lösung entgegengebracht wurden. Besonders akut waren bisher die Gegensätze bei den Theorien über die nordischen Landschaftsbilder mit ihren Fjordmerkmalen. Die Schule der reinen Erosion, wie sie etwa Davis verkörperte, konnte im Grunde genommen keine plausible Erklärung für den oft so offenkundigen bruchlinienähnlichen Charakter der Fjorde beibringen. Die tektonische Schule, wie sie etwa Gregory u. A. vertraten, konnte den tektonischen Anlagecharakter zwar wohl nach den Formen, jedoch relativ selten anhand von effektiven Verwerfungen nachweisen.

Ich glaube, dass diese Rätsel sich im Rahmen der Lineamenttektonik durch die oben skizzierte Eiserosionstheorie lösen lassen. Die Reliefierung nach Verwerfungen und diejenige durch die selektive Eisaufarbeitung wirken nach den gleichen tektonisch angelegten Klüftungsplänen des Felskörpers.

b) Tektonische Reliefierung und lineamenttektonische Klüftung.

1) Radialdislokation.

Bei dieser Störungsart ist der Zusammenhang mit dem Relief am offenkundigsten. Die Vertikalklüftungssysteme der Erdkruste sind die gegebenen Schwächezonen, längs welchen sich radiale Dislokationskräfte auswirken. Die lineamenttektonischen Charakteristika der Radialdislokationen kommen nicht nur in den ausgesprochenen Grabenbrüchen zum Vorschein, sondern in Bruchfeldern überhaupt. Ein sehr schönes Beispiel bietet hiefür die Ägäis, deren „schachbrettartige" Topographie eine kaum übertreffbare Musterkarte zu diesen tiefern geomechanischen Problemen bietet (Fig. 9).

Selbstverständlich gibt es auch gemischte Formen verwerfungstektonisch-erosiver Entstehung. Man kann kaum annehmen, dass so stark aufgesplitterte Schollenfelder, wie Skandinavien oder der Alpenkörper, bei den starken radialen Niveauschwankungen, welche hier nachweislich in jüngerer Zeit stattfanden, sich radialtektonisch ganz inert verhalten haben. Vertikale Schollenbewegungen sind an die gleichen Leitlinien geknüpft wie die selektive Erosion, d. h. an das

Klüftungssystem. Es ist also selbstverständlich, dass Beben und Verwerfungsvorgänge in solchen Gegenden mit den Fjordformen koinzidieren können. Als Beispiel verweise ich auf das grosse Alaskabeben (Jakutat Bay) mit grösseren Niveauverstellungen vom Jahre 1899 (MARTIN 1910). Man wird deshalb bei solchen fjordartigen Durchtalungen die Idee von tektonischen Sackungen nicht völlig aus den Augen lassen dürfen, auch wenn die selektive Eiserosion eine genügende und in der Mehrzahl der Fälle auch die zutreffende Erklärung bietet.

2) Tangentialer Zusammenschub.

Für orogene Faltungsprozesse ist die Klüftungsbildung im weiteren Umlande dann bestimmend, wenn die Zusammenstauchung in der Front verschieden stark ist, resp. wenn die Frontrichtung sich verlagert. Da in untersuchten Faltengebirgen die Stauchung regional wechselt, und da vor allem ganz ausgesprochene und abrupte Frontwechsel zu konstatieren sind, so mussten Scheerflächen in der weiteren Umgebung des Faltungsgebietes auftreten, in denen beträchtliche ausgleichende Blattverschiebungen erfolgten.

Die Aufklüftung des Bodens ist eine so grosse mechanische Arbeitsleistung, dass es von vornherein gegeben ist, dass die Blattverschiebungen, welche die orogenen Stauchungen benötigen, sich nach Möglichkeit auf bereits vorgebildeten Bahnen vollziehen, also auf den vorhandenen Klüftungsplan des Bodens sich einorientieren. Dies bedeutet aber, dass die Klüftungsrichtungen die orogenen Schubrichtungen orientieren können (Faltungsfront senkrecht zur Blattverschiebung). Allerdings ist leicht einzusehen, dass für diese orogenen Zusammenschübe die in der Kruste vorhandenen Klüfte nur teilweise orientierend wirken können, weil für die Lokalisierung des Zusammenschubs auch andere Faktoren massgebend sind; so vor allem die Verbreitung von leicht faltbaren Sedimenten und deren Dicke. Aus diesen Gründen wird man für die Lokalisierung der Orogenese und ihre Orientierung im Schollenmosaik der Kruste nur eine Teilabhängigkeit von der Lineamenttektonik postulieren dürfen.

Ein Blick auf die jungen Faltungen Europas zeigt ein aufgelöstes Störungsbild, abruptes seitliches Abbrechen der Faltungsbewegungen und Verlagerungen der Faltungsachsen, welche ohne die Annahme von ausgleichenden Blattverschiebungen mechanisch nicht erklärbar sind. Ausserdem fällt auf, dass die

---

Zu Fig. 9: Beispiel einer tektonischen Reliefierung nach dem afrikanischen Lineamentsystem im Bereiche der Rote-Meer-Island-Zonale. Die schachbrettartige Verwerfungstendenz kommt sehr deutlich in den Inselreihen und z. T. in den Inselkonturen zum Ausdruck. Achsen der Inselaufreihung habe ich als Lineamentzonalen eingetragen. Man erkennt zwischen den einzelnen Inselreihen ziemlich deutlich Äquidistanzen. Die vulkanischen Zentren lagern sich vorzugsweie zwischen die nicht vulkanischen Inselgruppen. Obwohl deutlich eine bogenförmige vulkanische Zonale existiert, handelt es sich um eine diskordante Vulkanaufreihung, weil dieselbe im Detail offenbar an das NW- und NE-streichende Spaltensystem gebunden ist. Ich habe dies seinerzeit als eine Flexurwirkung infolge Einsinkens des südlich vorgelagerten orogenen Gürtels erklärt (SONDER 1924). Durch die beiden massiven Linien, welche tangential zu der bogenförmigen orogenen Zonale gelegt sind, wird die Orientierung des Hauptverwerfungsnetzes gegeben. Es war früher meine Meinung, dass infolge dieser Form der orogenen Zone im konkaven Teil des Feldes das schachbrettartige Verwerfungsnetz entstanden sei. Vermutlich sind die Verhältnisse gerade umgekehrt, indem die präexistierende krustale Lineamentierung die Einstellung des Faltenbogens beeinflusste. Die Insel Kreta zerfällt in ihrer Hauptreliefierung in Gebirgsblöcke, die durch wesentlich niedrigere Verbindungsstücke getrennt sind. Es ist denkbar, dass hier Interferenzwirkung des Krustenlineamentes auf die orogene Zonale mitspielen, wie auf der Skizze angedeutet. Eine solche Achse durch das Hauptgebirge Ida führt z. B. beidseitig zu vorgelagerten Inseln.

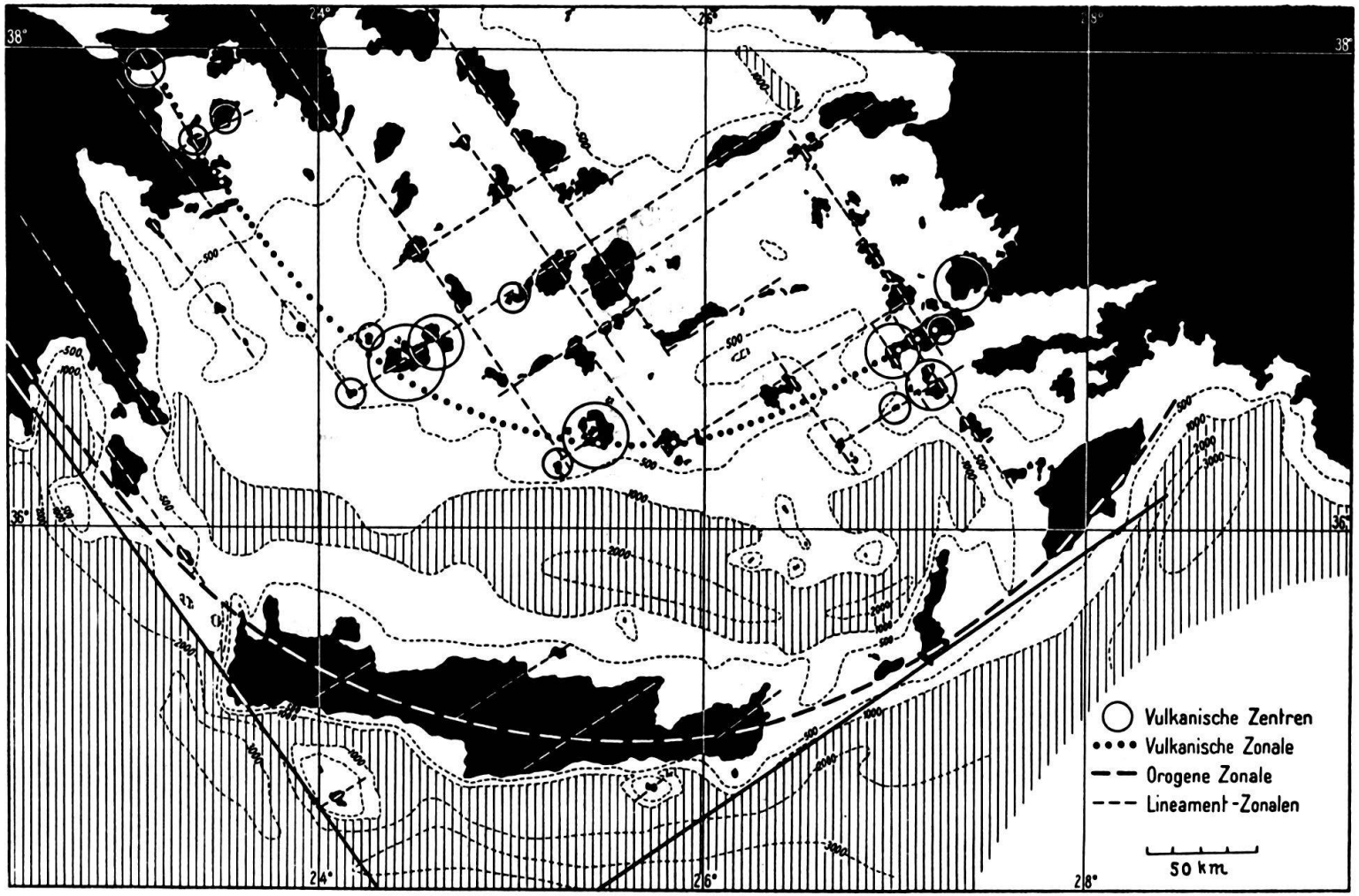

Fig. 9. *Die Ägäis.*

Faltung als solche einen sehr gewundenen Verlauf nimmt, wobei Orientierungen nach NE und nach NW statistisch sehr auffallen. Da die ganze Faltungszone mehr oder weniger E–W streicht, ist dies um so auffälliger, da im Grunde genommen eine E–W streichende Faltungszone mechanisch die einfachste Lösung wäre. Bei einer durch Klüftung lineamentierten Kruste, wie sie etwa aus Fig. 3, 4 und 7 ersehen werden kann, muss eine E–W Orientierung der Zusammenschiebungen mechanisch schlecht mit den lineamenttektonischen Hauptorientierungen resp. dem vorhandenen Schollenbau des europäischen Bodens harmonieren. Der Verlauf des alpinen Faltungsstreifens zeigt, dass er sich tatsächlich weitgehend auf das Krustenlineament einstellte, so dass sich Blattscheerungen längs bereits vorhandener Klüftungssystemen ausgleichen konnten. Die Blockstruktur des Bodens und die dadurch zum Teil festgelegten Bewegungsmöglichkeiten für den orogenen Stauchprozess dürfte mitverantwortlich sein für die in orogenen Zonen beobachtbaren Querzonen und Interferenzen. Solche sind in dem orogenen Bau Mittelamerikas besonders deutlich (SONDER 1936), sie dürften auch im Alpenkörper nicht fehlen. Ich habe den Eindruck, dass die Grenze zwischen Ost- und Westalpen sowie auch die Probleme der sog. „Axialgefälle" mit solchen durch die Grosschollenstruktur der Kruste sich ergebenden Quer- oder Interferenzfaltungen zusammenhängen dürften.

Auch diejenigen Grossdurchtalungen des Alpenkörpers, welche z. T. kaum tektonische Zusammenhänge, wohl aber lineamenttektonische Orientierungen erkennen lassen, dürften ähnlich zu begründen sein, wie z. B. der Rhonedurchbruch bei Martigny. Man darf nie vergessen, dass sich der orogene Stauchungsprozess der Alpen in einem Mosaik von Gross- und Kleinschollen vollzogen hat, deren grosse Masse sehr wohl in der Lage gewesen sein dürfte, dem neu entstehenden Gebilde tektonische Bewegungsfugen aufzuzwingen, welche selbst die neue tektonische Anlage überwinden und durchsetzen konnten. Alle diese Probleme sind aber so kompliziert und verwickelt, dass es schwer hält, ohne eingehende Studien mehr als Andeutungen zu machen. Es lag mir nur daran, darauf hinzuweisen, dass auch für den Alpenbau sich durch die lineamenttektonische Analyse Perspektiven zu neuen Erkenntnissen eröffnen.

F. Die geographischen Homologien.

Der Begriff der geographischen Homologie umschreibt ein weites Tatsachenfeld. Es handelt sich meist um auffällige geographische Ähnlichkeiten, welche in statistischem Sinne so stark hervortreten, dass man Gesetzmässigkeiten dahinter vermuten muss. Die Tatsache, dass solche geographische Homologien existieren, wird in vielen Lehrbüchern betont. Vielfach sind sie sogar recht ausführlich dargestellt. Im allgemeinen werden sie als bisher unerklärlich angeführt. Im Falle der WEGENER'schen Kontinentalverschiebungstheorie wurde jedoch die geographische Homologie, welche sich im Bereiche des atlantischen Ozeans zeigt, zum Ausgangspunkt einer ganz neuen tektonischen Theorie gemacht.

1) Regionale Homologien.

Ich habe vorstehend einige der Hauptpunkte berührt, welche dafür verantwortlich sind, dass das Relief der Erdoberfläche so weitgehend von der Klüftungsstruktur des Bodens bestimmt wird. Nun unterliegt die Klüftungsstruktur mechanischen Gesetzen, welche für alle Klüftungen gelten (paralleles Streichen der

Klüfte, Existenz komplementärer Systeme unter Bevorzugung konstanter Kreuzungswinkel, wobei ca. 45° und 90° besonders bevorzugt sein mögen, Existenz äquidistanter Periodizitätsgesetze). Dazu kommt noch das generelle Einspielen der Klüftung auf grosse Distanzen. Bei tektonischer Aktivierung eines so beschaffenen Schollenmosaiks werden sich sehr häufig geographische Homologien in Form von gleichen Orientierungen, ähnlichen Formen u. a. m. ergeben. Die geographischen Homologien, welche beispielsweise zwischen der Insel Celebes und der Insel Halmahera existieren, und welche durch anderweitige ähnliche Beispiele weiterbelegt werden können, erklären sich hierdurch auf relativ einfache Weise.

Die Homologie Celebes-Halmahera ist sicherlich in den Hauptzügen tektonisch angelegt. Ganz analoge Effekte müssen durch selektive Kluftnestererosion, wie sie besonders die Gletscherbedeckung zustande bringt, ausgelöst werden. Die von Haarmann (1934) beschriebenen Homologien aus dem schwedischen Schärenhof gehören hierher. Schliesslich führt die Leitung der fluviatilen Erosion durch Kluftwirkungen zu Homologiebeziehungen in den Flussläufen (s. z. B. die von Haarmann angeführten Homologien im norddeutschen Flussystem).

Auch die Stiefelform der Umrisse Italiens gehört offensichtlich in das Kapitel der geographischen Homologien, welche sich mehr oder minder deutlich in den verschiedensten Grössenordnungen in tektonischer wie erosiver Modellierung da und dort finden. Solche Stiefelformen trifft man im Bilde Islands (Fig. 12) an der Westküste in der Form der Halbinsel Reykjanes oder in derjenigen des Hvamsfjördur südlich der NW-Halbinsel, welche selbst ebenfalls Anlage zur Stiefelform zeigt, nur dass der Schaft fehlt. Stiefelartige Formen können auch in andern Fjordbildern entdeckt werden (s. Fig. 8). Sie entstehen offenbar infolge Interferenz von zwei komplementären (gegeneinander um 45° gedrehten) Lineamentsystemen.

2) Kontinentale Homologien.

Die grossräumigeren geographischen Homologiebeziehungen sind mit der Tatsache eng verflochten, dass ein genereller Lineamentplan der Erdkruste existiert. Offenbar hängt es mit der vorzugsweise nach NW und NE orientierten Hauptlineamentierung zusammen, dass so viele Landzungen und grosse Halbinseln, ja sogar Kontinente immer nach Süden in eine Spitze auslaufen. In der Form fast aller Kontinente lässt sich nicht nur eine grosse Ähnlichkeit erkennen, sondern alle diese Kontinentformen sind gleichartig scharf N–S orientiert. Alle enthalten eine Achse, welche von der Südspitze nach dem Nordrand der Kontinenttaltafel ca. 7700 km, also nicht ganz ¼ Erdumfang misst. Diese geographischen Homologien werden durch Fig. 10 illustriert. Der australische Kontinent ist in der Skizze ausgelassen, da er allein nicht ganz in die Serie passt. Wenn man allerdings die Reliefverhältnisse um Australien in grösserer Meerestiefe betrachtet, so bei ca. 2000 m, lässt sich ebenfalls in den Hauptumrissen eine Kontinentalform unvollständiger Natur erkennen, die einigermassen Afrika in Orientierung, Form und Ausmassen ähnelt.

Es wurde bereits darauf hingewiesen, dass der Lineamentplan der Erdkruste auf die kontinentalen Grossformen einorientiert ist (Fig. 5). Da die Kontinente so auffällig geographisch auf den Globus „eingeregelt" sind (Fig. 10), ist das statistische Vorherrschen von NW- und NE-Orientierungen das Gegebene (siehe Ergebnisse Kapitel C). Sehr auffällig ist ferner, dass die beiden besonders stark entwickelten Kontinente Asien und N-Amerika, sich mit ihren vorhin erwähnten NS-Achsen genau gegenüberliegen. (Vom Südende Mexikos bis zur S-Spitze

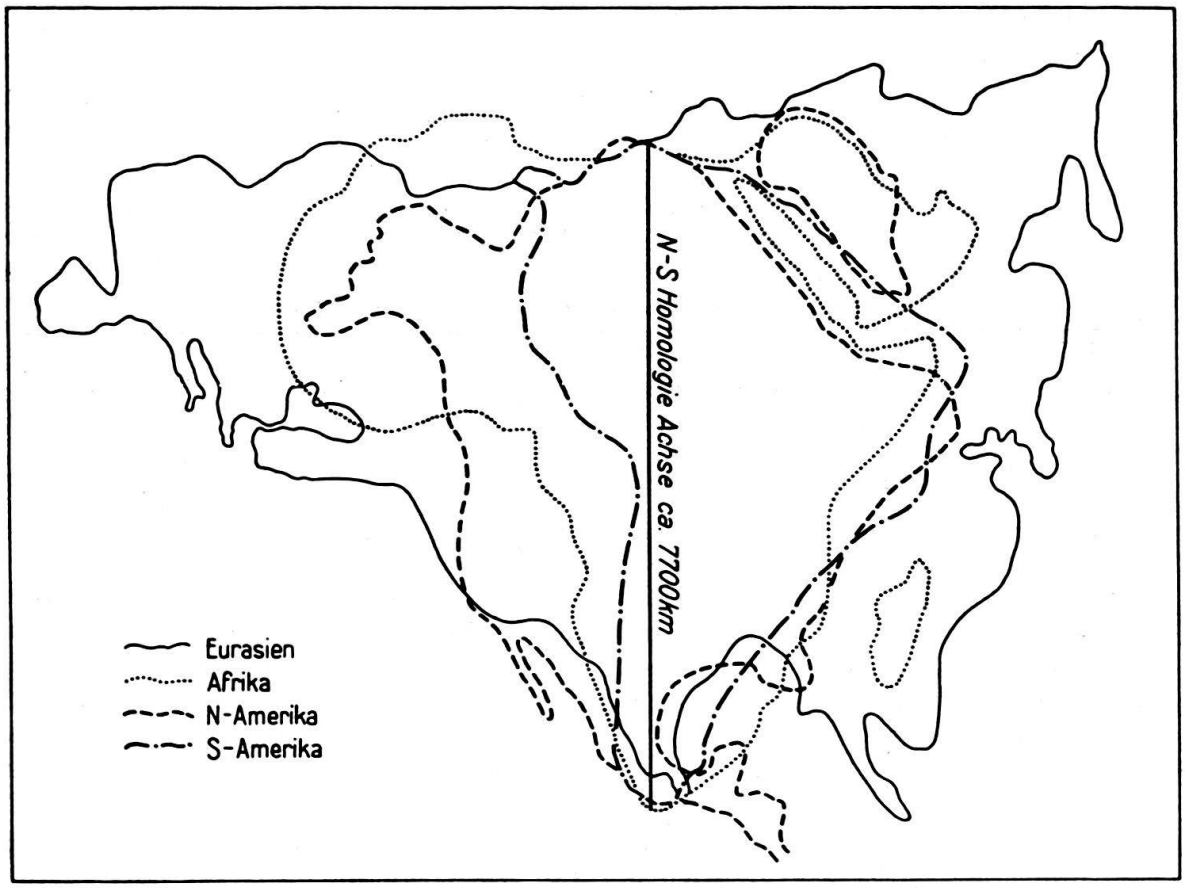

Fig. 10. *Die kontinentalen Grosshomologien.*

Ausser der analogen Orientierung und generellen Ähnlichkeit, welche sich roh in einer Dreiecksform beschreiben lässt, ergeben sich noch speziellere Ähnlichkeitsbedingungen. Die gleich lange N–S-Achse bringt es beispielsweise mit sich, dass auch eine „gewisse" Oberflächengleichheit existiert, wobei das Normalmass durch Afrika oder Nordamerika gegeben ist. Süd-Amerika ist dann eine etwas unternormal entwickelte Form, Asien eine übernormal entwickelte. Zu gleichen Schlüssen kommt man, wenn man detailliertere Ähnlichkeitsbeziehungen vergleicht. Dem schwach entwickelten Westsporn S-Amerikas bei Ecuador entspricht ein deutlicher Westauswuchs bei Afrika und N-Amerika in Westafrika und Alaska. Bei Asien ist dieser Westwuchs als Europa hypertroph entwickelt. Eine zweite Auswuchstendenz geht nach ENE. In S-Amerika ist sie allerdings nicht entwickelt. In Afrika und N-Amerika hat man jedoch zwei erstaunlich korrespondierende Formen: Grönland und Arabien. Asien hat diese Tendenz wieder hypertroph entwickelt im Ostende des Kontinentes. Der Trennungsgraben Rotes Meer resp. Baffins Bay ist verschwunden. Sollte jedoch diese Trennungssenke nicht doch noch angedeutet sein in Asien durch die Senkenzone: Philippinenbucht–Gelbes Meer–Baikalsee, welche exakt analog liegt? Die dritte Auswachstendenz geht nach SE. S-Amerika, der unternormale Kontinent, hat wieder keine entsprechende Tendenz aufzuweisen (es sei denn, dass man auf gewisse Untiefen im Südatlantik abstellt). Nordamerika hat hier den Sporn von Florida. Afrika hat die vorgelagerte Masse von Madagaskar. Asien endlich Hinterindien und die Halbinsel von Malakka. Wenn man das ganze Schelfgebiet einrechnet, so käme noch die ganze hinterindische Inselwelt mit Borneo dazu, also wieder ein hypertrophes Auswachsen. Alle diese Einzelheiten gehen wohl weit über das, was man Zufall nennen kann. Es liegen ganz bestimmte Formierungstendenzen vor, welche jedoch hier nicht weiter verfolgt werden können.

von Indien zählt man genau 180 Breitengrade.) Das hat zur Folge, dass die Randlineamente dieser „Gegen"-Kontinente genau ineinander laufen.

Die atlantischen Homologien sind offensichtlich nur ein kleines Spezialkapitel im Rahmen von sehr viel weiträumigeren Haupthomologien. Wenn

man schon geotektonische Theorien vom Boden der geographischen Homologien aus starten will, so kann man unmöglich die atlantischen Homologien damit erklären, dass man die Kontinente verschiebt. Die Verschiebung der Kontinente zerstört und negiert die prinzipielle Grundordnung der kontinentalen Anordnung auf der Erdkugel, welche auch kein Zufall sein kann, sondern Züge zeigt, die für eine feste Einordnung sprechen.

Die Einorientierung der Kontinentformen auf homologe N–S-Achsen, die parallelen Küstenhomologien im Atlantik, die Grossformenhomologien der Kontinente und der universelle lineamenttektonische Bauplan der Erdkruste sind Probleme, die irgendwie gemeinsame Wurzeln haben. Die kontinentalen Plattformen, welche aus den ozeanischen Böden herausstehen, sind das Produkt einer langen Entwicklung. Dabei haben mechanische Formungsgesetze, unter gegenseitiger Beeinflussung über die Erdsphäre hin, im Kampf mit dem anisotrop Zufälligen eine gewisse statistische Ordnung geschaffen. (Siehe Abschnitt H, 2.)

G. Definitionen und Begriffe.

Ein Bruchlinienplan oder besser Klüftungsplan ist die Skizze der Bruchlinien Skandinaviens nach Sederholm (Fig. 11). In diesem Klüftungsplan sind statistisch hervortretende Züge enthalten. Besondere Richtungen und Zonen treten stärker hervor. Das Klüftungs- und Reliefbild hat deshalb einen statistischen Inhalt, den man durch ein an sich abstraktes Linienschema wiedergeben kann. Diese abstrakte Auswertung eines „statistischen" Gesamtbildes von Klüftungsplan und korrespondierenden Reliefformen ist ein Lineamentplan. Die Skizze von Kjerulf-Hobbs (Fig. 11) stellt bis zu einem gewissen Grade den Versuch dar, statistisch fassbaren, orientierten Reliefformen einen bildlichen Ausdruck zu geben. Bekanntlich sind Kjerulf's Auslegungen stark angefochten worden. Dies mag insofern mit Recht geschehen sein, als Kjerulf selbst, wie auch später Sederholm, Gregory u. A., teilweise die Vorstellung gehabt haben mögen, dass entsprechend verlaufende individuelle Dislokationsbrüche, klaffende Spalten oder dergleichen für die Skulpturierung des Landschaftsbildes verantwortlich seien. Sobald man aber von einer solchen extremen tektonischen Auslegung absieht und nur die generellen Zusammenhänge zwischen Reliefierungsprozessen und Küftung ins Auge fasst, wie ich sie oben dargelegt habe, so gibt ein solches Schema etwas Reelles wieder, nämlich die statistischen Summenorientierungen der Klüftungsverhältnisse. Während die Einzelklüfte im Gelände teilweise sehr unregelmässig verlaufen mögen, kommen in dieser Summenwirkung lineare Tendenzen zum Vorschein, und wenn diese statistische Grundstruktur im Schollenmosaik der Kruste auf grosse Distanzen einorientiert ist, können Systeme von vollkommen parallelen Linien in das Landschaftsbild hineingelegt werden. Die von mir für das mittelamerikanische Gebiet gezogenen Linien sind deshalb weder zu lang noch zu schematisch und regelmässig (wie man diskussionsweise dagegen anführte), vorausgesetzt, dass die Grundvorstellungen über die grossräumigen Einorientierungen richtig sind. Es handelt sich eben in meiner dortigen Skizze um einen Lineamentierungsplan und keinen Bruchlinienplan.

Hill hat den Begriff Lineament auf eine im Gelände auf grosse Distanz geradlinig sich abzeichnende Zone bis Grenze verwandt, welche sich besonders auszeichnet (z. B. eine auffällige Grenzzone, die verschiedene Strukturen trennt wie das Texaslineament). Hobbs (1910) spricht mehr allgemein von Lineamenten

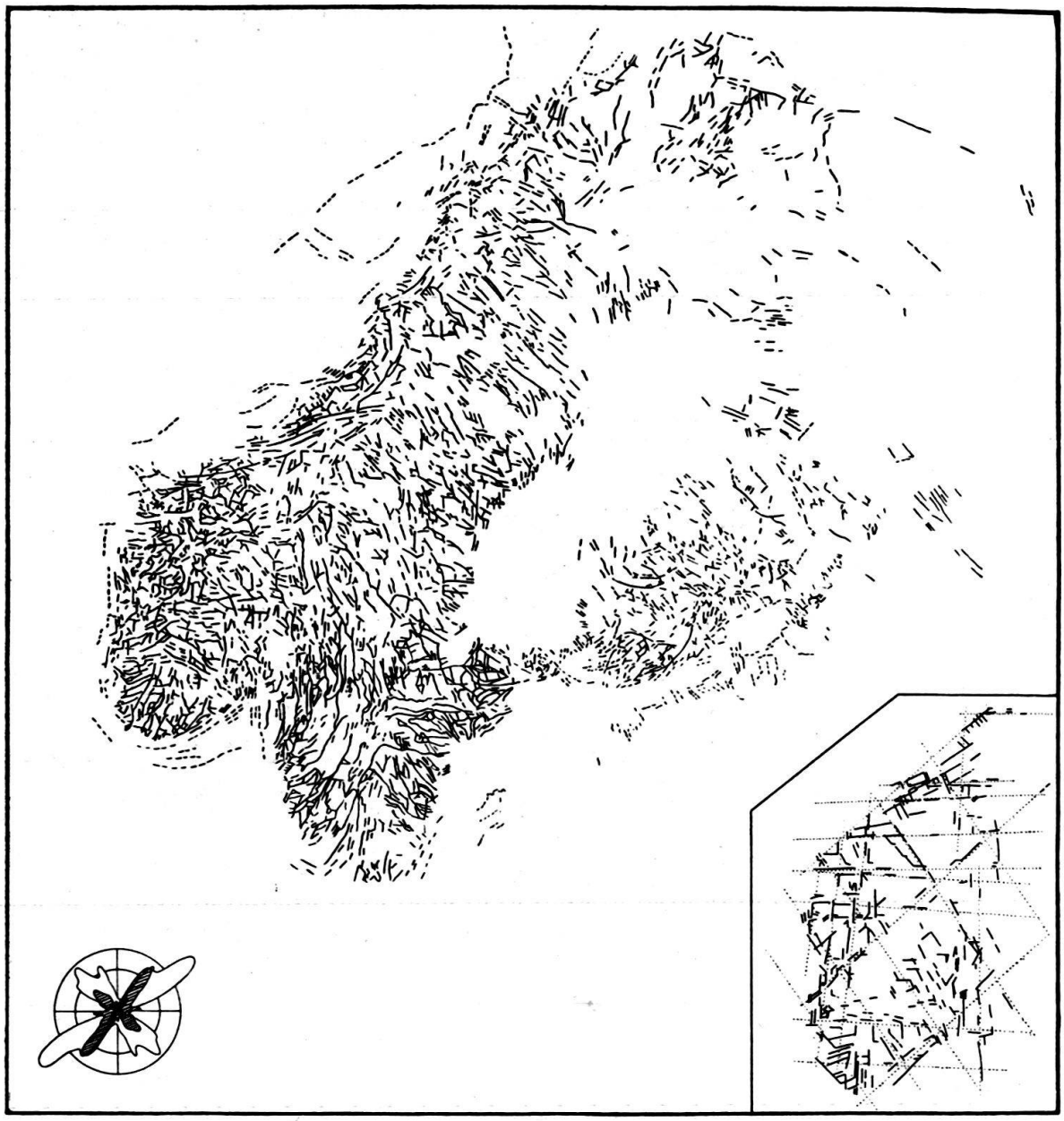

Fig. 11. *Bruchliniennetz von Femoskandia nach Sederholm 1913. Rechts: Versuch einer systematisierten Analyse nach Hobbs-Kjerulf.*

Das Bruchspaltennetz SEDERHOLM's, welches anscheinend weitgehend auf die Reliefierung Skandinaviens abstellt, lässt in seinem Gewirre zweifellos gewisse orientierte Ordnungen erkennen, welche KJERULF anregten, systematisch orientierte Bruchsysteme anzunehmen. In der hier versuchten Deutung tritt in Fennoskandien vor allem das asiatische Lineament hervor, wobei sich gegen SE besonders die NW-Komponente dieses Systems geltend macht (finnische Seenplatte). Systematische Kluftmessungen TEICHERT's in Estland zeigen dort die dominierende asiatische Kluftrichtung N 130° E, welche in allen von ihm bestimmten Kluftrosen auffällig hervortritt. Als atlantisch könnte man vielleicht Orientierungen ansprechen, welche E bis ENE streichen (Fig. 7) und besonders in der Senkenzone vom Skagerrak nach dem finnischen Meerbusen deutlich werden. Diese atlantischen Richtungen würden dann gegen E mit den mitteleuropäischen atlantischen Komponenten konvergieren, was aber mit der Theorie vereinbar scheint. Auffällig ist, dass man das afrikanische Lineament kaum mehr im Landschaftsbild erkennen kann (Ausnahme beispielsweise Fjordsystem NE Bergen), da doch eine so orientierte Reliefierung im W und SW von Skandinavien sehr verbreitet ist. Die Erklärung scheint mir darin zu liegen, dass die tektonische Trennung der massgebenden Lineamentierungs-

in der Landschaft und von seismischen Lineamenten. Ich halte es für notwendig, verschiedene Bezeichnungen einzuführen, wenn man alle hierher gehörenden Erscheinungen sinngemäss bezeichnen will. Ich schlage deshalb vor, den Begriff „Lineament" als generelle Bezeichnung zu verwenden. Das Lineament einer Gegend bedeutet dann eine bestimmte Richtung, welche in der Tektonik, Klüftung und in Relief enthalten ist. So kommt z. B. in der Topographie der finnischen Seenplatte ein NW-streichendes Lineament (resp. eine Lineamentierung) zum Ausdruck. Ich habe dementsprechend in meiner Arbeit über Mittelamerika von kontinentalen Hauptlineamenten nach NW oder nach NE gesprochen. Unter „Lineamentsystem" sind zwei mechanisch koordinierte Lineamente zu verstehen, welche sich meist unter annähernd rechtem Winkel kreuzen.

Will man dagegen aus der Schar orientierter Richtungen eine ganz bestimmte, im Gelände festgelegte Einzellinie oder Zone herausgreifen, so würde ich als neue Begriffe „Linear" und „Zonale" vorschlagen. Das Texaslineament HILLS würde man beispielsweise in dieser Bezeichnungsweise Texaslinear oder Texaszonale nennen, je nachdem man ausdrücken will, dass diese tektonisch markierte Grenze mehr als Linie oder mehr als Gürtel charakterisiert ist. Ein Texaslineament wäre dann die Summe aller nach der Texaszonale orientierten Richtungen. Die Vulkanlinie Bermuda–Galapagosinseln (SONDER 1936) wäre ein vulkanisch aktiviertes Linear, desgleichen die Vulkanlinie St. Helena–Kamerun–Tibesti, und ebenso könnte man den Caledonian Channel in Schottland als ein Linear bezeichnen.

Ein Linear kann natürlich eine Hauptkluft sein, welche tektonisch besonders stark tätig war. Vielfach wird es sich bei weithin sich erstreckenden tektonischen Hauptlinearen im Detail nicht nur um eine einzige Kluft handeln, sondern um eine Schar von Parallelklüften, welche in grossem Masstabe gesehen im Terrain als eine Linie erscheinen. Da man bei sehr langen Terraingeraden in vielen Fällen nicht weiss, welche Verhältnisse im Detail herrschen, spricht man besser nicht von Bruchlinien, Klüften oder Spalten, sondern von Linearen, obwohl im einen oder andern Fall die präzisere Bezeichnung richtig sein mag. Es gibt vermutlich viele Lineare, längs welchen nur Blattverschiebungen stattgefunden haben. Solche Blattverschiebungen sind für den Tektoniker meist überhaupt schwer zu erkennen, wenn nicht besonders günstige Umstände vorliegen, wie z. B. begleitende vulkanogene Aktivierungen. Lineare oder Zonalen können infolge der längs ihnen erfolgten Ausgleiche Gebiete von recht verschiedenem Baustil trennen, da die mechanischen Bedingungen, vor allem orientierte Spannungen, beidseitig des Linears recht unterschiedlich sein können. Die Frage nach der Grösse der vorkommenden Blattverschiebungen ist heute noch recht unabgeklärt, da man erst in allerneuester Zeit auf solche Verhältnisse aufmerksam wurde. Neuerdings werden Blattverschiebungen von 40 km an der San Andreas-Rift in Californien postuliert.

---

bereiche durch die Rote-Meer–Island-Zonale gegeben ist. Fennoskandien liegt bereits schon im asiatischen Bereich. Immerhin scheint es, dass bei Kluftmessungen auch das afrikanische System noch gefunden werden kann. Die Kluftmessungen von KAUFMANN in Öland und Gotland (1931), welche in der Kluftrosette wiedergegeben sind, zeigen sehr deutlich das asiatische (schraffiert) und afrikanische System (hell). Anscheinend kommen aber in Skandinavien auch noch andere Richtungen vor (z. B. NNE-Richtung), welche nicht mit den 3 Systemen harmonieren, die man sonst ausscheiden kann. Die starken älteren Gebirgsbildungen haben sicher auch hier im kristallinen Grundgebirge Spezialklüftungen zurückgelassen. Wie ich mich selbst in Norwegen überzeugen konnte, ist der Gebirgskörper in den kaledonischen Zonen so mannigfach aufgeklüftet, dass es nicht leicht ist, massgebende Klüftungsrichtungen auszuscheiden.

Mechanische Komplikationen müssen entstehen, wo Lineare resp. Zonalen sich kreuzen. Es ist leicht einzusehen, dass selbst bei relativ geringen Ausgleichsbewegungen an Kreuzungsstellen von Linearen Schollenlockerungen, Kluftklaffungen u. a. m. resultieren, welche für die Magmaunterlage Wege nach der Oberfläche schaffen. Ich habe in der Arbeit über Mittelamerika gezeigt, dass einige vulkanische Extrusionszentren wahrscheinlich an solchen kritischen Interferenzpunkten von Linearen liegen. So kommen vermutlich gewisse Vulkanreihen (Bermuda–Galapagos, St. Helena–Kamerunberg) dadurch zustande, dass derartige Hauptlineare stellenweise mit querlaufenden Linearen interferieren. Das Arbeiten des Linears braucht bei horizontaler Blattverschiebung an sich keine auffälligen Reliefspuren zu hinterlassen. Interferenzpunkte mit querlaufenden Linearen werden jedoch vulkanisch aktiviert und verraten so die Existenz des Linears durch eine auffällige gradlinige Aufreihung von Vulkanzentren auf grosse Distanzen. Es wäre deshalb auch ganz falsch, in diesem Falle von Vulkanspalten zu reden, denn längs dem Linear läuft keine klaffende Spalte, sondern vermutlich eine mechanisch ausgezeichnete Kluftschar.

Solche mechanisch ausgezeichneten Klüfte und Kluftscharen zeigen untereinander häufig äquidistante Abstände. Dadurch kommen im Landschaftsbild äquidistante Gesetzmässigkeiten vor, sei es im Relief, sei es in Distanzierung von Vulkanzentren (s. SONDER 1936 sowie Fig. 9). Es gibt dabei anscheinend mechanisch ausgezeichnete Klüfte und Kluftscharen höherer und niederer Ordnung. Von den äquidistanten Lokalklüften führen Zwischenstadien zu immer höheren Periodenordnungen, die schliesslich Kilometer, ja dutzende bis hunderte von Kilometern umspannen können. In der Gliederung des atlantischen Bodens durch parallele Querschwellen (Walfischrücken u. a. m.) kommt vielleicht ein Ansatz von lineamenttektonischen Äquidistanzen zum Durchbruch, die in die tausende von Kilometern gehen. Es handelt sich dann allerdings bei diesen Grossreaktionen nicht mehr um Lineare, welche die Zwischenschollen trennen, sondern um Zonalen.

Im Prinzip dürfte es sich darum handeln, dass die mechanisch beanspruchte starre „Krustenplatte" sich in ein Schollenmosaik auflöst, in welchem sich mechanische Einheiten von verschiedenen ineinandergeschachtelten Ordnungen abzeichnen. Die kleinste Ordnung wird gegeben durch die individuelle Kluft. Hauptklüfte innerhalb dieser Klüfte führen zu einer höheren mechanischen Ordnung. Sie geben häufig Anlass zu erosiver Auszeichnung. Bei noch grösseren Einheiten werden schliesslich Kluftscharen spielen, und bei den grössten Ordnungen, welche die Kruste in Grosschollen aufteilen (Felder), werden die besonders aktiven Saumzonen durch ein Band von aktivierten Klüften gebildet, welche eigentliche tektonische Aufbruchzonen schaffen. In ähnlichem Sinne definiert auch CLOOS die atlantischen Schwellen wie z. B. den Walfischrücken (1938). Vom Kleinsten zum Grössten fortschreitend lässt sich demnach ein kontinuierlicher Übergang von der individuellen Kluft zum Linear und schliesslich zur Zonale feststellen. Man kann nicht erwarten, dass bei der bestehenden Anisotropie der Erdkruste die mechanischen Gesetze, wie Parallelität der Zonalen, Äquidistanz, sehr viel regelhafter zum Durchbruch kommen könnten, als in den südatlantischen Querschwellen oder in der Grossorientierung im afrikanischen Kontinent, wie sie Fig. 5 wiedergibt.

Es gibt konkordante und diskordante Zonalen. Konkordante Zonalen laufen parallel mit im Boden vorhandenen Lineamentrichtungen. Beispiele konkordanter Zonalen sind der Walfischrücken, die sog. Kalahariquetschzone (KRENKEL 1925), Texas–Kuba-Zonale u. a. Diskordante Zonalen verlaufen quer

zu den massgebenden Bodenlineamenten. Sie sind dadurch ausgezeichnet, dass die Aufreihungsrichtung der Störungen im Detail anders zeigt, als der zonale Störungsgürtel. Ein sehr schönes Beispiel einer diskordanten Zonale bietet die ostafrikanische Grabenbruchzone, welche als Gesamtes annähernd N–S streicht. Im Detail zeigen die Einzelgräben aber nur in wenigen Fällen nach dieser Richtung, sondern verlaufen vorzugsweise entsprechend der Hauptkontinentallineamentierung Afrikas (Fig. 5), nämlich nach der erythräischen und somalischen Richtung. Man wird sich diese Sachlage wohl am ehesten dadurch erklären können, dass das afrikanische Schollenmosaik einer mechanischen Torsion unterworfen war, deren Achse längs der Grabenbruchzone ungefähr N–S strich. Diese Torsion führte zur lokalen Schollenlockerung und damit zu Verwerfungen und vulkanischen Aktivierungen des ostafrikanischen Grabensystems. Die Ursache dieser Torsionsspannung im Schollenfelde kann man vielleicht darin sehen, dass, wie schon Gregory (1921) betonte, östlich der Torsionsachse die eurasischen Gebirge hauptsächlich nach Süden, westlich davon hauptsächlich nach Norden überfaltet sind. Solche Aktivierungen infolge Torsion quer zu den massgebenden Lineamenten führen leicht zu vulkanischer Aktivierung (Vulkanismus der ostafrikanischen Grabenzone). So sind vermutlich auch die mittelamerikanischen Vulkanstaffeln als diskordante, vulkanisch aktivierte Torsionszonalen aufzufassen (Sonder 1936).

H. Zur Theorie der kontinentalen Homologien und der Zonalenlehre.

Ich möchte nachstehend kurz auf die Ursachen der Lineamentierungsordnung, der Bildung von Zonalen und der geographischen Homologien eintreten. Es kann hier nur eine auszugsweise Skizze der geophysikalischen Grundlagen gebracht werden, welch letztere natürlich sehr komplexer Natur sind. Eine ausgearbeitete Theorie wird in Zukunft nur möglich werden durch detaillierte theoretisch-mechanische Studien. Die Hoffnung, dass die so äusserst komplizierten geomechanischen Vorgänge sich mit sehr einfachen Mitteln erklären liessen, dürfte sich nicht erfüllen. Die nachstehende Skizze stützt sich auf weitere bisher nicht veröffentlichte Untersuchungen und soll nur dazu dienen, einen Einblick in die geophysikalischen Unterlagen zu geben, welche die vorstehend beschriebenen Erscheinungen m. E. begründen.

1) Die elastischen Anisotropien der Kruste.

Die Erdkruste ist als eine kristalline Silikatplatte aufzufassen, welche entsprechend experimentellen Untersuchungsergebnissen an Gesteinen eine hohe Festigkeit, Dauerelastizität und, in höheren Horizonten, grosse Sprödigkeit aufweist, so dass sie unter differentiellen Beanspruchungen in ein komplexes Schollenmosaik aufgesplittert ist.

Es entstanden vorzugsweise parallel orientierte und unter bestimmten Winkeln sich kreuzende Bruch- und Kluftsysteme. Die Kräfte, welche eine solche Aufsplitterung erzeugen können, müssen viele tausend Kilogramm pro cm^2 betragen. Es ist anzunehmen, dass der gebirgsbildende Druck maximal gegen 10,000 Atmosphären erreichen kann. Die mittlere maximale Tangentialspannung der Kruste dürfte vermutlich etwas unter diesem Wert liegen (s. auch Sonder 1922). Sobald orogene Prozesse einsetzen, strahlen von den Faltungszonen differentielle Scheerkräfte aus, welche eine allfällig gesunde Rinde weithin aufklüften können. Da solche orogenen Prozesse im Laufe der Zeiten in allen kontinentalen Bereichen

gewirkt haben, ist schon aus diesem Grunde die Klüftung der Erdkruste eine allgemein verbreitete Erscheinung.

Differentielle Scheerspannungen von grossem Ausmasse sind aber noch aus einem andern Grunde beständig in der Gesamtrinde tätig. Sie lassen sich folgendermassen begründen: Die Erdrinde ist elastisch anisotrop. Die elastische Kompressionsfähigkeit der kontinentalen Krustenstücke ist um ca. 50% höher als die der ozeanischen Krustenzonen. Auf Grund seismischer Beobachtungen und experimenteller Daten schätze ich, dass der YOUNG'sche Elastizitätsmodul (E/100 kg/cm²) für die kontinentale Kruste im Mittel ca. 6200—7700 betragen muss, für die ozeanische Kruste im Mittel ca. 10,700—12,300. In der Erdkruste wechseln nun die Spannungen, und zwar mögen die Schwankungen zwischen Spannungsmaxima und Spannungsminima schätzungsweise gegen 5000 Atmosphären betragen (s. auch SONDER 1922). Infolge der beim Überschreiten kritischer Spannungen intermittierend einsetzenden Faltung verändert sich der Spannungszustand fortlaufend. Wegen der bestehenden elastischen Anisotropien in der Erdkruste können die Krusteneinheiten nicht harmonisch zusammenarbeiten. Sie „arbeiten" gegeneinander. Längs den Inhomogenitätsgrenzen entstehen Torsionswirkungen besonderer Natur, die den Grenzen parallel laufende Scheerungen anstreben. Ebenso werden ganz bestimmte Torsionseffekte in die weitere Umgebung ausgestrahlt. Da die elastischen Grossanisotropien, wie auch die Spannungsschwankungen in der Kruste, sehr bedeutend sind, ist es unausbleiblich, dass diese Kräfte auf die elastischen Anisotropien der Erdkruste eingespielte Kluftsysteme schaffen.

Sollte man daran zweifeln, dass die Kraft der Anisotropietorsionen zu selbständigen Splitterungen der Kruste ausreicht, so wird man sich erinnern, dass auch die Orogenese von jeher weitgehend die Kruste aufgesplittert hat. Unter den vielen vorhandenen Kluftsystemen werden immer solche sein, deren Orientierung so liegt, dass längs ihnen sich die Scheerkräfte infolge der elastischen Anisotropien ausgleichen können. Solche günstig gelegene Klüfte arbeiten im einen Sinne, wenn die Spannung steigt, im andern Sinne, wenn die Spannung sinkt. Sie verheilen nicht. Die salischen Kontinentalblöcke und die simatischen Krustenfelder, welche die elastischen Anisotropien begründen, sind relativ zeitkonstante Bauelemente. Mit nicht sehr wesentlichen Modifikationen lagen deshalb die torsionellen Kräfte infolge der elastischen Anisotropien im Laufe der Zeiten immer gleich. Daraus muss man folgern, dass auf alle Fälle im Laufe der geotektonischen Alterung sich in der Erdkruste ein statistisch bevorzugtes, immer wieder aktiviertes universales Kluftsystem gebildet haben muss, das auf die kontinentalen Grossformen eingestellt ist. Von Grösse und Form der Kontinente resp. der Ozeane werden die Torsions- und Scheerimpulse bestimmt, welche dauernd das Schollenmosaik der Erdkruste bewegen. Ich glaube, dass die vorstehend beschriebenen Erscheinungen diese theoretische Folgerung weitgehend bestätigen. Die grossräumige Richtungsorientierung und Lineamentierung der Erdkruste ist weitgehend unter dem Einfluss der elastischen Krustenanisotropien entstanden.

2) Das Entstehen der kontinentalen Homologien.

Man sieht, dass das geschlossene Zusammenspiel der Tangentialspannungen auf einer Kugelsphäre bei einem so ausgesprochen elastisch anisotropen Medium, wie es die Erdkruste darstellt, recht verwickelte mechanische Probleme schafft. Es gibt zweifellos eine mechanische Lösung der Verteilung und Form dieser Anisotropien, dergestalt, dass mit Hilfe eines lineamenttektonischen Ausgleichs längs

Linearen und Zonalen bei den Spannungsschwankungen in der Kruste die differentiellen lokalen Überbeanspruchungen auf ein Minimum herabsinken. Bei unausgeglichenem Zusammenspiel werden stellenweise übernormale Beanspruchungen entstehen. Diese führen zur tektonischen Störung, Faltung usw., wobei durch Zusammenschub oberster Krustenteile und durch Intrusionsvorgänge eine lokale Salifizierung erfolgt, sobald es sich um relativ basische Krustenelemente handelt. Tektonische Druckstellen in der ozeanischen Kruste salifizieren sich deshalb unter Erhöhung der elastischen Kompressionsfähigkeit. Das Letztere führt zur Herabsetzung der Maximalstresse in den zukünftigen Epochen. Auf diese Weise werden unausgeglichene Verhältnisse zwischen ozeanischer und kontinentaler Kruste im äonenlangen Lauf der Erdgeschichte ausgeglichen und eingepasst.

Es ist anzunehmen, dass die Kontinente Grossformen sind, welche durch eine sehr lange Entwicklung und durch sukzessive Anschweissung von orogenen Zonen entstanden sind.[3]) Nach obigem Prinzip wuchsen die Kontinente zu Gebilden aus, welche nach gewissen elastischen Ausgleichsreaktionen geformt sind. Daraus ist zu schliessen, dass der geregelte Grossbau der Erdkruste, die ähnliche Form und die geographische Einorientierung der Kontinente, auf und um welche sich das orogene Geschehen konzentriert, eine Notwendigkeit mechanischer Natur ist. Solche mechanischen Zusammenhänge erklären m. E. die kontinentalen Grosshomologien. Je näher die Kontinente beieinander liegen, desto stärker muss sich diese gegenseitige Beeinflussung der Formen auswirken. Am nächsten benachbart sind die kontinentalen Grossformen beidseits des atlantischen Ozeans. Es ist einleuchtend, dass solche Anisotropien am ehesten mechanisch aufeinander eingespielt sein können, wenn deren Konturen einigermassen parallel laufen. Dies dürfte ein bessere Erklärung für die atlantischen Homologien bilden als die Kontinentdrift, welche m. E. vom geophysikalischen Standpunkte aus etwas Undenkbares ist.

3) Interkontinentale Grosszonalen.

Infolge der starken elastischen Anisotropien entstehen bei den grosstektonischen Spannungsschwankungen in der Erdkruste zwischen den Kontinentmassen besonders starke Torsionsscheerungen. Man wird in solchen Zwischenzonen besondere Effekte von Torsionen in Form entsprechend verlaufender ausgeprägter Lineamente und tektonisch aktivierter Zonalen suchen. In der Arbeit über Mittelamerika habe ich der Meinung Ausdruck gegeben, dass dort die Kuba–Texas-Richtung und die Bartlett–Trog-Richtung die Funktion von interkontinentalen Speziallineamentierungen übernehmen. Dazu kommen dann noch weitere torsionelle Effekte, welche ihren Ausdruck in einer allgemeinen starken vulkanischen Aktivierung und in der Ausbildung der zwei pliozänen bis rezenten mittelamerikanischen Vulkanstaffeln finden.

Ein anderes Beispiel einer zwischenkontinentalen Zonale bietet die mittelatlantische Schwelle. Da die Ränder der Kontinente, welche den Atlantik begrenzen parallel laufen, so scheint es verständlich, dass die mechanische Ausgleichszonale, welche durch die Grossanisotropien gefordert wird, ebenfalls dem mittleren Streichen der Kontinenträndер parallel läuft und zugleich den annähernd mittleren Abstand wahrt. Die Theorie verlangt dort eine lineamenttektonische Ausgleichzonale, d. h. ein Gebilde, wie wir es in der mittelatlantischen Schwelle vor uns haben.

---

[3]) D. h. durch sukzessive Salifizierung simatischer Kruste, wie sie in den ozeanischen Böden noch erhalten ist.

Afrika und Asien sind ebenfalls benachbarte Kontinente. Auch zwischen ihnen muss eine Ausgleichszonale existieren. Sie wird, da die Hauptlineamente dieser Kontinente einigermassen parallel sind, mit dem kontinentalen NW-Lineament des einen oder andern Kontinentes übereinstimmen. Diese Ausgleichszonale ist verwirklicht in der Rote-Meer-Island-Zonale (s. Fig. 7). Da diese Zonale in ihren letzten Reperkussionen sich einerseits noch über Island hinaus fortsetzt und vermutlich auch einen Teil der Maskarenenschwelle im Indischen Ozean bestimmt, ist sie mit ca. 12,000 km geradliniger Erstreckung wohl eine der imponierendsten Zonalen der Erde. Sie schliesst sich der afrikanischen NW-Orientierung an. Ihr gehört die grösste Grabenstruktur der Erde an, das Rote Meer[4]). Sie ist ferner in der Ägäis und im Balkan bezeichnet durch entsprechende auffällige NW-Reliefierung (Fig. 9) und entsprechend orientierte seismische Tätigkeit. Die meisten Balkangrossbeben sind so orientiert (Fig. 2). Die pannonische Senke liegt in dieser Zonale. Wo die Zonale den alpinen Faltungswall kreuzt, findet man den Faltungsunterbruch zwischen Ostalpen und Karpathen, und wo sie den hercynischen Faltungswall schneidet, hat vermutlich aufsteigende Rejuvenation die kristalline böhmische Masse der Erosion freigelegt. Über die Senke der Nordsee kommt man zu dem nordatlantischen Basaltgebiet, welches in Form der nordatlantischen Schwelle nach Island und Grönland führt. In Schottland streichen Scharen von Basaltgängen in der afrikanischen NW-Richtung. Die Basaltzone scheint noch Grönland zu queren und im Gebiet der Diskoinsel unter dem Inlandeis wieder aufzutauchen. Dies sind die auffälligen Etappen, welche die afrikanisch-eurasische Zwischenzonale tektonisch festlegen.

4) Island als Beispiel einer Grosszonaleninterferenz.

Eine auffällige und interessante Stelle im heutigen Erdbild ist die Insel Island. Dieses grosse Basaltplateau gehört der mittelatlantischen und der Rote-Meer-Zonale an. Hier kreuzen sich zwei Grosszonalen. Kreuzungspunkte von Zonalen und Linearen sind aus Gründen, die ich bereits berührt habe, Zentren ausgesprochener vulkanischer Aktivität. Die vulkanische Aktivierung erfolgt in Island in grossartigem Masstab. Es liegt hier im Scheitel des Atlantik eines der bedeutendsten heutigen vulkanischen Zentren der Erde, wo seit der Tertiärzeit und vielleicht auch früher gewaltige Lavamassen gefördert wurden. Kein Vulkangebiet weist annähernd vergleichbare historische Massenergüsse auf. Die Lakispalte förderte 1783 ca. 15 km³ Lava. In einer von Dr. Lauge Koch organisierten Islandexpedition hatte ich Gelegenheit, auch die tektonischen Verhältnisse dieser Insel etwas näher kennenzulernen und bringe an anderer Stelle neue Angaben zu der äusserst interessanten isländischen Tektonik (Sonder 1938). Ich möchte hier nur betonen, dass die Details der Islandtektonik im Rahmen vorstehender Vorstellungen sehr gut erklärbar scheinen. Die von mir neu entworfene lineamenttektonische Skizze Islands (Fig. 12 auf Seite 233) gibt darüber Anhaltspunkte.

---

[4]) Da die Zonalenwirkung theoretisch sich nicht erst ausgangs des Mesozoikums geltend gemacht hat, sondern schon vorher, wird es auch zweifelhaft, ob das Rote Meer eine Grabenstruktur jungen Datums ist, wie man bisher meistens annahm. Ähnliches muss man auch aus Homologiebetrachtungen schliessen, wenn man an die entsprechende Konstellation Grönland-Nordamerika denkt. Ferner scheint das Rote Meer insofern kein echter Graben zu sein, als auf seiner Sohle kein Massendefizit, sondern ein Massenüberschuss gravimetrisch festgestellt wurde. Trotzdem können bei der allgemeinen Reliefakzentuierung, welche im Tertiär einsetzte, zusätzliche randliche Einbrüche erfolgt sein, welche einen jungen Graben vortäuschen. Der Boden des roten Meeres könnte möglicherweise noch simatisch sein.

5) Anderweitige Grosszonalen.

Infolge der grossen elastischen Anisotropie zwischen kontinentalen und ozeanischen Tafeln ist es notwendig, dass die Kontinentalränder „Zonalencharakter" haben. Dem kontinentalen Rande parallel laufende Verwerfungen, Randscheerungen mit Begleitbeben wie bei der californischen St. Andreasrift, zeugen für solche Verhältnisse. Ein auf grössere Distanz geradlinig sich fortsetzender Kontinentalsaum muss deshalb auch in seiner Verlängerung, wenn er in kontinentale Gebiete eintritt, unter Umständen besondere tektonische Reperkussionen auslösen. Die tektonisch so deutlich markierte Verwerfungstendenz längs NE-streichenden Brüchen auf Yucatan erfolgt in der Verlängerung der SW-lichen kontinentalen Randzonale Nordamerikas (Sonder 1936). Eine analoge Erscheinung liegt wohl in der sogenannten Kalahariquetschzone vor, welche in grösserem Zusammenhang betrachtet die Fortsetzung einer Küstenzonale „Somalihalbinsel–Arabien" ist. Diese Beispiele von Zonalen, die weiter vermehrt werden können, mögen hier genügen. Ich glaube, diese Angaben zeigen, dass man aus lineamenttektonischen Betrachtungen vielfach tiefere Einblicke in grosstektonische Erscheinungen und Zusammenhänge erlangen kann.

I. Die Haupttypen der Gebirgsbildung.

Orogenese, Tafrogenese und Vulkanismus sind die strukturverändernden tektonischen Vorgänge der Kruste, welche Gebirge zu schaffen vermögen. Da der Vulkanismus eine Zugabe ist, der bei den verschiedenen gebirgsbildenden Prozessen immer mehr oder weniger mitwirkt, so bewegen sich die möglichen Typen der Gebirgsbildung zwischen einem rein lineamenttektonischen Baustil, wo die tektonischen Verstellungen wohl vorzugsweise längs lineamenttektonisch vorgebildeten Bewegungsbahnen erfolgen, und einem orogenen Baustil, wo der Zusammenschub dominiert, und wo die Aktivierung lineamenttektonischer Bewegungsbahnen im Faltungsgürtel selbst eine geringe Rolle spielt (absolut fehlen dürfte sie wohl nirgends). Dementsprechend glaube ich, dass man die tektonischen Gebirgstypen am besten einteilt nach dem Grad des lineamenttektonischen Einschlags, den sie aufweisen, und zwar wie folgt:

1. Alpinotype Gebirgsbildung. Es dominiert Zusammenschub in Form von Deckenbildungen. Der lineamenttektonische Einschlag und der begleitende Vulkanismus sind relativ gering.

2. Andinotype Gebirgsbildung. Der Zusammenschub ist noch stark, jedoch ist gleichzeitig ein starker lineamenttektonischer Einschlag zu beobachten, der zu vertikaler Zerhackung führen kann und einen sehr intensiven gleichzeitigen Vulkanismus auslöst. Dieser lineamenttektonischen Durchsetzung sind im allgemeinen Gebirgsketten unterworfen, welche in den Randzonalen der Kontinente entstehen, also z. B. die zirkumpazifischen Ketten. An den kontinentalen Säumen stossen grosse Stoffinhomogenitäten zusammen. Es ist gar nicht anders möglich, als dass die Saumzonalenwirkung das entstehende Gebirge immer wieder mit Scheerungen durchsetzt, welche Aufstiegwege für das Magma schaffen (s. Sonder 1936). Es ist denkbar, dass andinotype Gebirge auch im Innern von Kontinenten entstehen, wenn solche Gebirge auf grössere Distanzen dem massgebenden Lineament parallel laufen und sich Zonalenwirkungen einstellen. So scheint es mir, dass beispielsweise der Ural mit seinen

starken magmatischen Einschlägen möglicherweise eine alte andinotype Gebirgsstruktur darstellt. (N–S-Lineamentierung aktiviert.)

3. Germanotype Gebirgsbildung ist Blockfaltung mit radialen Dislokationen. Es dürfte eine Art der Gebirgsbildung geben, die nicht mehr andinotyp ist, aber auch nicht als germanotyp im Sinne von STILLE's mitteldeutschem Beispiel bezeichnet werden kann. Bei dieser Gebirgsbildung scheinen kristalline Blöcke gegen- und aufeinandergeschoben, wobei grössere Gebirge entstehen und gleichzeitig ein stärkerer vulkanischer Einschlag sich geltend macht. Nach den vorliegenden Beschreibungen scheinen solche Störungsformen im östlichen Sibirien sich geltend zu machen. Man wird vielleicht dazu kommen, den Begriff germanotype Gebirgsbildung auf Blockfaltengebirge schränken, wo der Vulkanismus stärker zurücktritt, und noch einen weiteren Typus schaffen.

4. Afrikotype Gebirgsbildung umfasst die Radialverstellungen in der Erdkruste, wie sie sich bei der jüngeren Reliefierung besonders im Bereiche des afrikanischen Kontinentes und der ihn umgebenden Meere auswirkte. Offenbar gibt es im Rahmen der afrikotypen Gebirgsbildung wieder verschiedenartige Baustile in bezug auf Formen und auf die Ursachen, welche die Verwerfung bedingen. So dürften in ozeanischen Gebieten und in kontinentalen Tafeln nicht gleiche, sondern möglicherweise komplementäre Verwerfungstendenzen existieren, indem z. B. auf kontinentalen Tafeln die Tendenz zur Bildung von grabenförmigen Sackungen besteht, in den ozeanischen Tafeln dagegen die Tendenz zur Aufstossung von Langhorsten. Solche Verhältnisse kommen besonders deutlich im atlantischen Ozean zur Geltung, so dass man also z. B. von einer besonderen atlantotypen Verwerfungstendenz sprechen kann. In diesem Zusammenhang möchte ich auf die Umkehr der Reliefierungstendenz hinweisen, welche sich in der Rote-Meer-Zonale geltend macht, sobald dieselbe in ozeanische Bereiche eintritt (Maskarenen-Schwelle; nordatlantische Schwelle). Weitere Ausführungen zu diesem Problem habe ich in meiner vorläufigen Mitteilung über den Bau Islands niedergelegt (SONDER 1938).

Wenn man also schon von Haupttypen der tektonischen Gebirgsbildung sprechen will, wozu in der Literatur eine gewisse Tendenz besteht, so müssen m. E. mindestens 4 Haupttypen unterschieden werden, wie es vorstehend geschehen

---

Zu Fig. 12: Die Skizze hat als Unterlagen die neue dänische topographische Karte, die geologische Karte der Insel von THORODDSEN (1901) und eigene Studien an Ort.

Island ist ein vorzügliches Beispiel lineamenttektonischer Reliefierung. Die Insel zerfällt nach der Lineamentierung in verschiedene Provinzen mit eigenen Orientierungstendenzen. Setzt man die Orientierungsrosette für die ganze Insel zusammen, so erhält man hauptsächlich drei Systeme mit je zwei rechtwinklig koordinierten Richtungen, welche sich im Rahmen der Grossorientierungen (Fig. 7) wiederum ohne weiteres in Beziehung setzen lassen zu den drei kontinentalen Hauptsystemen (afrikanisches, asiatisch-nordamerikanisches und atlantisches System, Signaturen wie in Fig. 4). In Feld I und II wird die Insel gequert durch die mittelatlantische Zonale. An Hand von Feldbeobachtungen kann man feststellen, dass für die hier skizzierte lineamenttektonische Ordnung gleichsinnig verantwortlich sind: Klüftung, tektonische Verwerfungen, junge Spaltenausbrüche und erosive Zerstörung (glazial und fluviatil). Die Vergitterung von Provinzen mit nach verschiedenen Richtungen aktivierter Reliefierung kann auch innerhalb der Hauptprovinzen im Detail wieder gefunden werden. Es handelt sich also um eine intensive gegenseitige Durchdringung verschiedener Aktivierungstendenzen, welche oft sehr markant herausgearbeitet sind, was alles für eine Interferenzstelle von zwei Grosszonalen spricht, wie sie auch in Fig. 7 angenommen wird. Es scheint mir deshalb, dass die hier vorgetragene neue lineamenttektonische Zonalentheorie eine sehr viel bessere Erklärungsbasis für das Zustandekommen des grossen isländischen Basaltplateaus und seiner Tektonik gibt als andere bisher vorgebrachte Erklärungsversuche.

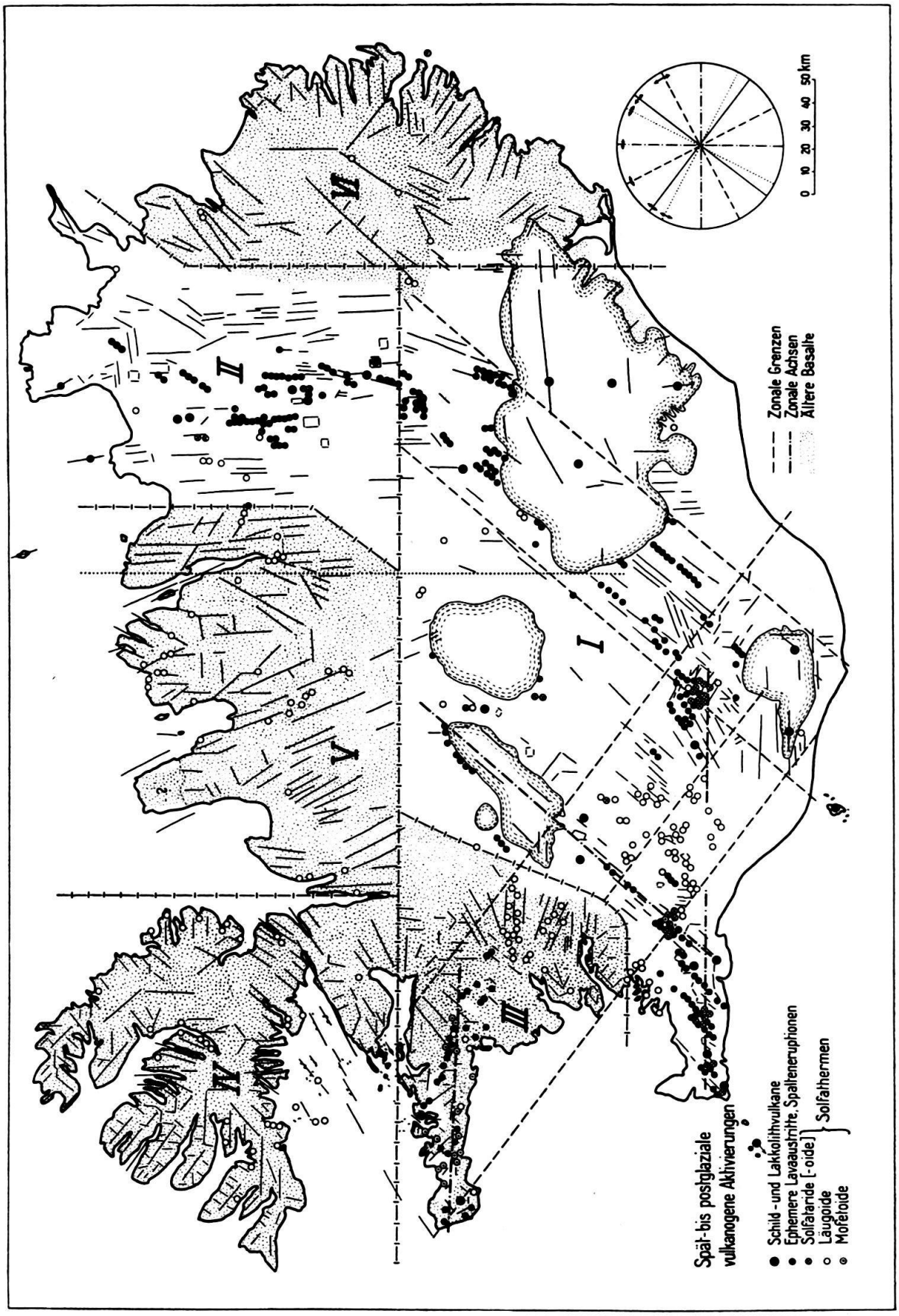

Fig. 12. *Lineamenttektonische Skizze von Island.*

ist. Alle Formen gehen ohne scharfe Grenzen ineinander über. Was für eine Art Gebirgsbildung im einzelnen Falle vorliegt, hängt davon ab, in welchem Masse die drei Hauptprozesse der tektonischen Strukturveränderung, nämlich tangentialer Zusammenschub, radiale Verstellung und Lineamenttektonik am Gebirgsbau mitgewirkt haben.

K. Schlusswort.

Ich habe versucht, die Hauptprobleme der Lineamenttektonik zu skizzieren und glaube, dass nur unter Eintreten auf diese Gesichtspunkte ein volles Verständnis der oberflächlichen Erdformen und ihres Bildungsganges erreicht werden kann. Die Erdkruste, in der sich die geotektonischen Prozesse vollziehen, ist mechanisch nicht nur definierbar als eine Gesteins- und Schichtenmasse von dieser oder jener Zusammensetzung, mechanischer Resistenz usw., sondern sie hat noch eine weitere strukturelle Eigenschaft, welche ihre mechanischen Reaktionsmöglichkeiten aufs tiefste beeinflusst. Die Erdkruste ist ein weitgehend aufgeteiltes Schollenmosaik, so dass sich keine grösseren tektonischen Bewegungen abspielen können, die nicht in mehr oder weniger starker Form von den mechanischen Gegebenheiten bestimmt werden, die diesem Schollenmosaik anhaften. Es gibt also keine verständliche Geotektonik ohne Berücksichtigung der Schollen- und Klufttektonik, oder, wie ich dies benennen möchte, der Lineamenttektonik. Selbst junge Kettengebirge von scheinbar so geschlossenem orogenem Baustil wie die Alpen enthalten in ihrer heutigen Reliefform und auch in ihrer tektonischen Anlage und inneren Struktur sicher „lineamenttektonische resp. schollentektonische Einschläge". Wie weit diese Einschläge gehen, kann heute allerdings noch kaum beurteilt werden. Meine vorstehenden Ausführungen wollen Anregungen sein, auch dieser Seite der Tektonik Aufmerksamkeit zu schenken. Das Für und Wider ist anhand der einzelnen Feldprobleme zu überlegen. Selbst wenn sich nicht alle die vorstehend angedeuteten Möglichkeiten in vollem Umfange bestätigen lassen, so glaube ich doch, dass durch die Verfolgung des lineamenttektonischen Leitgedankens sich fast alle Spezialkapitel der tektonischen Wissenschaften in teilweise neuem Lichte zeigen und viele Probleme, denen man bisher kaum nahekommen konnte, verständlicher werden. Es ergeben sich auch neue Verknüpfungen mit der Seismologie, und zwar auf Wegen, die Hobbs, Sieberg u. A. in teilweise allerdings etwas abweichender Weise herzustellen suchten.

Wichtig ist vor allem, dass auch systematischen Klüftungsmessungen grössere Beachtung geschenkt werde, aber nicht nur, wie es neuerdings ziemlich einseitig geschehen ist, in spezialtektonischer Auswertung. Solche Auslegungen sind teilweise anfechtbar, weil sie eben nicht die Möglichkeit einer universaltektonischen Klüftung berücksichtigen. Dass eine universaltektonisch geregelte Kluftordnung die Erdkruste als Ganzes beherrscht, scheint mir festzustehen. Eine andere Frage ist, wie weit man die Züge dieses Kluftplans durch einfache Lineamentpläne erfassen kann, ohne wirklichkeitsfremd zu werden.

Ich habe beispielsweise vorstehend versucht, die lineamenttektonischen Hauptorientierungen Europas auf eine einfache Formel zu bringen, und dieselbe in Beziehung zu setzen mit drei massgebenden kontinentalen Hauptlineamentierungen. Vieles scheint eine solche Auffassung zu stützen, wenn auch vielleicht nicht alle Kluftmessungen sich einpassen. Vielleicht wird man später anhand eingehender Kluft- und Bruchlinienstudien auf statistischer Basis einer

so vereinfachten systematischen Ausdeutung nicht zustimmen, sondern eine weniger systematische Formulierung vorziehen. Es ist ja nicht zu bestreiten, dass Bruchlinien und Klüfte an der Erdoberfläche immerhin oft ziemliche Unregelmässigkeiten zeigen. Der Bruchlinienverlauf ist nicht immer gerade und wie nach dem Lineal gezogen, sondern oft recht willkürlich. Auch das Einfallen ist nicht immer vertikal, sondern nach verschiedensten Winkeln geneigt, wobei allerdings — was wenigstens die als lineamenttektonisch charakterisierbare Klüftung anbelangt — ein statistisches Pendeln um die Vertikale kaum bestritten werden kann.

Bei der Feststellung solcher Regellosigkeiten muss Folgendes bedacht werden: Es ist sehr wohl denkbar, dass das relativ unsystematische Oberflächenbild durch ein systematischeres Tiefenbild ersetzt wird. Die oberflächlichsten Schichten sind nämlich ein besonders gelockertes Blockgebilde mit eingelagerten Inhomogenitäten.

Grosse elastische Anisotropien können zwischen kristallinen plutonischen Körpern und umgebenden Sedimentgesteinen bestehen. Solche eingelagerten Anisotropien können bei mechanischer Beanspruchung auch im Kleinen nicht mechanisch zusammenarbeiten. Es müssen sich im Laufe der Zeiten Spezialklüftungen um solche Anisotropien bilden, welche von deren Form abhängen. Dies zeigt, dass unter Umständen gewisse Klüftungserscheinungen, welche an Plutonen zu beobachten sind, gar nicht Klüftungssysteme sein müssen, welche im Zusammenhang mit der Intrusion sich bildeten, sondern dass der „tote" erstarrte Pluton sich solche Spezialklüftung in entsprechender Umgebung unter Umständen selber schafft. Es ergeben sich hiebei ganz spezielle Lokalprobleme reiner Oberflächenklüftung.

Oberflächlich können vermutlich Lockerungen, ja Zerrungen erfolgen, die in tieferen Horizonten fehlen. Die Zufälligkeiten der Lokalstruktur, Rutschungen, Sackungen, können so oberflächlichste Reaktionsformen in Kluftstreichen und Klufteinfall schaffen, die nur ein verzerrtes Abbild der tieferen Struktur sind, wo die Bedingungen auch in mechanischer Hinsicht ganz anders liegen. Das würde heissen, dass das systematischere Tiefenbild mit Annäherung an die Oberfläche unsystematischer wird. Es ist ferner eine Erfahrungstatsache, dass die grundlegenden Hauptstörungen, welche dem Relief parallel laufen, aufschlussmässig oft viel schlechter oder gar nicht belegt werden können, weil der Geländeschutt diese Störungen zwangsläufig verdeckt. Dagegen können Störungen, die bei durchschnittenem Terrain quer zum Relief laufen, meist sehr leicht gefunden werden, weil sie schöne Aufschlüsse bieten. So sind also manchmal die unwichtigeren tektonischen Leitlinien in einer tektonischen Skizze, welche sich streng an die Feldbeobachtungen hält, besser dargestellt als die wichtigeren „Grundlinien", die man mehr nur vermuten muss.

Alle diese Überlegungen zeigen, dass bei diesen Problemen sehr viele Punkte berücksichtigt werden müssen, und dass nur die Sichtung eines weitläufigen und vielseitigen Materials auf statistischer Basis grössere Einsicht bringen kann. Nicht zuletzt spielen in solche Betrachtungen theoretische Überlegungen hinein, und zwar schon deshalb, weil es dem menschlichen Geiste schwer fällt, statistisch-analytische Erkenntnisse ohne synthetische Leitgedanken zu erkennen. Ich konnte deshalb vorstehend nicht vermeiden, auch die theoretische Seite anzutönen, um zu zeigen, dass man diesen Zusammenhängen sehr wohl theoretisch begründbaren Inhalt geben kann. Es finden sich in der Literatur verschiedene Anläufe, in die lineamenttektonische Problematik einzudringen. Wenn diese Versuche bisher ziemlich wirkungslos auf das theoretische Lehrgebäude geblieben

sind, so war dies wohl nur deshalb, weil die bisherige tektonische Theorie mit diesen Problemen nichts anfangen konnte. Die Lineamenttektonik umfasst aber Erscheinungen, welche für die allgemeine Tektonik grundlegend sein dürften.

Die vorstehenden einschränkenden Bemerkungen habe ich angeführt, um hervorzuheben, dass die behandelten Probleme in der vorgelegten Form keineswegs genau umschrieben sind. Ich wollte nur ein Hauptgerüst von teilweise neuen Gedankengängen skizzieren und musste mich deshalb auf möglichste Vereinfachung der Dinge und ihrer Interpretation einstellen. Es sind denn auch nicht allein Feldbeobachtungen gewesen, welche mich auf die lineamenttektonischen Probleme brachten, sondern theoretische Studien, welche der Geomechanik anhand der physikalischen Forschungen über die Eigenschaften des Krustenmaterials und anhand der mechanischen Gesetze näher zu kommen versuchten. Diese Seite des Problems ist zu verwickelt, als dass sie sich auf wenigen Seiten darstellen liesse. Immerhin schienen mir mehr als genügend Tatsachen rein geologischer Natur vorzuliegen, welche von einer Lineamenttektonik zu sprechen berechtigen. Der Lineamentbau der Erdkruste kann am besten anhand eines möglichst breiten Illustrationsmaterials dargelegt werden. Wer sich über das hier vorgelegte hinaus ein noch besseres Anschauungsmaterial verschaffen will, findet es in der zitierten Literatur, speziell in den Arbeiten von DAUBRÉE, HOBBS und SEDERHOLM.

Zweifellos besteht bisher die Meinung, dass das tektonische Weltbild mit den bisher in den Lehrbüchern angeführten Haupterscheinungen (Orogenese, Tafrogenese, Epirogenese, Plutonismus) zwar nicht abgeklärt, aber doch vollständig umschrieben worden sei. Ich bin mir deshalb bewusst, dass viele Geologen dem vorstehenden Versuch, dem Bestehenden gewissermassen eine fünfte tektonische Disziplin anzufügen, welche in bezug auf ihre Bedeutung und Auswirkungen den andern z. T. sogar überzuordnen ist, skeptisch gegenüberstehen werden. Gegenüber einem solchen Skeptizismus möchte ich darauf hinweisen, dass nur ein kleiner Teil des skizzierten Gedankengutes, soweit es sich um beobachtbare Tatsachen handelt, neu ist. Zur Hauptsache handelt es sich um bereits Bekanntes, das man entweder anders deutete, oder wofür man bisher überhaupt keine Deutung hatte. Es ist besonders verständlich, dass man gerade das Klüftungsproblem einfach als sekundäre Nebenwirkung der bekannten andern tektonischen Vorgänge betrachtete, d. h. im Erdbild nur Spezialklüftungen sah. Von diesem Standpunkte aus konnte man sehr leicht die andern grossräumigeren und allgemeineren Probleme der Rindenklüftung übersehen.

Vor allem aber war die gesamte Entwicklung der theoretischen Geotektonik in den letzten Jahren einer Einstellung zu diesen Problemen, wie sie im vorliegenden Artikel zum Ausdruck kommt, absolut feindlich. Die orogene Tektonik beherrschte das Feld und führte den Geologen unbezweifelbare plastische Gesteinsverformungen in grösstem Ausmasse vor Augen. Es entstand die auch heute noch unter Geologen tiefeingewurzelte Vorstellung, dass die Erdkruste auf die geotektonischen Kräfte überhaupt nur plastisch reagieren könne. Es wurde dabei übersehen, dass kristalline Silikatgesteine nach Laboratoriumsbefunden und theoretischen Überlegungen eigentlich eine sehr hohe Festigkeits- und Elastizitätsgrenze haben müssen, und dass die plastischen Verformungen erst bei Überschreiten dieser Grenzbeanspruchungen einsetzen können. Durch reichlich fragwürdige Interpretationen von gewissen Erscheinungen glaubte man, dass die Begriffe der Elastizitäts- und Festigkeitsgrenze für geologisch lange Zeiträume hinfällig würden und in der Geomechanik durch Plastizitätsvorstellungen zu ersetzen seien.

So gilt es denn heute gegenüber diesen sicher grossen Übertreibungen der plastischen Schule, vom geologischen Feldbefund aus die Spuren der starren und spröden Erdkruste wieder zu entdecken. Der augenscheinlichste Beweis der starren, spröden Krusteneigenschaften sind die grossen Sprungsysteme, Lineare und Zonalen, die sich stellenweise bis auf $\frac{1}{3}$ Erdumfang hin nachweisen lassen. Die Existenz solcher geregelten Ordnungen und Orientierungen auf grösste, erdweite Distanzen, ist nun doch ziemlich unvereinbar mit der Vorstellung von einer Erdkruste, die säkularen Kraftwirkungen gegenüber sich völlig plastisch verhält. Sie beweisen vielmehr recht eindeutig das Vorhandensein einer Kruste, welche grosse interne Spannungen aufzunehmen vermag und dieselben nicht durch plastisches Fliessen, sondern längs krustalen Klüftungszonen, welche durch das Übermass der Spannungen erzeugt werden, auszugleichen versucht. Aus den Problemen, welche die Lineamenttektonik dem Geologen stellt, muss man deshalb zur Schlussfolgerung kommen, dass die geotektonischen Hypothesen schlecht beraten sind, welche auf einer weitgehenden Plastizität der Erdkruste aufbauen, und dass eine richtige Theorie eine weitgehende Dauerelastizität und hohe Festigkeit der kristallinen Kruste voraussetzen muss (Sonder 1922). Es wäre andererseits auch falsch, nun alles nur in starre, spröde Reaktionen umdeuten zu wollen. Das geotektonische Krustenbild ist zweifellos eine Synthese zwischen dem plastischen und dem starren Extrem. Selbst ein Mosaik aus starren Schollen, das genügend aufgeteilt ist, kann unter Wahrung des Schollencharakters im Grossen plastisch deutbare Bewegungsbilder erzeugen.

Literatur.

Ahnert, E., Morpholog. u. geotekt. Skizze d. russ. fernen Ostens etc. Proc. 3rd Panpacific Scient. Congr. Tokyo, 1926, Bd. I, p. 491ff.

Cloos, H. Zur Grosstektonik Hochafrikas und seiner Umgebung. Geol. Rdsch., Bd. 28, 1937.

Daubrée, A. Synthetische Studien zur Experimentalgeologie. Braunschweig 1880.

Deecke, W. Ein Grundgesetz der Gebirgsbildung? N. Z. f. Min. 1908, I, S. 119ff, II, S. 32ff. 55ff.

Dinu, J. J. Geologische Untersuchungen der Beziehungen der Gesteinsspalten, der Tektonik usw. im östl. Pfälzerwald. Verh. d. naturh. med. Ver. Heidelberg, N. F. 11, 1912.

Draghicénu, M. M. Les tremblements de terre de la Roumanie et des pays environnants. Bukarest, 1896.

Foucar, K. Der Bau der Aufrichtungszone am nördl. Harzrand und die Klüftung ihrer Gesteine. Jahrb. d. Halle'schen Verb. f. Erf. d. mittd. Bodenschätze u. ihrer Verwertung, N. F. 15. 1936.

Gregory, J. W. The Nature and Origin of Fjords. London 1913.

Gregory, J. W. The Rift Valleys and Geology of East Africa. London 1921.

Haarmann, E. Um das geologische Weltbild. Stuttgart 1935.

Hennig, E. Afrika, Regionale Geologie der Erde, I. V. 1938, Leipzig.

Hill, R. T. Texaslineament, siehe in Ransome: The tertiary Orogeny of the North American Cordillera. Dana commemorative Lectures. New Haven 1915.

Hobbs-Ruska, Erdbeben. Leipzig 1910.

Hobbs, W. H. Repeating Patterns in the Relief and the Structure of the Land. Bull. Geol. Soc. 22, 1911, S. 123ff.

Kaufmann, R. Die Klufttektonik des Kambrosilurs von Gotland, Öland und dem Kalmargebiet. Geol. Rdsch. 1931, 22, S. 292ff.

Kjerulf, siehe Hobbs 1911.

Keilhack, K. Über atektonische Faltung, etc. Ztschr. Deutsch. Geol. Ges. 83, 1931, S. 184ff.

Kolderup, N. H. Vestnorske Fjorders. Norsk Geol. Tidskr. B. 12, S. 457ff.

Krenkel, E. Die Bruchzonen Ostafrikas. Berlin 1922.

Krenkel, E. Geologie Afrikas. Berlin 1925.

LOTZE, F. Über Schichtaufrichtung an Klüften. Z. d. deutsch. geol. Ges., Bd. 84, 1932, S. 67ff.
MARTIN, L. Alaskan Earthquake of 1899. Bull. Geol. Soc. Am. 21, 1910.
PEACOCK, M. A. Fjord Land of British Columbia. Bull. Geol. Soc. Am. 1935, 46.
RÖHRER, F. Geologische Untersuchungen der Beziehungen zwischen den Gesteinsspalten usw. im südl. Kreichgau. Jahresber. u. Mitt. oberrh. geol. Ver. 11, 1922.
SALOMON, W. Können Gletscher in anstehendem Fels Kare, Seebecken und Thäler erodieren? N. Jb. Min. Geol. & Pal., Bd. II, 1900, S. 117.
SEDERHOLM. J. J. Weitere Mitteilungen über Bruchspalten etc. Bull. Comm. Géol. Finlande, N⁰ 37, 1913.
SELZER, G. Diluviale Lösskeile und Lösskeilnetze in der Umgebung von Göttingen. Geol. Rdsch. 27, 1936, S. 275ff.
SIEBERG, A. Untersuchungen über Erdbeben und Bruchschollenbau im östlichen Mittelmeergebiet. Jena 1932.
SIEBERG, A. Erdbebengeographie. Gutenbergs Handbuch d. Geophysik, Bd. 4. Berlin 1932.
SONDER, R. A. Die erdgeschichtlichen Diastrophismen im Lichte der Kontraktionslehre. Geol. Rdsch. 13, 1922, S. 217ff.
SONDER, R. A. Zur Geologie u. Petrographie der Inselgruppe von Milos. Z. f. Vulkanol., Bd. 8, 1929, S. 181ff.
SONDER, R. A. Grosstektonische Probleme des mittelamerikanischen Raumes. Z. f. Vulkanol., Bd. 17, 1936, S. 1ff.
SONDER, R. A. Zur magmatischen und allgemeinen Tektonik von Island. Schweiz. min. u. petr. Mitt., Bd. 18, 1938.
TEICHERT, C. Die Klufttektonik der cambrosilurischen Schichttafel Estlands. Geol. Rdsch., Bd. 18, 1927, S. 241ff.
WEGMANN, C. E. Geological Investigations in Southern Greenland. Med. o. Grœnland, Bd. 113, 2, 1938.

Manuskript eingegangen den 29. Oktober 1937 resp. den 10. Mai 1938.