

Die Beziehung des südosteuropäischen Gebirgsbaues zur Alpentektonik

von

Franz Kossmat

(Leipzig)

Sonderabdruck aus der „Geologischen Rundschau“
Band XV Heft 3

Berlin

Verlag von Gebrüder Borntraeger

W 35 Schöneberger Ufer 12a

1924

Die Beziehung des südosteuropäischen Gebirgsbaues zur Alpentektonik¹⁾.

Von Franz Kossmat (Leipzig).

(Mit 3 Textfiguren.)

Während des Krieges 1914—1918 waren große Teile der Balkanhalbinsel²⁾ durch längere Zeit das Arbeitsfeld deutscher und österreichisch-ungarischer Geologen, die für militärische und wissenschaftliche Zwecke Aufnahmen machten. Diese erstreckten sich von der adriatischen Küste durch Albanien, Serbien und Mazedonien bis zum Ägäischen Meer. Man erhielt so Einblick in den Gesamtaufbau, während vorher nur die äußeren, als „dinarisch“ bekannten Zonen entlang der Adria gut untersucht waren.

Da mir als Forschungsgebiet ein großer Teil des tektonisch fast unbekanntem Innermazedoniens und der benachbarten Teile Südwestserbiens zugefallen war, bot sich mir die Gelegenheit, Aufschluß über die zentralen Regionen der südosteuropäischen Gebirge zu erhalten und neue Anhaltspunkte für den Vergleich mit den Alpen zu gewinnen.

Die Erschließung des Alpenbaues ist von jenen Faltenzonen her erfolgt, die sich beim Eintritt von Westen und Norden her dem Beobachter darbieten. Sämtliche neuere Betrachtungen der großen Strukturzüge gingen von den klassischen Ergebnissen der Schweizer Geologen aus. Für den westalpinen Tektoniker tritt aber die Südseite des Gebirges ganz anders in Erscheinung als für den ostalpinen. Der gewaltige piemontesische Faltenwirbel im Innern des westalpinen Bogens hat die südlichen Sedimentärzonen in große Tiefen hinabgezogen. Erst im oberitalischen Seengebirge lernt man einen Teil davon kennen. Die volle Entfaltung wird endlich am Golf von Triest sichtbar.

Die gegenwärtige Alpenauffassung war in allen wesentlichen Zügen fertig, bevor man sich über die Bedeutung der südlichen Zonen des Gebirges, der sogenannten Dinariden, Klarheit verschaffen konnte. Das war von Anfang an und ist wohl noch auf Jahre hinaus für viele alpine Tektoniker das Hauptemmnis gegen eine unbefangene Einschätzung des „Dinaridenproblems“. Wir sehen ziemlich in allen neueren Alpensynthesen ein großes, einheitlich orientiertes System von Überschiebungsdecken, die unter dem Druck der Dinaridenregion nach Norden gewälzt wurden. Für TEEMIER und seine Anhänger sind die Dinariden als „traineau écraseur“ über weite Teile der Alpen gegangen und es wurde auch die Ansicht ausgesprochen, daß in den obersten Alpendecken teilweise Denudationsreste der Dinaridenschubmasse vorliegen.

In den Profilen von R. STAUB (Faziesverteilung und Orogenese in den östlichen Schweizeralpen, Beiträge zur geol. Karte der Schweiz, Nr. 46, 1917) und H. JENNY (Die alpine Faltung, Gebr. Borntraeger, Berlin 1923, Taf. II) kommt der durch die Dinariden bewirkte Nordschub gleichfalls zur Darstellung; wenn auch der TEEMIERsche Gedanke des „traineau écraseur“ abgelehnt wird.

¹⁾ Nachträgliche Erweiterung des auf der Versammlung der Geologischen Vereinigung 1922 gehaltenen Vortrags.

²⁾ Die Kriegsschauplätze 1914—1918, herausgegeben von J. WILSER, Verlag Gebrüder Borntraeger. Heft 12: KOSSMAT, Geologie der zentralen Balkanhalbinsel, mit einer Übersicht des dinarischen Gebirgsbaues. 18 Textfig. und 1 geolog. Karte. Berlin 1924. — Heft 13 (noch nicht erschienen): ERDMANNSDÖRFFER, KOERT, LEBLING, LEUCHS, OSSWALD, RANGE, WURM: Südostmazedonien und Vorderasien.

Der ganze, mächtig aufgestapelte Stoß relativ dünner, weit ausgebreiteter Faltendecken wurde in der Auffassung dieser Synthesen nachträglich zu einer Antiklinale größten Stils emporgewölbt, deren Achse die Zentralzone bezeichnet. Der Südschenkel dieser Antiklinale ist steil gestellt und gegen die Adria überkippt (vgl. die Übersichtsprofile bei STAUB und JENNY).

Gegenüber dem Nordschub, den die ganzen Alpen einschließlich des Dinaridenanteils erfahren haben, sind nach dieser Darstellung die Südbewegungen sekundär in jeder Beziehung. Die besonders von TERMIER vertretene Hilfs-hypothese, daß ein nach den nordgerichteten Deckenbewegungen erfolgtes junges Einsinken der adriatischen Region ein „Rückgleiten“ der Dinariden ausgelöst habe, ist noch nicht ganz verlassen.

L. KOBER kam unter dem starken Eindrucke der Verhältnisse in den Ostalpen und dem dinarischen Gebirge von dieser Grundvorstellung im allgemeinen ab und kehrte zu der Anerkennung des zweiseitigen Baues zurück. Er faßt die mediterranen Kettengebirge als ein zweiseitig gebautes „Orogen“ auf, dessen nördlicher Stamm (Alpiden) gegen das europäische Vorland überfaltet ist, während der südliche (Dinariden) seine Überfaltungen gegen die indoafrikanische Kontinentalmasse richtet (Bau der Erde, Gebr. Borntraeger, Berlin 1921, S. 140; Bau der Alpen, ebendort 1922). Aber in der Deckenanordnung der Alpen und z. T. auch in der Bewertung der Dinariden ist KOBERS Synthese den letztgenannten noch nahe verwandt. In dem Profil S. 126, Bau der Erde, werden die Dinaridenüberschiebungen als „kleine Rückflutungen jungen Datums“ bezeichnet — eine Vorstellung, die völlig von der westalpinen Schule übernommen ist. Die Südbewegungen griffen nach dieser Auffassung in den alpinen Bauplan nicht während dessen Formung ein, sondern haben nachher die bereits fertig aufgeschichteten Deckensysteme als Ganzes deformiert.

Zweifelloos trägt die gedankliche Vereinfachung, die in dieser Art der Auflösung des komplizierten Gebirgsbaues liegt, viel zur Erzielung eines in sich geschlossenen Bildes und damit zur Verständlichkeit der gegebenen Synthesen bei. Man muß sich aber darüber klar sein, daß in ihr eine Fehlerquelle verborgen ist. Der Fall liegt in mancher Beziehung ähnlich, wie wenn man der Einfachheit halber annehmen wollte, daß die Erosion und Denudation erst dann in Funktion treten, wenn die Faltungen beendet sind. Viele tektonische Erscheinungen werden dadurch in ein ganz falsches Licht gerückt.

Über das Verhältnis der sogenannten „dinaridischen“ Südbewegungen zu den „alpinen“ Nordbewegungen wäre zunächst folgendes zu sagen. Aus den Ergebnissen der Untersuchungen in den Gebieten nördlich und östlich der Adria wissen wir, daß die dinarische Tektonik mit ihren Bewegungen gegen die Adria nicht das Werk einer sozusagen „postalpinen“ Phase darstellt. Wir können in ihr außer verschiedenen jung- und alttertiären Faltungen auch die vorgosauische Gebirgsbildung in breiten Gürteln verfolgen. In der südost-europäischen Zentralzone prägt sich sogar eine jurassische Phase deutlich aus (Geologie der zentralen Balkanhalbinsel, S. 131) und scheint auch für die alpinen Verhältnisse Bedeutung zu haben.

Wir wissen ferner, daß die adriatische Region vom älteren Mesozoikum bis in die Gegenwart ihre relative Tieflage behauptete und Schauplatz mächtiger Sedimentation war. Sie hatte auch während der großen kretazischen und tertiären Faltungen der angrenzenden Gebirge immer den Charakter einer typischen Geosynklinale. Die Grenzen und Tiefen wechselten selbstverständlich, aber das Wesen der Erscheinung blieb¹⁾.

¹⁾ KOSSMAT, Die adriatische Umrandung in der alpinen Faltenregion. Mitteil. Geol. Ges. Wien, VI, 1913, S. 65; NOWACK, Über nachtertiäre Faltenbewegungen in Albanien. Geol. Rundsch. XII, 1921, S. 51.

Die Vorstellung von einer in später Zeit (nach der Hauptfaltung) versunkenen „adriatischen Masse“ steht mit dem paläogeographischen und stratigraphischen Nachweis der adriatischen Geosynklinale in unlösbarem Widerspruch und sollte endlich ganz verschwinden. Sie war eine theoretische Forderung des TERMIERSchen Gedankenganges und als solche auch verständlich. Die „adriatische Masse“ gab für ihn das Hinterland ab, das die alpinen Deckenserien gegen die Vorlandsenke trieb. Erst mit ihrem Absinken traten die südgerichteten Rückgleitungen ein. Das ist logisch gedacht, aber durch die Erfahrung widerlegt.

Wenn wir mit der Tatsache der adriatischen Geosynklinale rechnen und trotzdem die Alpensynthese TERMIERS und seiner Schüler voll beibehalten, dann stoßen wir naturgemäß auf Schwierigkeiten. Wir sind dann gezwungen, die bereits dem Dinaridenbereich entstammenden obersten Decken des alpinen Systems aus den Tiefen der mediterranen Geosynklinale aufsteigen und nach einer weit entfernten anderen Geosynklinale (der nordalpinen Randsenke der Kreide- und Tertiärzeit) hinüberwandern zu lassen. Mir erscheint diese Vorstellung schon deshalb unannehmbar, weil man innerhalb des Sedimentationsraumes der adriatischen Geosynklinale die nötige Versteifung für diese enorme, nach außen gerichtete Schubbewegung von Schichtpaketen nicht erwarten kann.

Die summarische Nordbewegung der südwärts überfalteten Dinariden wird noch weniger faßbar, wenn man berücksichtigt, daß zwischen der adriatischen Geosynklinale und der nördlichen Randsenke eine Schwelle emporstrebte, die hätte überstiegen werden müssen. Aus dem Gebiet der zentralen Balkanhalbinsel lief nämlich schon in der Kreidezeit eine breite Faltungsregion zu den Süd- und Zentralalpen. Übergreifen der Oberkreideablagerungen sogar bis auf Paläozoikum und kristallines Grundgebirge findet in ihr weithin statt.

Ich glaube nicht, daß es dauernd förderlich ist, wenn man nur versucht, geänderte Erfahrungen in eine unter anderen Voraussetzungen entstandene Synthese einzupassen. Man muß sich entschließen, auch einige Grundsätze der letzteren zu revidieren. Die Frage ist offen, wie sich die großen alpinen und dinarischen Überschiebungerscheinungen im Gesamtplan des Gebirges zusammenfügen. Eine Erörterung der Verbindung zwischen Alpen und Dinariden ist hier nötig. Hinsichtlich einer eingehenderen Darstellung des Baues der letzteren kann auf die Abhandlung über die zentrale Balkanhalbinsel verwiesen werden. Dort sind auch Literaturangaben für den folgenden Abschnitt zu finden.

Übersicht der dinarischen Zonen und ihrer Einfügung in das Alpengebirge.

I. Die dalmatisch-istrischen Küstenfalten des dinarischen Systems bestehen an der Oberfläche aus Kreide-Eozänkalk mit vorwiegend konkordantem eozän-oligozänem Flysch. Dort, wo sie am Nordrand des Golfs von Triest an den Unterlauf des Isonzoflusses herankommen, sind sie tief unter das Quartär der oberitalienischen Tiefebene getaucht. Nur der Innenrand der innersten Flyschmulde gewinnt über das Hügelland von Görz ununterbrochenen Anschluß an den Saum der venetianischen Voralpen. In seinem Verlauf prägt sich die starke Bogenkrümmung des Gebirges aus, denn das bisher nordwestliche Streichen geht westlich des Tagliamento bald in das westsüdwestliche der venetianischen Alpen über.

Hinsichtlich ihrer Sedimentationsgeschichte zur Kreide- und Alttertiärzeit zeigt die dalmatisch-istrische Zone manche Verwandtschaft mit der helvetischen auf der anderen Seite des Alpenstranges.

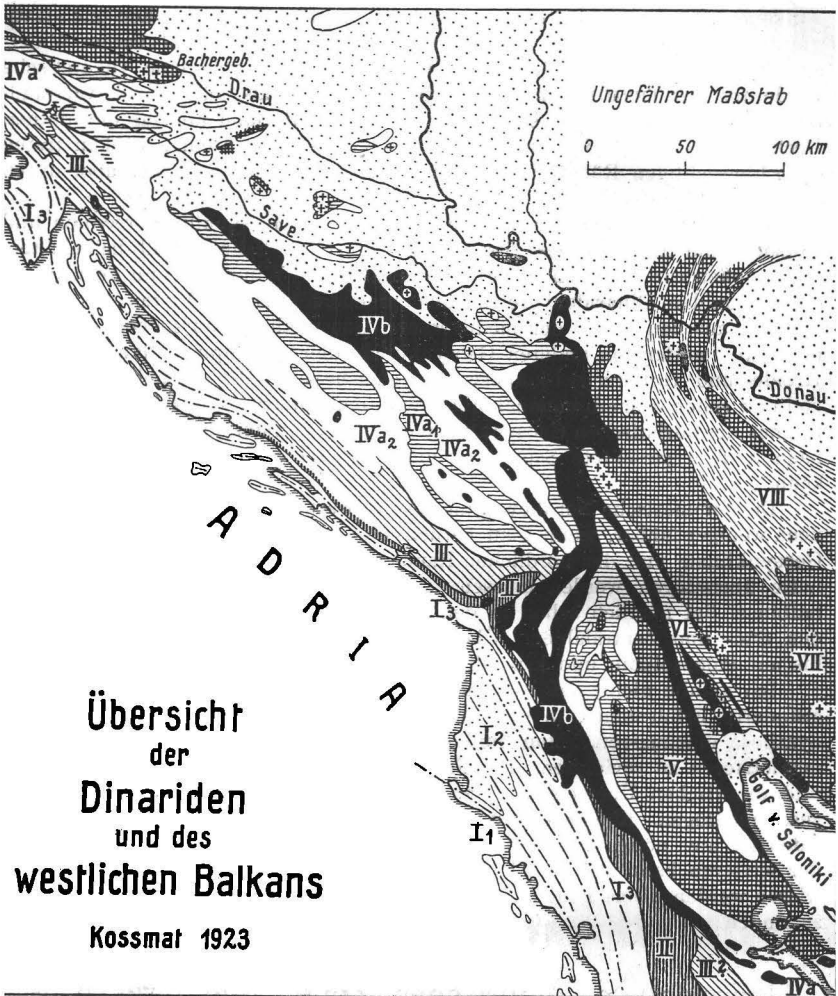


Fig. 1. Kärtchen der Dinariden und des westlichen Balkans unter Weglassung der kleineren Tertiärbecken u. der trachytisch-andesitischen Eruptiva.

I Adriatisch-jonische Zonen (1. westpirotische Zone; 2. niederalbanische Zone; 3. dalmatisch-istrische Küstenzone).

II Pindos-Cukalizone (in Griechenland und Albanien auf I geschoben, in Mitteldalmatien in Falten der Küstenzone auslaufend).

III Westmontenegrinisch-kroatische Hochkarstzone (montenegrinisch-nordalbanische Decke).

IV a Bosnisch-inneralbanische Kalk- und Schieferzone (a_1 = Paläozoische Schiefer-Sandsteinschichten und Werfener Schiefer, a_2 = Mesozoische Kalkserie).

IV a' Südalpine Kalkzone samt paläozoischer Unterlage.

IV b Zone der mesozoischen ophiolithischen Eruptiva, der Schieferhornsteinschichten und der transgredierenden Gosau-Flyschfazies der Oberkreide.

V Pelagonisches Grundgebirgsmassiv und dessen paläozoische Überdeckung.

VI Vardarzone (Paläozoikum, Mesozoikum, Ophiolithe, eingefaltete diskordante Oberkreide).

VII Grundgebirge der Rhodope.

VIII Sedimentfalten des Balkans mit zugehörigen Grundgebirgsmassiven vom Rhodopetypus.

Anmerkung. Mit Kreuzchen sind andeutungsweise wichtigere Vorkommnisse granitischer und tonalitischer Intrusionen des „periadriatischen Kranzes“ bezeichnet.

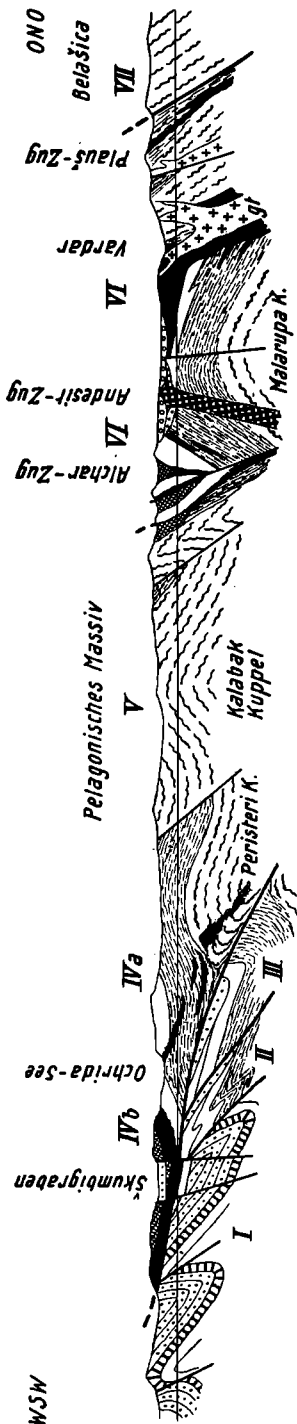


Fig. 2. Überhöhtes Profilschema durch die albanischen und mazedonischen Gebirge, etwa in der Linie durch den Ochridasee über Hudova am Vardar zum Belašicagebirge.

- I Adriatisch-jonische Zonen. Antiklinalen aus Kreide-Eozänkalk und Mulden aus Alttertiärflysch.
- II Unterirdische Verbindung der Cukalidecke mit der Pindosdecke. Vorwiegend Mesozoikum und diskordanter Alttertiärflysch.
- III Unterirdische Fortsetzung der montenegrinisch-nordalbanischen Decke. Karbon-Perm-Mesozoikum und diskordanter Alttertiärflysch.
- IVa Inneralbanische Triaskalke, normal aufgelagert auf die westmazedonische Tonschiefer-Grauwackenzone (in dem Komplex der letzteren herrscht Druck- und Gleitschieferung, die vermutlich mit dem tangentialen Vorschub der ganzen Zone IV zusammenhängt).
- IVb Merditadecke od. albanische Ophiolithdecke. Basische Eruptiva und deren Begleitsedimente. Diskordante Kreide. Eingesenktes marines Oligozän und Miozän des Škumbigrabens.
- V Pelagonisches Massiv. Kristallines Grundgebirge mit Granitbatholithen; diskordante Oberkreide am Ostrand.
- VI Vardarzone. Schuppen von Paläozoikum, älterem Mesozoikum und ophiolithischen Eruptivgesteinen mit granitisch-tonalitischem Gefolge (gt). Diskordante, aber eingefaltete Oberkreide; transgredierendes marines Oligozän; kontinentales Neogen. Andesitdurchbrüche nach dem Oligozän.
- VII Rhodopezone. Kristallines Grundgebirge mit Granitbatholithen.

II. Die auf die Außenfalten überschobene **Cukali-Pindosdecke** von **NOPCSA** und **RENZ** beschränkt sich in ihrer Entwicklung auf die griechisch-albanisch-süddalmatischen Abschnitte des dinarischen Gebirges. Weiter nördlich geht sie im Faltenbau der dalmatisch-istrischen Küstenzone auf, ist hier also in der Zone I inbegriffen und scheidet als besondere tektonische Einheit aus.

III. Die **Hochkarstzone**, der in Kroatien das **Velebit- und Kapelagebirge** am steilen Ostufer des Morlakkenkanals der **Adria** angehören, zeigt am Außenrand Überfaltung über die innere Flyschmulde der äußeren dinarischen Faltengruppe. Sie liegt aber nicht als fremdes Glied auf dem Flysch, sondern letzterer transgredierte vor der Überfaltung bis auf ihre mesozoischen Kalke.

Dem norddinarischen Hochkarst entspricht im süddinarischen Gebiet die montenegrinisch-nordalbanische Decke **NOPCSAS** (Geol. Grundzüge der Dinariden, Geol. Rundsch. 1921, S. 1—19). Sie zeigt sehr ausgesprochenen Überschiebungsbau, wo sie an die Einheit II grenzt.

Eine tektonische Merkwürdigkeit ist die Veränderung, die bei Annäherung an die Südalpen vor sich geht. Während im dinarischen Hauptgebiet auf lange Erstreckung (so noch im **Velebit- und Kapelagebirge**) der nordwestlich streichende, überfaltete Außenrand einheitlich durchzieht, ist er im nördlichen Karst auffällig quer gestaffelt und zwar derart, daß jede Staffel unter die ihr weiter nordwestlich folgende untersinkt¹⁾. So sinkt der **Adelsberger Abschnitt** des Hochkarsts gegen NW unter den Schichtkopf des ihm aufgeschobenen **Birnbaumer Waldes**. Dieser wieder taucht samt seiner Flyschbedeckung unter die aufgeschobene **Trias-Juraplatte** des **Ternovaner Waldes**. Die drei Einheiten wenden gegen die auf ihrer Außenseite durchstreichende Flyschmulde der Küstenfalten je eine überschlagene Randfalte, die bei ihnen allen in der gleichen Streichlinie des Gebirges liegt und in ihrer tektonischen Stellung genau der Außenfalte des kroatischen Hochkarsts (**Kapela—Velebit** usw.) entspricht. Es handelt sich in den drei Fällen nicht um neue Decken, die aus dem Hinterlande vortreten, sondern um große **Transversalschuppungen** der Hochkarsteinheit. Besonders weitgehend scheint die Überdeckung des **Birnbaumer Waldes** durch die **Ternovaner Platte**. Im **Halbfenster** von **Idria** ist **Kreide** und **transgredierendes Eozän** des ersteren unter der **Trias** der letzteren entblößt, und zwar etwa 15 km entfernt vom Südostrande der auflagernden Schuppe. Die **Schollenüberschiebung** war nach Südost bis Süd gerichtet.

Diese besondere Art der Schuppung erklärt sich durch den starken transversalen Druck, der an der **dinarisch-alpinen Schwenkung** des **periadriatischen Gebirgsbogens** bestand.

A. WINKLER (Vortrag bei der Tagung der Deutschen Geologischen Gesellschaft in München 1923)²⁾ ist der Ansicht, daß die **Ternovaner Einheit** nicht mehr als Bestandteil des **dinarischen Systems**, sondern bereits als **alpines Element** aufzufassen sei. Sie bilde den westlichen Abschluß der von Osten heranreichenden **subalpinen Falten** des „**Savesystems**“ (Falten von **Littai**). Tatsächlich steht nach meinen Aufnahmen die aus **Karbon-Perm** und **unterer Trias** bestehende Unterlage der **Ternovaner Kalktafel** gegen Osten mit den gleichen Schichten der **Littai**er **Antiklinale** in Verbindung. Trotzdem muß ich an der Verbindung des **Ternovaner Plateaus** mit der **Hochkarstzone** festhalten. Seine **mesozoische Schichtfolge** ist die des **Hochkarsts**. Der westliche **Flyschrand**, der bei **Görz** mit **Transgressionskonglomeraten** an der **dinarisch streichenden Stirnfalte** des **Ternovaner Waldes** haftet, ist zugleich der **Ost-**

¹⁾ Karte Tafel IV, Mitteil. Geol. Ges. Wien, 1913.

²⁾ Vgl. auch die Auffassung von **JENNY**, Die alpine Faltung. Gebr. Borntraeger, Berlin 1924, S. 61 und seine Alpenkarte Taf. III.

flügel der Wippacher Mulde, die in ununterbrochenem NW—SO-Verlauf den innersten Zug der istrischen Küstenfalten bildet (KOSSMAT, Verh. der geol. Reichsanst., Wien 1909). Da der gleiche Flyschzug in den venetianischen Voralpenrand weiter streicht und sich dort auf die Kalkgewölbe der tektonischen Fortsetzung des Ternovener Plateaus (nämlich Matajur- und Tarcentogebiet) legt, ist andererseits auch die Verbindung zwischen Hochkarst und venetianischer Außenzone der Südalpen offenkundig. Der Unterschied zwischen der Deutung von A. WINKLER und der von mir vertretenen Auffassung spielt unter diesen Umständen für die Gesamtbetrachtung keine prinzipielle Rolle (vgl. auch S. 262). Südalpine und dinarische Zonen hängen in den äußeren Gebirgstteilen untrennbar miteinander zusammen; aber die scharfe Wendung der Gebirgsrichtung bringt besondere tektonische Erscheinungen in die Knickungsregion.

IVa. Die bosnisch-inneralbanische Kalk- und Schieferzone (dinarische Hauptzone).

Im südlichen Teile des dinarischen Gebirges (Montenegro, Nordalbanien) ist die im Vorhergehenden als Hochkarst bezeichnete Einheit gegen die weiter innen folgenden, durch Vorherrschen von Triaskalk ausgezeichneten Gebirgsmassen scharf abgegliedert. Sie wird von ihnen überschoben und zwar derart, daß die Triaskalke auf den jüngsten Schichten (Kreide-Eozän) der zur Hochkarstzone gehörigen montenegrinisch-nordalbanischen Tafel aufruhcn. Vgl. NOPCSAS Ausführungen über die Durmitordecke in Montenegro (Begleitworte zur geologischen Karte von Nordalbanien. Földtani Közlöny, XLVI, Budapest 1921, S. 303).

Im Verfolg gegen Nordwesten ist wenig über das gegenseitige Verhältnis beider Einheiten bekannt; aber es scheint, daß schon in Bosnien die Schärfe der Abgrenzung nachläßt. Innerhalb des weiten Falten- und Schuppengebiete der Kalkgebirge von Westbosnien und Kroatien kann man keine bestimmte Linie als Hauptscheide zwischen Einheit III und IV herausgreifen. Auch in dem mir bekannten nördlichen Karstgebiet südlich des Laibacher Moores liegen die Verhältnisse so, daß man dort III und IV zu einer großen Kalkzone zusammenfassen darf, deren äußere Teile die Fortsetzung des kroatischen Hochkarsts sind, während die inneren Teile die unzweifelhafte Verlängerung der bosnischen Kalkalpen darstellen.

Im stratigraphischen Liegenden der bosnischen Kalkzone kommen ausgedehnte, verhältnismäßig einfache Antiklinalaufwölbungen paläozoischer Schiefer und Sandsteine zutage¹⁾. Sie bilden in Bosnien die bekannte zentrale erzführende Zone und unterlagern ferner als geschlossener Zug den östlichen Schichtkopf des Kalkgebirges in so weiter Erstreckung, daß man von einer innerdinarischen Schiefer-Grauwackenzone sprechen darf. Tektonisch gehören sie zur bosnischen Kalkregion IV, genau so wie in den Alpen das Paläozoikum der Karawanken und Karnischen Alpen zur südlichen Kalkzone als deren normale Unterlagerung gehört.

Das Verhältnis von Zone IVa zu den südlichen Kalkalpen.

Wo die streng NW-streichenden innerdinarischen Faltenzüge sich den ostwestlich laufenden „Savefalten“ nähern, bilden sie einfach deren Südflügel. Man sieht die dinarischen Triaskalke von Unterkrain normal von der Karbon-Perm-Werfener-Serie der Littauer Falte (der südlichsten Antiklinale des alpin streichenden Savesystems) unterlagert (vgl. Karte Taf. IV, Mittel. Geol. Ges. Wien, 1913). Erst bei Verfolgen dieser Grenze gegen die Laibacher Ebene sieht man sie in eine Überschiebung übergehen, die sich weiter west-

¹⁾ KOBER hat sie 1914 in der Geol. Rundsch. 1914, S. 180, als Fenster der Cukalidecke aufgefaßt, was sich nicht aufrecht erhalten läßt.

lich, bei Pölland, prächtig entfaltet. Ihre Entstehung hängt ebenso wie jene der S. 260 erwähnten Querschüppungen des Hochkarsts mit der Transversalpressung der alpin-dinarischen Grenzregion zusammen. Die dinarische Richtung wird von der alpinen überwältigt.

Trotzdem hat man es nicht mit einer Scharung zweier selbständiger Faltengebirge zu tun. Vor allem bleibt die Flyschzone — das typische Merkmal des Außenrandes eines Kettengebirges von alpinem Typus — vollkommen beschränkt auf die dinarisch-venezianischen Außenfalten (Zone I bis III). Sie gabelt sich also nicht und folgt nicht dem südalpinen Streichen in die pannonische Ebene.

Die Savefalten und die nördlich von ihnen mit einem Schubrand aufsteigenden Kalkhochalpen (Steiner- und Julische Alpen) sind nichts anderes als eine in alpine Richtung gepreßte Fortsetzung der innerdinarischen Sedimentserie. Ich bezeichne die Erscheinung als die Laibacher Knickung des periadriatischen (südalpin-dinarischen) Gürtels. Sie hängt wohl mit dem Druck zusammen, den die von Norden herangepreßte starre böhmische Masse auf das ganze Kettengebirge ausgeübt hat¹⁾.

Durch die Beengtheit des Entwicklungsraumes in der Knickungsregion erklären sich auch die großen Überschiebungen, die nördlich und nordwestlich der Savefalten die Triaskalktafeln der Steiner- und Julischen Alpen in Schubschollen zerlegt haben. Letztere treten im Verlauf nach Westen über die vorliegende Hochkarstzone des Ternovener Waldes hinweg und bilden in der Gegend von S. Lucia am Isonzo auffallend schöne Deckschollen von Trias über Kreide. Das tektonische Verhältnis der Julischen Alpen zum nördlichen Hochkarst entspricht jenem, das im süddinarischen Gebiet zwischen der Durmitordecke (Zone IV) und der montenegrinisch-nordalbanischen Tafel (Zone III) besteht.

Wenn man dem Außenrand der südlichen Kalkzone von den Julischen Alpen nach Westen folgt, scheinen jenseits des Tagliamento, in dem Gebiet, wo die Falten nach WSW umbiegen, die Überschiebungen an Intensität geringer zu werden²⁾. Schließlich fließen in der südlichen und westlichen Überlagerung des Porphyrschildes von Bozen die Kalkhochgebirge der „Dolomiten“ mit den Voralpen von Asiago und Trient zu einer einzigen großen Einheit von verhältnismäßig ruhigem Faltenbau zusammen. Denken wir uns die Falten ausgeglichen, so ist der nördliche Schichtkopf der Südtiroler Dolomiten ungefähr ähnlich weit vom Alttertiärsaum der venezianischen Vorzone entfernt, wie der Ostrand der bosnischen Kalkzone von der äußeren Alttertiärmulde, die den Hochkarst begleitet. Da der letztere ebenso wie die veneziani-

¹⁾ Die Wirkungen des Vorsprungs der böhmischen Masse auf den Verlauf der jungen Faltung reichen bis in die innersten Alpenzonen. In den nördlichen Kalkalpen kommen sie durch das Scharungsbild der Faltenbögen von Weyer (zwischen Lunz und Windischgarsten) zum Ausdruck. Weiter südlich prägen sie sich in der V-Form der nördlichen Grauwackenzone bei Leoben in Steiermark aus. In und südlich der Zentralzone scheint die große SO-streichende Störung, an welcher die Trias des Drauzuges abschneidet, um erst nach einer Verschiebung um mehrere Kilometer im Obir weiterzustreichen, auf die gleiche Einwirkung zurückzugehen (vgl. die Alpenkarte in Mitteil. der Geol. Ges. Wien 1913, Taf. V). In der pannonischen Region zeigt sich der Einfluß des pressenden Randes der böhmischen Masse darin, daß der mesozoische Zug des Bakony seinen Verlauf abbildet. Vielleicht tritt der Bakony unterirdisch in Beziehung zu den Falten der östlichen Südalpen, wie WINKLER vermutet und wie ich in der obigen Schrift 1913, S. 121, allgemein andeutete.

²⁾ Vgl. die Arbeit von SCHWINNER, Alpen und Dinariden (Geol. Rundschau 1915).

sche Vorzone zu der tektonischen Einheit III gehört, ist zu folgern, daß die bosnische Kalkzone (Einheit IV) im Gebirgsgefüge dieselbe Stellung einnimmt wie die südlichen Kalkhochalpen.

KOBER bezeichnet in seiner Schrift „Alpen und Dinariden“ (Geol. Rundschau 1914) die bosnische Kalkzone als unterdinarische Decke, die südlichen Kalkalpen als oberdinarische Decke. Mir scheint, daß dieses Gliederungsprinzip in derartigen Fällen zum Mißverständnis führt.

Man hat in Wahrheit ein ähnliches Bild wie an einem drapierten Vorhang. Der Faltenwurf eines und desselben Stoffstreifens zerlegt sich infolge der Wendung in einzelne Glieder, die sich gegenseitig ersetzen. Für mich sind die südlichen Kalkalpen im großen und ganzen „tektonisch homotax“ mit der bosnischen Kalkzone. Man kann geradezu von Draperietypus der Überfaltung sprechen. Es handelt sich um eine Erscheinung, die eine ganz normale Folge der Wendungen im Verlauf des Falten-gürtels ist. Auf ihr beruht zu einem guten Teil die Gelenkigkeit der Kettengebirge. Sie ist auch in den Alpen vorhanden, wurde aber vielfach übersehen. H. JENNY (Die alpine Faltung, S. 73) wendet diesen Erscheinungen seine Aufmerksamkeit endlich in höherem Maße zu, als dies meist in den westalpinen Synthesen geschah. Die weitere Auswirkung ist abzuwarten.

IVb. Die ostbosnisch-albanische Ophiolithserie.

Wie schon durch die ersten Aufnahmen der Geologischen Reichsanstalt in Bosnien 1879 (BITNER, MOJSISOVICS, TIERZE, Grundlinien der Geologie von Bosnien und Herzegovina) bekannt wurde, tritt am Nordostrand der dortigen Kalkgebirge die ostbosnische Serpentin- und Flyschzone (KOBERS Decke der bosnischen Flyschzone) auf. Sie setzt sich nicht in die südlichen Kalkalpen fort, sondern verschwindet südlich von Agram unter dem Rand der pannonischen Ebene. Gehen wir hingegen nach Südosten, so sehen wir schon im östlichen Bosnien, daß die Gesteine der Ophiolithgruppe (Peridotit, Gabbro, Diabas) und ihre hornsteinreichen, oft radiolaritischen Begleit-schichten der Jurazeit, sowie die transgredierenden Gosau-Flyschablagerungen, zu denen sich auch Alttertiär gesellt, eine breite Entfaltung zeigen. Die westlichsten Ophiolith- und Gosau-Flyschreste liegen noch im östlichsten Teile des Triasgebirges der Zone IV. Sie kennzeichnen die Trias-Muldenzone von Rogatica südöstlich von Serajevo. Sie bilden weiterhin das Zlatibor-Peridotit-(Serpentin)-Massiv im Bosna-Flußgebiet bereits auf westerbischem Boden. Wir können ferner im ehemaligen Sandschak Novipazar die Ophiolithzone sowohl im geschlossenen Zuge als auch in einer vorliegenden Reihe von Denudationsresten der Länge nach durch das Schuppengebiet von Priboj—Sjenica zum oberen Ibar zwischen Rožaj und Mitrovica verfolgen. Während die außen liegenden Denudationsreste innerhalb des Kalkgebirges dann verschwinden, wendet sich der Hauptzug mit einer Südwestschwenkung über Djakova in die nordalbanische Landschaft Merdita und geht, in die normale dinarische SO-Richtung zurückkehrend, durch das innere Mittel- und Süd-albanien zum Zygospaß an der Grenze des Epirus. Die weitere Verlängerung liegt in den Serpentinegebieten der Kalkgebirge Ostgriechenlands (Parnass, Oeta usw.).

Das tektonische Verhältnis zur Zone IV a ist sehr bemerkenswert. In der Gegend von Mitrovica am Ibar sah ich die Serpentine durch die paläozoische Unterlage des östlichen Schichtkopfes der bosnischen Kalkzone durchbrechen und sah die Gosau-Flyschschichten über Paläozoikum transgredieren¹⁾. Bei

¹⁾ KOSSMAT, Bericht über eine geologische Studienreise in den Kreisen Mitrovica, Novipazar und Prijepolje, Altserbien. Berichte der math.-nat. Kl. der sächs. Ges. d. Wiss., Leipzig 1916, S. 157.

Prizren im albanisch-westmazedonischen Grenzgebiet beobachtete NOPCSA Serpentindurchbrüche und Oberkreidetransgression im paläozoischen Gebiet. Im Sandschak Novipazar bilden die jurassischen Begleitschichten der Ophiolithe einen unverkennbaren stratigraphischen Bestandteil des oberen Teiles der mesozoischen Kalkserie von Zone IVa.

Aber trotzdem zeigt sich, daß ein adriawärts gerichtetes Vorwärtsdringen dieser Gesteinsserie stattgefunden hat, daß z. B. manche ihrer Eruptivmassen über ihre natürliche Basis nach außen geschoben wurden und als Gleitkörper aufzufassen sind. Besonders intensiv werden diese Erscheinungen im albanischen Gebiet, wo ja die ganze Ophiolithzone bogenförmig weit vortritt. Die Beobachtungen von NOPCSA in Nordalbanien (1911), an die sich die Arbeiten von NOWACK und BOURCART in Mittelalbanien ausgezeichnet anschließen, haben gezeigt, daß dort die Ophiolith- und Kreideseerie weit über ihre Triasunterlage nach Westen geschoben wurde und in weiter Längserstreckung sogar bis über die inneren Kreide-Alttertiärfalten der Zonen I und II glitt. Die Schubweite ist nach Dutzenden von Kilometern zu berechnen. Man muß mit NOPCSA von einer Morditadecke sprechen, die sich also am Nordostrande der Einheit IV entwickelt. Sie hat ihre maximale Schubweite in Albanien, während im Novipazardistrikt und wohl auch in Ostbosnien der ursprüngliche Verband mit ihrer Unterlage noch zum großen Teil erhalten ist¹⁾. Ich habe sie daher als Zone IVb bezeichnet.

V. Das pelagonische Grundgebirgsmassiv.

Im Hinterlande der weit vorgedrückten albanischen Falten der Zone IVa und IVb steigt ein gewaltiges kristallines Massiv empor, das in der Längsrichtung des Gebirges, vom Amselfeld angefangen über Prilep und Monastir bis zur magnesischen Halbinsel in Ostgriechenland ausgedehnt ist. Ich nenne es das pelagonische Massiv nach der westmazedonischen Landschaft Pelagonia bei Monastir. Es spielt im Gebirgsbau der Balkanhalbinsel eine ähnliche Rolle wie etwa das Aar- oder Montblanc-Massiv in den Westalpen.

Die pelagonischen Gneise und deren Hülschiefer sind übrigens nicht nur hoch emporgewölbt, sondern haben sich auf ihrer Westseite über den Innenrand der albanischen Gebirgszone in Schuppenform vorgedrängt. Es scheint, daß dieser Bau auch noch in Thessalien herrscht. Er steht in Einklang mit den erwähnten Beobachtungen über das bogenförmige Vortreten des inneralbanischen Kalk- und Serpentinegebirges, auf dessen Innenseite ja die kristalline Aufwölbung liegt.

VI. Die Vardarzone.

Die als trennendes Element zwischen dem pelagonischen Gebirge und der Rhodope sehr bedeutungsvolle Vardarzone hat ein tektonisches Analogon in den Alpen. Sie entspricht nach meiner Ansicht der Tonalezone und deren Fortsetzung in den Ivrea-Biellazug der Westalpen.

Die von mir zuerst in Mittelmazedonien erkannte Vardarzone ist durch ihren scharf ausgesprochenen Verlauf entlang des Vardar vom Salonikigolf talaufwärts über Veles nach Üsküb markiert. Sie läßt sich weiterhin beiderseits des Amselfeldes zum Kopaonikgebirge und dann nach Westserbien verfolgen. Steil nach West überfaltete und verschuppte paläozoische Schiefer, Grauwacken und Marmore, Keile von Triaskalk, Schiefer-Hornsteinschichten und fast ununterbrochene, eingeklemmte Züge von basischen „ophiolithischen“

¹⁾ Der Gabbrostock, der bei Jablanica an der Narenta in Bosnien noch weit im Westen mit schönen Kontakten durch die Triaskalke der bosnischen Kalkalpen bricht, soll hier nicht unerwähnt bleiben.

Eruptivgesteinen der Jurazeit nehmen den Hauptanteil am Aufbau. Dazu kommen granitische und tonalitische Intrusionen von nach-ophiolithischem Alter.

Die oberkretazischen Gosau- und Flyschschichten sind diskordant auf Mesozoikum und Paläozoikum abgelagert, nehmen aber an den Falten- und Schuppenbildungen teil. Sie bildet vor allem einen langen Zug an der Westgrenze der Vardarzone. Das transgredierende marine Unter- und Mitteloligozän ist hingegen nur mehr schwach gewellt.

So wie die Tonalezone in den Ostalpen nördlich des Karawanken- und Obirzuges, in den Westalpen nördlich des insubrischen Basalgebirges der lombardischen Alpen hinzieht, so erstreckt sich die Vardarzone als durchlaufende Einheit nordöstlich des dinarischen Tonschiefer-Grauwackengürtels und seines basalen pelagonischen Grundgebirges. Ihr eruptiver Inhalt entspricht in verblüffender Weise dem der Ivrea-Biellaregion: Ophiolithe und jüngere Granite bezw. Tonalite. Letztere beiden stellen das bezeichnende Element dar. Wir stehen hier in dem periadriatischen Intrusivkranz, der in den Alpen vom Rand der Poebene bei Biella über den Adamellostock, die Rieserferner und die Karawankentalite zum Bachergebirge reicht.

Der Batholithenkranz erfährt zwischen dem Bachergebirge und dem Dioritstock des Agramer Gebirges eine Unterbrechung an der Oberfläche, da hier die vorhin erwähnten Sedimentfalten des „Savesystems“ in die pannonische Ebene hinauslaufen. Man kann daher nicht sagen, in welcher Form der Intrusivgürtel die alpin-dinarische Knickung passiert. Der weitere Verlauf nach SO ist wieder offensichtlich. Er geht vom Agramer Gebirge durch die kroatischen Inselberge in das nordöstliche Bosnien und nach Westserbien (junger Amphibolgranit von Krupanj, Granit und Tonalit des Kopaonikgebirges in Serbien). Er folgt dann dem Vardargebiet über Veles und Stip, Gjevgjeli in der Richtung zum Golf von Saloniki. Junge Intrusionen granitischer bis dioritischer Gesteine durchschwärmen auch östlich der Vardarzone an verschiedenen Stellen den kristallinen Hauptstrang der Kettengebirgszone in ihrem Verlauf durch Südosteuropa.

Die Stellung der Ophiolithe und ihrer Begleitschichten im allgemeinen Gebirgsbau.

Am Aufbau der Vardarzone beteiligen sich in sehr beträchtlichem Maße ophiolithische Eruptivgesteine samt zugehörigen Schiefer-Hornsteinschichten und darüber hinweggreifende, aber am Schuppenbau beteiligte Gosau- und Flyschschichten. Sie erstrecken sich zwischen dem westmazedonischen (pelagonischen) Massiv und der Rhodope nach NW und vereinigen sich mit der bereits erwähnten nordbosnischen Serpentin-Flyschzone.

Man sucht vergeblich nach einer Fortsetzung dieser Flysch-Sedimente in den inneren Alpentteilen. Sie sind hier auch nicht als durchlaufende Zone zu erwarten. Die Gosau- und Flyschablagerungen Nordbosniens und Westserbiens gehören zu den Gebilden der pannonischen Innensenke, die nach SO durch die mittelmazedonische Meeresstraße westlich der Rhodope mit dem mediterranen Hauptbecken in Verbindung stand. Am Ostalpenrande hob sich schon in der Gosauzeit die pannonische Senke heraus und drang nur buchtartig nach Kärnten (Eberstein) und Steiermark (Kainach) ein. In den mittleren Teilen des schon damals eng gestauten Alpenstranges war für sie kein Platz.

Was die ophiolithischen Eruptivgesteine anbelangt, ist hingegen eine weitläufige Fortsetzung in den Alpen und Apenninen festzustellen. Sie finden sich in verschiedenen Gebirgstellen: so in den östlichen Zentralalpen (Kraubat, Bernstein), in den Hohen Tauern, in der nördlichen Grauwackenzone, in der

nordalpinen Kalkzone (NW von Wiener Neustadt, ferner im Salzkammergut, bei Ehrwald im Wettersteingebirge und an anderen Orten). Ob sie alle zeitlich zusammengehören, ist freilich sehr zweifelhaft. Sicher zur mesozoisch-ophiolithischen Eruptivperiode sind die ausgedehnten Vorkommnisse in den unterostalpinen Decken der Grenzgebiete von Ost- und Westalpen und die grünen Gesteine der penninischen Decken zu rechnen.

Man darf die ophiolithischen Eruptiva nicht als engbegrenzte tektonische Leitgesteine auffassen. Sie stellten weit verbreitete Effusionen und Intrusionen in der mesozoischen mediterranen Geosynklinale dar. Sie sind in dieser Beziehung homolog den basischen Ausbrüchen der devonischen Geosynklinale Mitteleuropas (dem Schauplatz der darauffolgenden varistischen Faltung) oder den ähnlich beschaffenen Gesteinen der silurischen Geosynklinale Nordwesteuropas (kaledonische Region).

Das Verhältnis der Vardarzone zur ostbosnischen Flyschzone und zur Merditadecke.

Wir sehen, daß die ostbosnische Serpentin- und Flyschzone in ihrer Fortsetzung nach SO eine Spaltung erfährt. Der westliche Ast zweigt südlich von Mitrovica am Amsfeld in der Richtung zur nordalbanischen Merdita ab und nimmt den Weg nach Thessalien. Der östliche Ast hingegen setzt einfach die rein südöstliche Streichrichtung durch die Vardarzone bis zum Golf von Saloniki fort. Die Gabelung ist ganz offenkundig durch die gewaltige Herauswölbung des pelagonischen Massivs verursacht, das sich so zwischen den albanischen und den mittelmazedonischen Zug drängt.

Es ist unter den obigen Umständen die Vermutung naheliegend, daß die albanischen Decken von der Vardarzone, die den engen Schuppenbau einer „Wurzelregion“ aufweist, ausgegangen seien. In diesem Falle wäre die Schubmasse der Merdita vom Vardargebiet über die heutige pelagonische Aufwölbung hinweg gewandert — etwa in der Art, wie die Klippendecke der Schweiz über das Aarmassiv. Die Verhältnisse liegen aber doch nicht identisch.

Wir müssen zum Verständnis in die vorgosauische Zeit zurückgreifen. Das westmazedonische (pelagonische) Grundgebirge hatte wahrscheinlich schon während der ophiolithischen Periode, jedenfalls aber in der Kreidezeit begonnen, als Schwelle zwischen einem albanischen und einem mittelmazedonischen Geosynkinalstreifen emporzusteigen. In der sehr kräftigen vorgosauischen Faltung, die unverkennbar den Charakter einer Hauptphase der Kettengebirgsbildung hatte, erfuhren die Schichtmassen einen bedeutenden tangentialen Druck. Die paläozoischen und mesozoischen Schichtmassen über dem mittel- und westmazedonischen Grundgebirge glitten in erheblichem Ausmaß adriwärts vor. Die von mir beobachteten Abscherungserscheinungen an der Basis der dynamisch stark beanspruchten Triaskalke über dem pelagonischen Grundgebirge (Šar- und Jakupicegebirge) deuten auf diese alte Überschiebungsphase hin.

Die Denudation hat aber vor der oberen Kreide diese tangential durchbewegten Schichtenserien durchwaschen, so daß die Gosauschichten von der Vardarzone aus bis auf das westmazedonische Kristallin in langer Erstreckung transgredieren. Als dann in tertiärer Zeit die Faltungs- und Überschiebungserscheinungen im außerdinarischen Gebiet vorrückten, war der Schichtverband zwischen der albanischen und der mittelmazedonischen Gesteinsserie bereits durchnagt, weil zwischendurch das Grundgebirge bloßgelegt war. Die beiden in Betracht kommenden Zonen stellten daher in ihrem Verhalten getrennte Einheiten dar. Dies geht auch aus folgendem hervor: Die Schuppen der Vardarzone sind bereits diskordant von dem nur mehr schwach gewellten marinen Unter- bis Mitteloligozän überlagert, die Merditaüberschiebung glitt dagegen weit über den Eozän-Oligozänflysch der adriatischen Falten vor.

VII. Die Rhodope.

Die Rhodope ist die östlich der Vardarzone liegende breite, aus altkristallinen Gesteinen bestehende Axialzone des südosteuropäischen Abschnittes der Kettengebirge. Ihr Westrand ist kräftig auf die Vardarzone geschoben und zwar schon in vorgosauischer Zeit (vgl. die Beobachtungen von ERDMANNSDÖRFFER über kristallin umgeprägte Mylonite in der Grenzzone, Neues Jahrb. f. Min., Beil.-Bd. 1923, Bd. L, S. 293). Er hat auch die nachgosauische Schuppung mitgemacht (KOSSMAT, Geol. der zentr. Balkanhalbinsel, S. 143, 144). Die Nordostflanke der Rhodope wird von den aus gefalteten Sedimenten bestehenden Zügen der bulgarischen Balkangebirge (Zone VIII) gebildet. Letztere setzen in stratigraphischer und tektonischer Beziehung ununterbrochen in die Karpathen und dadurch in die nördlichen Alpen fort. Besonders in der Flyschzone und im tertiären Vorlande kommt der Zusammenhang vollkommen zum Ausdruck. Auch die Überfaltungstendenz ist im Balkan die gleiche wie in den Karpathen und Nordalpen: gegen die nördliche Randsenke gerichtet.

So erhält die Rhodope durch ihre beiderseitige Einfassung, nämlich die Vardarzone (homotax der Tonalezonen) im Westen und die Balkanfalten (homotax dem karpathisch-nordalpinen Strang) im Osten die gleiche geologische Stellung im großen Gebirgsbau wie die ostalpine Zentralzone.

Der Zusammenschluß zwischen Rhodope und ostalpiner Zentralzone vollzieht sich aber nicht in der Form eines glatten Durchlaufens der Gesteinszüge. Die Rhodope mündet in die kristallinen Anteile der Ostkarpathen, der ungarisch-siebenbürgischen Grenzgebirge und erscheint auch noch in einigen slavonischen Inselbergen — also Verflachung und diffuse Verbreitung! Die ostalpine Zentralzone dehnt sich dagegen in das oberungarische Bergland aus (vgl. das Kartenbild in KOBER, Bau der Alpen, Verlag Gebr. Borntraeger, Berlin 1922).

In der Mitte der pannonischen Depression jedoch ist die Vereinigung der beiden kristallinen Gebirgsabschnitte (Rhodope und Zentralalpen) verhältnismäßig tief versenkt. Wir sehen die Trias- und Tertiärfalten des Savesystems nach Osten in die Ebene hinauslaufen und finden im Bakony-Vertesgebirge ebenfalls mesozoisch-tertiäre Gesteinszüge. In der großen Weitung, die von der karpathischen Schlinge umschlossen wird, erfährt somit die kristalline Axialzone des Kettengebirgsgürtels ihre stärkste Depression, während sie in den verengten Teilen: Alpen einerseits, Balkanhalbinsel andererseits, hoch emporgewölbt ist und zwar in beiden mit ähnlichen Merkmalen.

Besonders die von SUESS als Muralpen bezeichneten kristallinen Gebirge Steiermarks und Kärntens, die unter die pannonische Ebene versinken, entsprechen in wesentlichen Eigenschaften so sehr der Rhodope, daß über ihre engen Beziehungen zu dieser kein Zweifel möglich erscheint. Auch die auftretende Gosautransgression (auf den Triasschollen von Eberstein in Kärnten, auf dem Paläozoikum der Kainach in Steiermark, auf dem kristallinen Schiefergebiet der Umgebung von Pragerhof im ehemaligen Südsteiermark) entspricht den Verhältnissen, die wir in den Randteilen der Rhodope treffen.

Ferner finden wir in den südlichen Nachbargebieten und in den niedergebrosenen Teilen der Muralpen die jungtertiären Vulkaneruptionen ähnlich wie in der Rhodope: nämlich die trachytisch-andesitischen Durchbrüche von Tüffer, Römerbad usw. und die basaltischen Eruptionen von Gleichenberg in Oststeiermark. Besonders diese großen magmatischen Vorgänge dürfen in ihrer Bedeutung nicht übersehen werden. Sie sprechen nicht für ein über tiefbegrabenen unterostalpinen und penninischen Schichtenpaketen schwimmendes Deckensystem, sondern für eine mit der magmatischen Tiefe in Verband

stehende axiale Faltungszone des Kettengürtels. Wie ich in den Abhandl. der Sächs. Akademie XXVIII, 2, S. 15, betont habe, stehen auch die Massenüberschüsse unter der pannonischen Ebene und den östlichen Zentralalpen damit in Übereinstimmung.

Das Problem der zur Adria gerichteten Bewegungen in den Zentralalpen.

Die adriawärts gerichtete starke und andauernde Überfallungs- und Überschiebungstendenz hat in dem dinarischen Abschnitt der mediterranen Kettengebirge sämtliche Zonen von der Adria bis in die zentrale Balkanhalbinsel ergriffen.

Immer wieder taucht die Frage auf: welche Rolle spielten diese Bewegungen in den Alpen, die ja dem gleichen Gebirgsbogen angehören? Wir haben gesehen, daß sich die südalpinen Zonen tektonisch analog verhalten wie die ihre Fortsetzung bildenden Teile des dinarischen Gebirges. Wie sind die Erscheinungen in den der Rhodope analogen Zentralalpen? Wird deren Bau tatsächlich von jenem einheitlich nordgerichteten Bewegungsprinzip beherrscht, das die Synthese der westalpinen Schule annimmt, oder sind auch hier adriawärts gerichtete Tangentialbewegungen von beträchtlichem Ausmaß nachweisbar? Wenn sie vorhanden sind, wie verhalten sie sich zu den Nordüberschiebungen? (Es wird dabei die Tatsache anerkannt, daß die Alpen weit über ihr nördliches Vorland hinausgetreten sind, daß die nördlichen Kalkzonen überschoben sind, und daß aus tektonischen wie stratigraphischen Gründen die Fensternatur des Engadins anzunehmen ist.)

Der Kernpunkt der Ostalpenfrage ist das **Tauernproblem**. Nicht darum handelt es sich, ob die Tauern an einer nordgerichteten alpinen Tangentialbewegung teilgenommen haben und in diesem Sinne durchbewegt sind, sondern darum, ob sie vor diesen Bewegungen einem Streifen angehörten, der nördlich von dem Ablagerungsgebiet der „unter- und oberostalpinen“ Schichtserien lag. Um einen Vergleich aus dem varistischen Gebirge zu nehmen: auch das erzgebirgische Zentralgneisgebiet ist in der Tiefe der Faltung tangential durcharbeitet und sein Sedimentmantel hat darüber hinweg große Horizontalbewegungen in der Richtung gegen den Außenrand des Kettengebirges ausgeführt. Aber der Erzgebirgsgneis lag niemals nördlich der Sedimentzonen des Rheinischen Schiefergebirges und des Harzes.

Nach meiner Ansicht, der ich in der Arbeit über die adriatische Umrandung (Mitteil. Geol. Ges. Wien, 1913) Ausdruck gab, verlangt das Tauernproblem eine Revision.

Die Schwierigkeiten der heutigen Synthese beginnen schon am Nordrand der Ostalpen. Heute liegt in Bayern und Österreich die Fortsetzung der helvetischen Flyschserie hart neben dem mit der ostalpinen Kalkzone verknüpften Flysch¹⁾, so daß ihre regionale Abgrenzung nicht immer leicht und einwandfrei ist. Man kann sich unter diesen Umständen, wie besonders **LEBLING** auf der Versammlung der Deutschen Geologischen Gesellschaft in München 1923 wieder betonte, nicht mit der Forderung befreunden, daß diese verschiedenen Flyschzonen weit getrennten Ablagerungsräumen angehörten. Daß derart getrennte Flyschregionen durch die Schubbewegung in so auffallender Weise zur Deckung gebracht wurden, wäre befremdend und unwahrscheinlich.

¹⁾ Vgl. den Flysch, der in den Bestand der Trias-Jurafalten von Weyer eintritt (G. GEYER, Karte und Erläuterungen, Blatt Weyer, Geol. Reichsanstalt Wien).

KOBER hat (Bau der Erde, Borntraeger 1921, S. 111) dieser Schwierigkeit Rechnung getragen, indem er annahm, daß die ostalpine Deckenbewegung über die penninischen Decken (Engadin, Tauern) schon vor der Oberkreide liegt. Behoben ist das Problem damit aber noch nicht, denn wir sehen in den westlichen Ostalpen sowohl am Überschiebungsrand vom Rhätikon bis zur Nische S. der Bernina, als auch im Engadiner Fenster, daß dort die Schubbewegung in die nachkretazische Phase fiel und der Flysch unter sie geriet (vergl. Flysch im Engadiner Fenster).

Auch im Inneren der Alpen gibt es Verhältnisse, die zu einer Überprüfung anregen und zwar auf Grund der Erfahrungen, die man immer mehr bezüglich der Intrusionen in den Kettengebirgen macht. Man sollte sich nicht mit dem Gedanken abfinden, daß die gneisigen Zentralgranite und Tonalite der Hohen Tauern alte varistische Batholithen seien, die ursprünglich außerhalb (nördlich) der heutigen Ostalpengürtel lagen. Es muß von vorneherein verdächtig sein, daß die Granite und Tonalite der Tonalitzzone, z. B. Rieserferner, Karawanken usw., ihnen heute so sehr benachbart sind.

Vielleicht wird man antworten: die Batholithen der Tonalitzzone sind „post-tektonische“ Verschweißungen, die mit dem Deckenbau nichts zu tun haben, da sie nach seiner Ausbildung erfolgten. Aber das ist nicht stichhaltig, denn wir wissen durch G. TELLER, daß die Tonalite der Iffinger, der Antholzer Masse, der Karawanken u. a. vorwiegend den Charakter von Hornblende-gneisen haben (TELLER, Erläuterungen zum Blatt Eisenkappel-Kanker, Wien 1898, S. 120). Es ist mindestens ein erheblicher Teil dieser Intrusionen tektonisch noch stark beansprucht, z. T. ähnlich wie die Tauernbatholithen.

Es hängt stark von der persönlichen Einstellung zur ostalpinen Deckensynthese ab, ob man zunächst derartigen Argumenten größeres oder kleineres Gewicht beilegt. Aber es bleibt immer sehr auffällig, daß im Norden zwei Flyschzonen, deren Ablagerungsgebiete nach den jetzigen Annahmen weit voneinander getrennt waren, heute zur Deckung kommen und daß weit im Inneren der Zentralalpen zwei stofflich einander verwandte Intrusivgebiete, die ganz getrennten tektonischen Regionen zugehören sollen, heute so gut zusammenpassen, daß sie sich miteinander in den periadriatischen Batholithenbogen einfügen.

Die Tauerngneise.

Nicht zu leugnen ist, daß die Parallelkontakte der Zentralgneise mit der Schieferhülle und ihre tektonische Wechsellagerung mit dieser eine intensive Tangentialbewegung verraten, die sich in der Zone des „Gesteinsfließens“ vollzogen hat.

Die Schule HEIM nimmt an, daß es sich dabei um Umformungen alter toter Massen handelt, die unter einer viele Kilometer mächtigen Deckenlast „katadynamometamorph“ wurden. Das vergleichende Studium der Tektonik und Metamorphose in verschiedenalterigen früheren Faltengebirgen (z. B. fennoskandisch-huronisch, kaledonisch, varistisch) läßt diese Erklärung unzureichend erscheinen. Es zeigt sich immer deutlicher, daß jeder der großen Faltungszyklen der Erde von einer koordinierten magmatischen Entwicklungsreihe begleitet wurde²⁾. Diese begann z. B. in den paläozoischen und

¹⁾ Vgl. z. B. die Alpenkarte in HELMS Geologie der Schweiz, II. Bd., Taf. XXVI, S. 544.

²⁾ V. M. GOLDSCHMIDT, Übersicht der Eruptivgesteine im kaledonischen Gebirge zwischen Stavanger und Trondhjem. Videnskapselskapets Skrifter. Math.-nat. Kl. Nr. 2. Kristiania 1916. Viele Vergleichspunkte findet man in P. NIGGLI, Der Taveyannazsandstein und die Eruptivgesteine der jung-mediterranen Kettengebirge. Schweizerische Min. und petrogr. Mitteil. II, Heft 3/4, Zürich 1922.

jungen Gebirgen mit den ophiolithischen Eruptionen während der Geosynklinalentwicklung (Zeit der „grünen“ Gesteine). Dieses Stadium wurde während der Faltung abgelöst durch die sauren bis intermediären granitischen und dioritischen (tonalitischen) Intrusionen. Ein großer Teil von ihnen wurde tektonisch zu Gneisen deformiert. Nur die letzten Batholithen überdauerten die Faltung und erhielten das normalgranitische Gefüge. Die trachytisch-andesitischen (bezw. porphyrisch-porphyrischen) Effusionen, die besonders zur Zeit des allmählichen „Erstarrens“ der Faltung auf zahlreichen Dislokationen emporbrachen, stellen sich in chemischer Beziehung als die Abkömmlinge der granitisch-dioritischen Tiefenmagmen dar. Diesem in den Faltengebirgen ganz verschiedener Epochen wiederholten Ablauf der magmatischen Vorgänge liegt zweifellos eine wichtige Gesetzmäßigkeit zugrunde.

Es gibt keine Kluft zwischen Granit und Gneis. Zu jungen Graniten, bezw. Tonaliten, gehören auch junge Gneise, deren Magma schon während der Hochstadien der Faltung empordrang. In noch kristallisationsfähigem Zustand erhielten sie ihre besondere tektonische Struktur aufgeprägt. Die bis ins Einzelne gehende tangentialer „Durchbewegung“ der Tauerngesteine (vgl. die Arbeiten von SANDER in der Geolog. B.-A. Wien) muß schon in einer frühen Phase alpiner Gebirgsbildung begonnen haben. Sie erfolgte unter der Last und dem Zug darüberliegender, in Faltung und tangentialer Verschiebung befindlicher Schichtmassen. Für die Erklärung der hohen Temperatur und Plastizität, die bei Ausbildung des Tauernmetamorphismus geherrscht haben muß, ist aber keineswegs eine kolossale Rindentiefe notwendig, die durch ungewöhnliche Deckenaufhäufung bewirkt wurde. Es ist sehr zu bezweifeln, daß überhaupt irgendwo auf der Erde die Denudation jene Krustenzonen freigelegt hat, in denen rein unter der Herrschaft der generellen geothermischen Tiefenstufe jene Temperaturen erreicht waren, wie sie für die Mineralassoziationen der hochmetamorphen Tauerngesteine nötig sind. Wir wissen schon längst, daß die medianen Zonen der Kettengebirge durch Hochsteigen der salischen Magmazonen ausgezeichnet sind. (Man vgl. das mittlere Batholithenniveau der varistischen Gebirge mit der gewaltigen Tiefe, in der die normale geothermische Tiefenstufe das Auftreten der nötigen Schmelztemperaturen erwarten ließe!) Damit erklären sich auch die vorkommenden pneumatolytischen Mineralbildungen, auf die z. B. in den penninischen Schiefen der Westalpen HUGI hinwies. Wenn man trotz aller dieser deutlichen Anzeichen doch das Fehlen batholithischer Intrusionen während der alpinen Hauptfaltungen behaupten will, dann schafft man einen unverständlichen Kontrast zwischen Alpen einerseits, den varistischen, kaledonischen und vorkambriischen Gebirgen andererseits.

Daß in der Nachbarschaft der emporgewegten salischen Magmen auch altes Grundgebirge plastisch wurde und unter Umständen von den jungen granitischen Schmelzmassen nicht zu trennen sein wird, ist anzunehmen. Die Grenzen zwischen altem und jungem Metamorphismus sind in Zonen junger Faltung verschwimmend. Über derartige Verhältnisse gibt BR. SANDER in seiner Arbeit über das Tauernwestende Mitteilungen. Jahrb. der geol. Bundesanstalt Wien 1921, Bd. 70, S. 290.

Die Kuppen der emporgedrängten Granitgneis-Batholithen wurden in „*stato nascendi*“ entlang tangentialer Bewegungszonen verzerrt. Dieser Vorgang hat z. B. im Erzgebirge von Sachsen den berühmten Zwiebelschalenbau geschaffen¹⁾. Orthogneislager, z. T. mit turmalinführenden Randzonen, wechseln

¹⁾ KOSMAT, Tektonik des westlichen Erzgebirges, Zentralblatt f. Min., Geol., Pal. 1916, S. 163; Geologische Rundschau 1922, S. 316. Wichtige Vorstellungen verwandter Art bringt hinsichtlich der Hohen Tauern und der penninischen Gneistektonik der Westalpen O. AMPFERER, Beiträge zur Auflösung der Mechanik der Alpen. Jahrb. der geol. Bundesanstalt Wien 1923, 72. Bd., S. 99 ff.

dort mit Schiefer- und Grauwackengneisen. Bezeichnenderweise hat man dort bis in neueste Zeit die Erscheinung als echten Lakkolithenbau, d. h. als reine Intrusionstektonik, aufgefaßt. In den Alpen hingegen ist, vielleicht unter dem Einfluß der GRUBENMANNschen Auffassung des kristallinen Grundgebirges, das andere Extrem der Deutung: nämlich die Annahme der Umformung toter Massen noch heute herrschend. In Wahrheit wird es sich in den Zentralgneisgewölben um ein Ineinanderwirken von Intrusion und Tangentialtektonik handeln, wie es in der magmatisch belebten Kernzone eines Kettengebirges unvermeidlich ist.

Man kann angesichts der großen Überfaltungen der Alpen gegen das nördliche Vorland vermuten, daß die Durchbewegung der Tauerngesteine in der Hauptsache eine im gleichen Sinn gerichtete Tendenz hatte. Die Schichtenserien, die über dieser Batholithenregion lagen, verschoben sich gegenüber ihrem plastisch-magmatischen Untergrund und schleppten dessen obere Partien in langen Fahnen mit. Diese kristalloblastische Tektonik ist aber nicht ident mit der heutigen Tauerntektonik (vergl. auch hier die Gefügestudien von SANDEE in der Arbeit über das Westende der Hohen Tauern, *Jahrb. d. geolog. Staatsanstalt Wien* 1920, S. 223, 224). Wir haben mit der Mehrphasigkeit der Bewegungen und mit der Veränderung der Gebirgsoberfläche in diesen langen Zeiträumen zu rechnen.

Der Tauernnordrand.

Es erhebt sich die Frage nach der Natur der rupturrellen Tauernbegrenzungen gegen die umgebenden Gebirgseinheiten. Ich verweise auf die Alpenskizze in den Mitteilungen der geolog. Ges. Wien 1913, Taf. V. An der ONO—WSW-streichenden Linie Schladming—Sterzing überschneidet die nördliche Quarzphyllit- und Grauwackenzone das altkristalline Gebiet der Murtaler Alpen, dann weiter westlich die quarzitishe Serie und mesozoische Kalke der Radstätter Tauern, schließlich die hochmetamorphen Hüllschiefer der Hohen Tauern spitzwinklig (vgl. auch die Alpenkarten bei KOBER und JENNY). Diese Linie ist m. E. nicht ein Schnitt durch die ehemalige Grenzfläche zwischen den Hohen Tauern und den darüber hinweg gegen den Nordrand der Alpen gegliederten Schichtmassen, sondern sie ist durch eine gegen das Innere des Bogens gerichtete spätere Bewegung zu erklären. Sie ist homolog dem südlichen Überschiebungsrand der südlichen Kalkalpen.

Von Bedeutung sind mir für die obige Auffassung folgende Erwägungen. Die Quarzphyllitgruppe hängt im östlichen Abschnitt mit Basalkonglomeraten an ihrer natürlichen Unterlage, dem Altkristallin der Murtaler Alpen. Den alten Beobachtungen über die Rannachkonglomerate, die von HERITSCH, *Geologie der Steiermark*, 1921, S. 133 und von HAMMER, *Jahrbuch der geolog. Bundesanstalt Wien* 1923, S. 4 bestätigt wurden, kommt in dieser Sache eine besondere Bedeutung zu, denn sie fixieren den Schieferstreifen in seinem östlichen Teil. Das spitzwinklige Überschneiden der Radstätter- und Hohen-Tauerngesteine durch diese Quarzphyllite ist nach meiner Ansicht nur durch eine im Verhältnis zur Unterlage südgerichtete Schwenkung zu erklären, die der Phyllitzug in seinem westlichen Teil erfahren hat. Vielleicht kann man richtiger sagen, daß das Liegendgebirge (Hohe Tauern und Radstätterzone) ihn unterfahren hat. Es handelt sich um ein Überschneiden zweier Bogenstücke in der Konkavität des Alpenbogens¹⁾. Ein auffallend ähnlicher Mechanismus wiederholt sich in der Konkavität des varistischen Bogens in Sachsen: Unterfahrung des in die sudetische Richtung um-

¹⁾ Ich bezeichnete die Erscheinung in *Abh. S. Akad. XXXVIII* 2, S. 17 als „Verschränkung“ im Alpenbogen; SCHWINNER dürfte von „Scherfenster“ sprechen.

schwenkenden paläozoischen Elbtalschiefergürtels durch die untertauchende Erzgebirgsaufwölbung. Vgl. die Kartenskizze bei PIETZSCH, Zentralbl. f. Min. 1922, S. 275.

Die Beobachtungen von HARTMANN (Jahrbuch der geol. Reichsanstalt, Wien 1913, S. 110) und SANDER (Verhandlungen der geol. Reichsanstalt Wien 1911, S. 344) in den Tarntaler Triasbergen an der Grenze zwischen Quarzphyllitzone und Hohen Tauern weisen gleichfalls auf südgerichtete Schuppenbewegungen in dieser für die Auffassung der Tauernumgrenzung entscheidenden Zone hin. Auch die in der Fortsetzung nach SW, auf der Südseite der Ötztaler Alpen gelegenen Vintschgauer Schuppen in der Umgebung von Glurns, nördlich des Ortler, lassen nach meiner Ansicht eine andere Deutung als durch südgerichtete Bewegungen gar nicht zu. Selbst R. STAUB zeichnet in seinem großen Alpenprofil (HEIM, Geologie der Schweiz, II. Bd., Taf. XXXV) ganz ausgesprochene Rücküberfaltung am Stilfser Joch.

Die Untersuchungen von BR. SANDER in dem sehr wichtigen Schneeberger Gesteinszug zwischen Sterzing und Meran (Jahrb. d. geol. Staatsanstalt Bd. 70, Wien 1920, S. 225 ff.) haben in Übereinstimmung mit älteren Beobachtungen neuerdings gezeigt, daß hier im Anschlusse an das Westende der Hohen Tauern (aber tektonisch von ihnen getrennt) typische Hüllschiefer und Marmore, die jenen der Tauern voll entsprechen, als eine kräftig gegen Südosten überfaltete Synklinale in den alten Gneisen der Tauern-Umrahmung liegen und sich aus ihnen herausheben. Auch hier die starke südgerichtete Bewegung, die im tektonischen Bau des besprochenen Streifens am Nordrand und Westende der Hohen Tauern zum Ausdruck kommt!

Man kann mir vielleicht das Recht absprechen, in diesen Fragen mitzureden, da ich nie in den Zentralalpen, speziell nicht in den Hohen Tauern gearbeitet habe. Die Überlegungen ergeben sich aber aus dem durch Spezialaufnahmen anderer gewonnenen Kartenbild und aus dem Vergleich mit wohlbekannteren Erscheinungen des Gebirgsmechanismus.

Es fällt selbstverständlich vielen schwer, sich von dem Bilde frei zu machen, das sich der Vorstellung seit TERMIERS Synthese fest eingepreßt hat. Und doch könnten gerade die Sammelprofile, wie sie z. B. STAUB, KOBER und JENNY durch die Alpen gezogen haben, zu einer neuen Überprüfung vieler Fragen Anregung geben. In ihnen erscheint die Deckenmasse der Alpen im Bereiche der Zentralzone nachträglich zu einer Riesenantiklinale angetürmt, die in Einklang mit den gegen die Adria gerichteten Überschiebungen der südlichen Gebirgszonen ebenfalls eine Gesamtüberkipfung gegen Süden zeigt. Es ist vollkommen ausgeschlossen, daß sich eine derartige „Rück“faltung im Bereiche der Zentralzone ohne gleichzeitige Ausbildung von südgerichteten Schubbewegungen hätte vollziehen können. Die besprochene Anordnung der nördlichen Tauerneinfassung stimmt dazu.

Ich halte unbedingt die Bewegung an der Schladming-Sterzinger Linie für ein weit späteres Phänomen als die Gefügetektonik der Zentralgneise.

Nun wissen wir, daß vor den tertiären Alpenfaltungen die Sedimentdecke über der Zentralzone zu einem großen Teil durch die Denudation weggeräumt war, so daß sich die Schichtköpfe der Kalk- und Grauwackenzone frei gegen innen wendeten¹⁾. Ein weiterer Zusammenschub in dem alpinen Bogen mußte unter diesen Umständen an einer ganzen Anzahl von alten und neuen Scherungsflächen tangential, gegen das Alpeninnere strebende Gleitbewegungen zur Auslösung bringen. Man hat solche auch schon mehrfach am Innenrande der nördlichen Kalkzone erkannt und beschrieben. Ich bin fest überzeugt,

¹⁾ KOSSMAT, Mitt. d. geol. Ges. Wien 1913, S. 136; AMPFERER, Über die Bedeutung von Kerben für die Tektonik. Verhandl. d. geol. Staatsanstalt Wien 1919.

daß man, sobald sich die Forschung mehr diesen Erscheinungen zuwendet und sie nicht als störendes Beiwerk vernachlässigt, ein tektonisches Bild erhalten wird, das sich sehr weit von dem Einheitsschema der jetzigen Synthese entfernt.

Selbstverständlich hängt daran auch die Deutung der Steirischen Zentralalpen. Das meist nordöstliche Einfallen der Brettstein-Marmorzüge unter den Gneis der Sekkauer Berge¹⁾ wird nicht gut anders aufzufassen sein, denn als eine Überfaltung, die dem gleichen Impuls gehorchte wie die Überschiebung der westlichen Rhodope im Vardargebiet — das heißt als Bewegung im dinarischen Sinne. Auch das Einfallen der Radstätter Schuppen unter den Westrand der Steirischen Zentralalpen verdient neue Betrachtung unter Berücksichtigung westwärts gerichteter Bewegungen in den letzteren. Die Steirischen Gneisberge sind dann in ihrer Hauptmasse kein auf mesozoischen Sedimentdecken liegender Panzer, sondern eine in die Tiefen der Erdrinde hinabreichende Grundgebirgszone, ähnlich der Rhodope. Dann kämen auch die Bedenken, die E. SUSS bezüglich der Deckschollennatur der östlichen Zentralalpen hatte (Antlitz der Erde III, 2, S. 221), wieder zu Ehren.

Zum Schlusse noch eine Wiederholung aus einer früheren Arbeit: Die Art und Weise, wie in der Tauernbegrenzung die im allgemeinen nordwestlich bis nördlich streichenden Schuppungen der Schladminger Masse und der Radstätter Tauern überschritten werden von der WSW-streichenden Phyllit-Schubfläche, ist eine recht weitgehende Abbildung der Erscheinungen, die wir am südlichen Kalkalpenrand beobachten. Dort werden in ganz ähnlicher Weise die nordwestlich laufenden dinarischen Falten von den in alpinem Sinne ostwestlich bis westsüdwestlich streichenden Schubflächen überfahren.

Die Alpen sind nicht groß genug, daß derartige „Homologien“ sinnlos erscheinen können. Der Abstand der einige hundert km langen südlichen Randüberschiebung der venezianischen Kalkalpen von der zu ihr parallelen Schladming-Sterzinger Überschiebung am nördlichen Tauernrande ist nicht mehr als ca. 120 km.

Das epiadriatische Bewegungssystem.

Es fragt sich: Soll man die Gesamtheit der Faltungen, die im alpin-dinarischen Gebirgssystem gegen das Mittelmeerbecken gerichtet sind, als dinarisch benennen, auch wenn sie bereits ganz andere Streichrichtung haben? Ich halte es für zweckmäßiger, sie als epiadriatisch zu bezeichnen. Ihr Streichen geht von den dinarischen Gebirgen durch die Alpen in den Apennin; den Ausdruck „dinarisch“ soll man für den erstgenannten Abschnitt reservieren.

Mechanisch sehr gut verständlich ist in dem epiadriatischen Faltungssystem das, was ich als Faltendrapierung bezeichnen möchte. Das Gebirge in seiner Gesamtheit beschreibt einen fast formvollendeten Bogen. Aber dieser Bogen wurde nur dadurch ermöglicht, daß an Stellen starker Wendungen — wie z. B. beim Übergang vom dinarischen Gebirge in die Ostalpen, von den Ostalpen in die Westalpen und von den Westalpen in den Apennin — ein gelenkiger Bau zustande kam. Dieser vollzog sich teils in Form transversaler Schuppungen und Stauchungen (vgl. S. 278), teils in der Form, daß ein schräges Überschneiden der großen Schubflächen stattfand. Letzteres ist z. B. in ausgesprochener Weise der Fall, wo die dinarische Richtung von der alpinen überwältigt wurde, wie wir es beim Umschwenken vom Karst in die Südalpen (S. 260) oder beim Untertauchen der östlichen Tauernbegrenzung unter die Schubbahn der Phyllite sahen.

¹⁾ HERITSCH, Geologie von Steiermark, Graz 1921, S. 137, 138 und Profil von SCHWINNER.

Großartig dürften die Verhältnisse dort sein, wo sich die gewaltige Wendung von den Westalpen in den Apennin vollzieht. Nur sind dort die der Innenseite am nächsten liegenden Gebirgsteile wie in einem Wirbel derart tief hinabgezogen, daß das Vortreten der Ophiolith- und Flyschzone des Apennin über die alpinen Südzonen großenteils dem Auge entzogen ist. Nur aus dem schroffen Gegensatz der beiden Seiten der oberen Po-Ebene kann es teilweise erschlossen werden.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß sich das Ineinandergreifen der Bewegungstendenzen in einem derart gewundenen Bogengebirge, wie es die Alpen sind, wesentlich komplizierter gestaltet, als es die Deckensynthese der **TEMMER**schen Schule annimmt. Wir kommen mit der Annahme eines summarischen Nordschubs des Alpensystems und eines darauffolgenden sekundären Zurückgleitens seiner südlichen Zonen nicht zum Ziel. Die gegen das **Mediterranbecken** (Adria) gerichteten Überschiebungen und Faltungen sind den gegen die nördliche Randmulde gewendeten tektonisch ebenbürtig. Es hängt von den regionalen Umständen ab, welche von beiden die intensivere ist. Im südosteuropäischen Abschnitt der mediterranischen Kettengebirge sind die Überfaltungen in dinarischem Sinne bis weit in das Innere des Gebirges (Rhodope) sehr stark entwickelt und erstrecken ihren Bereich noch weit in die Ostalpen hinein. Ihnen gehören auch in der Zentralzone und an dem südlichen Schichtkopf der österreichischen Kalkalpen wichtige Strukturzüge an.

Es muß betont werden, daß ein weites, deckenförmiges Übertreten der Alpenfalten auf das nördliche Vorland dieser Auffassung nicht im mindesten widerspricht. Das heutige Bild der Alpen in der nördlichen Randzone (Steilstellung im Gebiet der Flysch-Kalkalpengrenze, intensive Faltung der Kalkalpendecken und ihrer Schubbahnen) zeigt, daß die nordgerichteten Gleitungen durch zunehmende Reibung an der unter sie hineingepreßten Unterlage (starrs Vorland) festführen, so daß die Decken schließlich verankert wurden. Ein Ausweichen ihrer unterdessen durch Denudation freigelegten Innenränder gegen Süd ist dann eine geradezu selbstverständliche Erscheinung. Es änderten sich in der langen Gebirgsgeschichte die Bedingungen für den Ablauf der Bewegungen. Eine Synthese muß dem mehr Rechnung tragen als dies bisher geschah.

Die Frage nach den Entstehungsbedingungen der mediterranen Faltschleifen.

Wenn man auf Karten die sonderbar geformten Schleifen des mediterranen Kettengebirgsgürtels betrachtet, zieht die von Südosten her zwischen dem Apennin und dem dinarischen Gebirge durchziehende schmale Subapennin-Mulde (= Achse der neogenen Adria) die Aufmerksamkeit auf sich. Durch sie wird der Kettengebirgsgürtel in einen das tyrrhenische Becken umrahmenden westmediterranen und einen das pannonisch-ägäische Becken in sich schließenden ostmediterranen Komplex gegliedert. Beide hängen durch den schmalen Alpenstrang miteinander zusammen. Unwillkürlich drängt sich die Vorstellung auf, daß in dem letzteren alles zusammengefaßt ist, was sich westlich und östlich davon breit entfaltet. **KOBER** verleiht dieser Anschauung plastischen Ausdruck (Bau der Erde S. 140). Er bezeichnet die breite, gesenkte Region, die im westlichen Mittelmeer und im pannonischen Becken die nördlichen und südlichen Außenfalten des gesamten Kettengebirgsgürtels voneinander scheidet, als „Zwischengebirge“. Im alpinen Faltenstrang, der ost- und westmediterranes Gebiet verbindet, erscheint dieses Zwischengebirge herausgequatscht, so daß sich seine Gesteinsmassen als Teil des enormen, in

die Unterlage einsinkenden Deckenaufbaus übereinander stapelten. Eine „Narbe“ (die Tonalitzone) kennzeichnet nach K. die Wundstelle.

Diese Auffassung, die dem unmittelbaren Eindruck so sehr entspricht, erschien mir gleichfalls zunächst als die natürlichste und auch mit meinen Vorstellungen vom Alpenbau vereinbar. Die Frage verlangt aber doch eine andere Lösung.

Der mediterrane Kettengürtel wurde zwischen den einander sich nähernden starren Krustenfeldern des afrikanischen und des europäischen Kontinents gefaltet. Die Bewegung der beiden faltenerzeugenden Schollen bestand nicht in einem rein diametralen Zusammenpressen, sondern sie verband sich offensichtlich mit einer seitlichen Verschiebung. Im Verhältnis zur afrikanischen Scholle muß die europäische dabei eine Bewegung gegen Westen ausgeführt haben oder viceversa die erstgenannte eine solche nach Osten. Der Falten-gürtel ist zwischen beiden ganz deutlich geschleppt und beschreibt charakteristische Schleifen. Ich habe dieser Auffassung in der Arbeit über die mediterranen Kettengebirge, *Abh. d. sächs. Akad. XXXVIII 2*, S. 29 Ausdruck gegeben. AMPFERER hatte 1919 einen ähnlichen Gedanken in einem Vortrag vor der geologischen Gesellschaft Wien ausgesprochen. Er kam mir infolge des stark verzögerten Erscheinens des betreffenden Bandes (XII, Wien 1920) erst zur Kenntnis nach dem Ende 1920 beendeten Druck meiner Abhandlung.

AMPFERER denkt sich jetzt den geschleppten Falten-gürtel in „ Fasern “ zerlegt, die sich gegeneinander verschieben. Dabei werden Massen, die aus Zonen enger Pressung verdrängt werden, in Gebieten des Auseinandertretens der Gebirgsstränge, also im Innern der gelockerten Faltschleifen, so im pannonischen und tyrrhenischen Gebiet gesammelt (*Verh. d. geol. Bundesanstalt 1924*, S. 71). Es ist also AMPFERER der Ansicht, daß zwischen Nord- und Südrand der Alpen ein gewaltiger Rindenstreifen verschwunden ist, aber nicht durch Deckenaufstapelung nach Art der Annahme von KOBEE, sondern durch Hinabziehen in die Tiefe (Verschluckung) und seitliches Abwandern. Das Problem ist in hohem Grade fesselnd; seine Lösungsmöglichkeit dürfte aber doch auf einem anderen Wege liegen:

Vor allem ist die große subapennische Mulde (= neogene Adria) von grundlegender Bedeutung. In einer Längenerstreckung von mehr als 1000 km von Südost-Italien bis Piemont trennt sie die einander parallelen und auf italienischem Boden nur in wenige Dutzend Kilometer Entfernung nebeneinander laufenden Außenränder des Apennin und der dinarischen Falten¹⁾. Sie läuft diagonal zum Hauptverlauf der Mediterranzone und entspricht in ihrem Streichen annähernd dem Südwestabfall der starren baltisch-russischen Scholle. Sie ist eine Transversalmulde im Mediterrangürtel, entstanden durch die schräge Druckwirkung der nordosteuropäischen Kontinentalmasse. Man vergleiche in Fig. 3 auch die ähnliche Anordnung des saxonischen Faltenstreifens, der einem beweglichen Gürtel im Bereiche des mitteleuropäischen Schollengebiets entspricht.

Die Ausbildung der adriatischen Transversalmulde ist schon in der jurassischen Sedimentation und in der Verbreitung der apennin-alpin-dinarischen Ophiolitheruptionen zu merken. Sie ist nicht erst das Werk der späteren Orogenese. Es entstand eine immer mehr verengte und akzentuierte Synklinale großen Stils zwischen den beiderseits aufsteigenden Gebirgszonen (Apennin und Dinariden). Ihr nördlicher Muldenschluß wurde in Form des Alpenstranges unter der Einwirkung des stark herangepreßten nördlichen Vorlandes hoch emporgedrückt. Zweifellos ist die alpine Raffung und Überfaltung eine bedeutende, aber ich halte es für einen Fehlschluß, wenn man

¹⁾ Die Landschaft Puglia in Südost-Italien, der Gargano und die Kuppe von Ancona gehören zu den dinarischen Außenfalten.



Fig. 3. Tektonischer Lageplan der mediterranen Kettengebirge. *A* = Präkambrische Rumpfe in Nordeuropa. *RT* = Russisches Tafelland über präkambrischem Rumpfgebirge. *C* = Kaledonische und ordovizische Faltenrumpfe (Faltung im Silur und Devon). *AV* = Armorikanisch-varistische Faltenrumpfe (Faltung im Karbon). *pv* = Mesozoische und känozoische Sedimente über *AV*. *WT* = Wüstentafel: Kristallines und paläozoisches Grundgebirge mit transgredirender Kreide-Tertiärdecke. Der Rote Meer-Jordangraben ist eingezeichnet.

Bemerkungen zur Karte.

Die jungen Kettengebirge sind durch Leitlinien dargestellt, die soweit als möglich dem Verlauf der wichtigsten Züge folgen. Mit schrägen, dichten Schraffen sind in ihnen Gebiete kristalliner, metamorpher Gesteine herausgehoben (Kreuzchen zeigen die ungefähre Lage der Granit-Tonalitbatholithen-Zone im alpinen und dinarischen System an). Punktiert sind die Rand- und Innensenken der Kettengebirge, soweit sie außerhalb heutiger Meeresgebiete liegen.

Die ganze Art der Linienführung in den Kettengebirgen der Mittelmeer-Region deutet an, daß letztere zwischen der nordeuropäischen und der afrikanischen Kontinentalscholle nicht nur eine Einengung, sondern zugleich eine Schleppung erfahren hat. Die Schleifen der Leitlinien sind auf der nördlichen Seite des Kettengürtels, von den Alpen bis Gibraltar, nach Westen vorgezogen, auf der südlichen Seite hingegen nach Osten.

annimmt, daß in ihr die volle Normalbreite des mediterranen Kettengürtels entweder in Deckenform aufgestapelt oder durch seitliche Abwanderung verschwunden ist.

Schon die Betrachtung des Dinaridenbaues läßt sich meines Erachtens damit nicht in Einklang bringen. Die Nordwanderung der Schichtenmassen zur alpinen Einschnürung des Kettengürtels müßte in der dinarischen Flanke ungeheure Faltenraffungen bzw. Zonenverluste hervorgerufen haben. Wir sehen aber regelmäßige und offene Zonengliederung im norddinarischen Faltenland und an seiner Grenze gegen die ebenfalls einfachen Falten des bereits alpin streichenden Savsystems. Die Überschneidungen im Scheitel des adriatischen Bogens am venetianischen Südalpenrand sind zwar sehr hübsch, aber doch von verhältnismäßig kleinem Ausmaß. Im westlichen Südtirol sind sie bereits zu Ende.

Jedenfalls scheint mir die zuletzt gegebene Vorstellung von der adriatischen Diagonalmulde die natürliche zu sein und gleichfalls dem Schleppungsbild gerecht zu werden.

Nach den neueren Erfahrungen über die Erstreckung der südlichsten Falten des mediterranen Systems („Syrischer Bogen“ KRENKEL, Centralblatt 1924, S. 274) zeigt sich, daß diese nicht in die adriatische Mulde hineingehen. Sie ziehen aus Syrien (DIENER, KOBER) durch Palästina, die nördliche Sinaiwüste (RANGE), die Umgebung von Abu Roash bei Kairo und scheinen in Barka ihre Fortsetzung zu finden, so daß der Anschluß an die äußeren Atlasfalten von Tunis sehr wahrscheinlich wird. Auch die Verbreitung der Kreide- und Jurafazies folgt diesem Weg.

Wenn man nicht ungeheure longitudinale Gleitbahnen zwischen diesen Außenfalten und den dinarisch-taurisch-iranischen Zonen annehmen will, was sich z. B. mit der einfachen Anordnung der äußeren iranischen Kreide-Tertiärfalten kaum vereinen dürfte, so kommt man auch aus diesem Grunde zu der einfacheren Deutung der adriatischen Diagonalmulde.

Sehr schöne, auf transversale Schleppung hindeutende Bilder bieten die nördlichen Zonen des Kettengürtels.

Mit einer auffallenden, nach Westen konvexen Schleife schließt sich im westlichen Mittelmeergebiet der betische Faltenstrang (Gibraltarbogen) gegen das atlantische Ozeanbecken ab. Man könnte zunächst glauben, daß hier der Kettengürtel zu Ende ist und einfach ringförmig einen tyrrhenischen Kern umwallt. Es zeigt sich aber, daß der große Atlas seine WSW-Richtung bis zum atlantischen Bruchrand beibehält, daß also der Gibraltarbogen von ihm abzweigt.

Es scheint, daß auch die Einklemmung der Pyrenäen und der in NW-Richtung mit ihnen konvergierenden hesperischen Kette (S. des Ebrobeckens) in den Komplex der Vorgänge gehört, die mit einer diagonalen Druckwirkung zusammenhängen. Das französische Zentralplateau und das spanische Rumpfgebirge sind einander durch Zusammendrängen in SW—NO-Richtung genähert; die Achse der zwischen ihnen entwickelten pyrenäisch-hesperischen Faltungen läuft westnordwestlich.

Ein der Gibraltarschlinge ähnliches Bild bietet der westalpine Bogen, über dessen tektonische Anlage ARGAND in verschiedenen Arbeiten geschrieben hat (vgl. *Eclogae geol. Helvet.* 1916). Er wendet eine wundervolle Konvexität gegen Westen und erhält durch den von ihm abzweigenden Schweizer Jurabogen noch ein Anhängsel, das die gleiche Tendenz zum Ausdruck bringt. Die Faltenwellen spülten hier in einen buchtförmigen, von dem französischen Zentralplateau und dem Schwarzwald-Vogesenhorn umschlossenen Raum hinein. Aber es war keine einfache Süd-Nordbewegung, die sie hineintrieb. Das geht am besten aus den sonderbaren Erscheinungen hervor, die wir in der Verbindungsregion zwischen Westalpen und Apennin beobachten: Die französischen Alpen und das kristalline „ligurische Massiv“ bei Savona sind energisch nach Westen bis Süden überfaltet und überschoben. Der anschließende Apennin zeigt regionale Überfaltung gegen Nordosten. Wir stehen so am Rande des Golfs von Genua im Zentrum eines riesigen Faltenwirbels. Die westgerichtete Schleppung der alpinen Flanke des Kettengürtels, die ostgerichtete Schleppung der Apenninen macht diese rätselhafte Disharmonie der Bewegung, die Drehung, verständlich.

AMPFERER weist darauf hin, wie fruchtbar der Schleppungsgedanke für die Deutung einer Reihe ostalpiner Strukturzüge ist, die man bisher oft gewaltsam einem einseitigen Nordschub untergeordnet hat.

Das Übergangsgebiet von West- und Ostalpen, wo der Alpenstrang entschieden eine Schwenkung vollführt, zeigt eine Reihe westlich blickender großer Schuppungen. Ihre Deutung als Denudationsränder lauter nordgewandeter Deckenserien kann nicht befriedigen, wenn sie auch von maßgebenden Schweizer Geologen energisch verfochten wird. Zu nennen wäre hier besonders die Anreihung penninischer Elemente, wie Adula, Tambo, Suretta und ihr Verhältnis zu den weiter östlich folgenden Schuppungen wie Margna, Err usw. Auch die rhätischen Faltungen (SPITZ und DYRHENFURT), die Schuppenbögen am Südwestrand der Ötztaler Alpen und die transversalen Elemente im Schuppen- oder Deckenbau der Nordtiroler Kalkalpen fügen sich ein. ROTHPLETZ hat geradezu eine schlittenförmige Bewegung des Alpenkörpers angenommen. In der Arbeit, *Mittel. d. geol. Gesellsch. Wien* 1913, S. 156 habe ich eine kurze Übersicht der oben angedeuteten alpinen Strukturzüge gegeben und sie in Zusammenhang mit den Transversalpressungen gebracht, die in den z. T. fast geschlossenen Bögen des mediterranen Faltengürtels bestehen mußten. Die Erscheinungen sind von besonderem Interesse, weil sie uns zweifellos oft ganze „Deckenreihen vortäuschen, wo transversale Schuppung innerhalb einer und derselben tektonischen Einheit vorliegt.“ Die Sammelprofile (vgl. STAUB, JENNY) mit ihren auf erhebliche Entfernung beiderseits der Profillinie summierten Decken werden sich wohl manche Reduktion gefallen lassen müssen.

Die von AMPFERER vorgebrachten Erwägungen erweitern die theoretische Basis für diese Zusammenhänge.

Anmerkung. Sehr merkwürdig ist der Verlauf des Karpathenbogens. Seine Einschmiegung in die Nische zwischen böhmischem Massiv und podolischem Horst ist ja ohne weiteres begreiflich. In der so sonderbar gedrehten Verbindung der Karpathen mit dem Balkan am Eisernen Tor kommt aber wohl mehr zum Vorschein. Ich denke, daß hier eine Stauchung der Ketten-

gebirgszone vorliegt, die damit zusammenhängt, daß der breite Kettengürtel sich hier um die Ecke des archaischen Rumpfes von Südrußland herumwindet. Einen weiteren Einfluß kann auch folgender Umstand nehmen: Der europäische Abschnitt der Kettengebirge haftet im Norden an der mitteleuropäischen Schollenregion, die asiatischen Abschnitte hingegen im Krim-Kaukasusvorland an der großen russischen Plattform. Zwischen dieser und den mitteleuropäischen Schollen schaltet sich aber ein bewegliches, zusammengeschobenes Gelenk ein: die saxonische Faltungszone von Nordwest- und Norddeutschland (vgl. die Arbeiten von STILLE), das polnische Mittelgebirge und die Dobrudscha. Ein Verklemmen im osteuropäischen Kettengebirgestück wird durch dieses Zusammenrücken der russischen Plattform und der mitteleuropäischen Schollen begünstigt: es drängt der balkanisch-kaukasische Teil des Stranges in die Flanke des Karpathenbogens, so daß die Schlinge am Eisernen Tor entsteht.

Etwas ganz Ähnliches muß sich schon in der karbönischen Faltung ereignet haben. Man vergleiche die Ähnlichkeit der Sudetenschlinge mit jener der Karpathen und auch die Erscheinungen im armorikanisch-iberischen Bogen (Karte in Abhandl. sächs. Akad. XXXVIII 2, S. 30).

Die Bogenformen der Kettengebirge verlangen Gelenkigkeit der Faltungen, wie wir sie in den Draperieanordnungen tatsächlich beobachten können (S. 263). AMPFERER hat aber mit Recht betont, daß sie auch longitudinale „Zerfaserung“ des Faltengebirges verlangen, damit die einzelnen Stränge eine Möglichkeit haben, sich gegeneinander zu verschieben, um den Windungen zu folgen. (Die Sache liegt ähnlich wie im Vertikalprofil einer Falte, die ja ebenfalls unter Scherungsbewegungen der Schichtenlagen vor sich geht. Vgl. das bekannte Beispiel mit dem Falten eines Buches!)

Solche longitudinale Zerlegungen sind im Gebirgsbau vorhanden. Die Tonalzone und in sehr schöner Weise die Vardarzone sind derartige Trennungsfugen der Faltenstränge. Ich denke allerdings nicht, daß an ihnen breite Rindenstreifen durch Verschluckung verschwunden sind und im Innern der Faltschleifen, z. B. in Pannonien angesammelt wurden. Wir können im letzteren Gebiet nicht Krustenteile nachweisen, die aus den engeren Abschnitten des Faltengürtels abgeschleppt wurden. Wir finden einfach Züge von Sedimentfalten, die aus der alpin-dinarischen Knickung in die pannonische Ebene hineinziehen und so die Verbindung zwischen Tonalit- und Vardarzone oberirdisch unterbrechen (S. 265).

Der durch positive Schwereanomalien dargestellte Massenüberschuß unter den Innensenken der Kettenschleifen erklärt sich durch unterirdischen Platztausch, indem die unter den umgebenden Kettengürteln durch deren Gewicht verdrängten Massen von schwerem Magma abwanderten und sich besonders im Innern der Kettenschleifen Platz schafften. Abh. d. sächs. Akad. XXXVIII 2, S. 31.

In Zusammenhang mit den Schlingenbildungen der mediterranen Ketten sind schließlich auch eigenartige Erscheinungen in der starren Krustenregion von Afrika zu erwähnen. Die Grabenränder des Roten Meeres und des fast rechtwinklig von ihm abgehenden Golfs von Aden divergieren nach Südost, bezw. Nordost. Man hat den Eindruck, daß die arabische Scholle zu einer kleinen, gegen den Indischen Ozean gewendeten Schwenkung um ihre im Faltenwinkel von Obermesopotamien eingeklemmte Ecke gezwungen wurde. Das schließt die Auffassung des Roten Meeres und Golfs von Aden als Zerrungsgräben, vielleicht sogar als klaffende Spalten im Sinne von WEGENER (Die Entstehung der Kontinente, 3. Aufl. Braunschweig 1922, S. 114) in sich. Man darf allerdings deswegen nicht die gesamten Ozeanböden als freigelegte Oberflächen der Simasphäre betrachten¹⁾.

¹⁾ WEGENER-Diskussion, Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde, Berlin 1921.

Unabweisbar ist bei Betrachtung der seltsamen Faltenschleifen folgender Schluß: Weder eine einfache Kontraktionsbewegung der Erdrinde, noch eine bloße Materialvermehrung der letzteren durch emporgedrungene Magmassen gibt eine Erklärung für diese Gebilde. Beide Faktoren: Kontraktion und Magmaaufstieg liefern zwar den für die Faltung nötigen Oberflächen-Überschuß der Erdrinde, aber sie bestimmen nicht die Anordnung der Kettengebirge. Die starren großen Schollenfelder der Erde, die zwischen sich die beweglichen Faltenbänder zusammenschieben, werden vom Magma getragen. Diese Magmaunterlage ist nicht stationär; sie ist nicht auf dem Erdkern gewissermaßen verankert. Seit den ältesten Perioden löst der Abkühlungsprozeß Verschiebungen des physikalischen und chemischen Gleichgewichtszustandes aus, die sich in Krustenstörungen und in einer ununterbrochenen Serie wandernder Eruptionen und Intrusionen äußern. Diese Stoff- und Temperaturänderungen müssen Strömungen, wenn auch unendlich langsamer Art, hervorrufen, die von der Rotation und den Gezeiten der Erde beeinflußt werden. Durch sie werden Verlagerungen der vom Magma getragenen Rinde bewirkt. Ihre Gesetze werden vielleicht bei weitergehender tektonischer und paläogeographischer Analyse der Erdrinde noch zu ergründen sein. Vorderhand steht man hier noch auf dem Gebiet von Hypothesen, die in lebhaftem Fluß begriffen sind¹⁾.

¹⁾ Vgl. das Kapitel: „Theorien der Gebirgsbildung“ in SALOMON, Grundzüge der Geologie I, S. 162—169, Stuttgart 1922; KOSSMAT, Geol. Rundschau XII, 1921, S. 185.