

Homologien und Analogien in der Tektonik der Ostalpen.

Von Robert Schwinner, Graz.

(Mit 2 Abbildungen.)

Allgemeines.

Die Begriffe „analog“ und „homolog“ sind erst in Beziehung auf lebende Organismen scharf umgrenzt worden. *Analog* nennt man Organe, welche bei Tieren ähnlicher Lebensweise eine ähnliche Verrichtung haben, und welche demgemäß in Gestalt und Funktionsweise ähnlich sind; sie können aber trotzdem im Bau und Wesen weit verschieden sein (Beispiel: die Grab-Beine bei Maulwurf und Maulwurfsgrille sehen ähnlich aus und arbeiten ähnlich, aber das eine hat das innere Knochenskelett der Wirbeltiere, das andere das äußere Chitinskelett der Insekten). Ferner erstreckt sich die Aussage über Analogie immer nur auf einen bestimmten Teil des betreffenden Organismus, das übrige kann hüben und drüben ganz verschieden sein. Von *Homologie* kann man nur sprechen, wenn der Bauplan der in Vergleich gezogenen beiden Organismen gleich oder doch sehr ähnlich ist; so, daß sich auch Teile (Organe) beiderseits Stück für Stück entsprechen, und mindestens ihrer Grundlage nach; in der schließlichen Ausbildung und in der Verwendung können sie verschieden sein. Aber oft werden homologe Organe auch in Bau, Erscheinung und Verwendung ähnlich sein, Homologie und Analogie zusammenfallen. Beide Bezeichnungen, Analogie und Homologie, sind natürlich in gewissem Maße arbiträr. Beispielsweise sind an Delphin, Ichthyosaurus, Haifisch viele Organe äußerst ähnlich, wie es bei der gleichen Funktion bei gleichartig angepaßten Schwimmern sein muß, sind also als analog zu bezeichnen; viele Organe können auch — da alle drei Wirbeltierbauplan aufweisen — als homolog angesehen werden. Es wird vom Zusammenhang und Zweck der Diskussion abhängen, ob hervorzuheben ist, was gemeinsam ist, oder das, was verschieden erscheint.

Können diese Bezeichnungen auch in der anorganischen Natur angewendet werden? Bezüglich des Wortes Analogie kann ein Einwand dagegen nicht erhoben werden. Auch im Anorganischen kommt es häufig vor, daß Vorgänge und ihre Ergeb-

nisse in gewissen Beziehungen einander ähnlich sind, und in diesen Fällen sind Analogieschlüsse seit jeher in Gebrauch. Aber auch im Worte „Homologie“ liegt keine Voraussetzung, welche ausschließlich im Bereich des Lebenden angetroffen werden könnte. Von Homologie kann man auch hier jedesmal sprechen, wenn ein natürlich zusammengehöriger Komplex A einem anderen ebensolchen B Teil für Teil entspricht. Bei den Organismen führt Blut- und Stammesverwandtschaft zu solchem Ergebnis, aber auch in der anorganischen Natur sind die Elemente, aus denen sich ihre Erscheinungen zusammensetzen, nicht regellos, rein „zufällig“ zusammengewürfelt. Im Gegenteil, man kann eher sagen, daß der Begriff „zufällig“ rein Fiktion ist. Wo man die Einzelfälle untersuchen kann, erweisen sie sich immer streng kausal in höhere Ordnung eingefügt; und wenn man den Wahrscheinlichkeitskalkül anwendet, sagt das nichts über die Beschaffenheit des Materiales aus¹⁾, sondern bedeutet nur, daß man für gewisse Zwecke von den individuellen Bedingungen und Ordnungen absehen kann, und sich für den Kalkül mit gewissen Durchschnittswerten begnügt (Beispiel: die Statistik in der Biologie, praktischer Spezialfall Lebensversicherung). Die Frage geht nun dahin, ob auch im anorganischen Geschehen als Ausdruck der auch ihm innewohnenden Gesetzmäßigkeiten homologe Komplexe zustandekommen können, bei denen die Elemente, aus denen sie sich zusammensetzen, hüben und drüben Stück für Stück einander entsprechen. Für eine unzweideutige Bejahung dieser Frage gibt es ein allgemein bekanntes großartiges Beispiel, nämlich jene Unmenge von Beziehungen und Gesetzmäßigkeiten, welche man als „das periodische System der chemischen Elemente“ zusammenfaßt. Für die tektonische Geologie soll im folgenden ein gutes Beispiel aus der Zentralzone der Ostalpen beschrieben werden.

Was liegt solchen homologen Komplexen zugrunde, ermöglicht ihre Zusammenfassung, als Wesen ihrer Erscheinung, und Bedingung sie zu verstehen? In der Lebewelt ist als Grundlage der Homologien der geheimnisvolle Organisationsplan anzusehen, welcher von Geschlecht zu Geschlecht vererbt wird. In der Chemie faßt man die wundervollen Gesetzmäßigkeiten des periodischen Systems zusammen als innerer Bau und Kräftesysteme der Atome. Was kann Grundlage für Homologien in der Tektonik sein? Übereinstimmungen im Kräfteplan, wobei das Hauptgewicht auf die aktiv wirkenden Kräfte zu legen ist; die passive Reaktion des Materiales kann die Einzelformen beeinflussen, kaum die großen Zusammenhänge des Gebirgsbaues. Die Beispiele, welche wir im folgenden besprechen wollen, stammen aus dem Altkristallin der Zentralzone der Ostalpen, also aus einem Gebiete, dessen Gebirgsbau seit Präkambrium mehrmals tektonisch geformt und umgeformt worden ist. Daß

¹⁾ Abgesehen natürlich von den Fällen, wo auch der Gegenstand dieses Kalküles ein ad hoc konstruiertes Gedankending ist: kinetische Gastheorie usw. Ein Werturteil über solche Fiktionen an und für sich ist damit nicht beabsichtigt; im Gegenteil, diese können nicht vermieden werden, und einzelne von ihnen sind von größtem Nutzen gewesen. Nur darf man sie nicht mit „wirklichen Dingen“ zusammenwerfen.

dort trotzdem so weitgehend homologisierte Komplexe zustandekommen konnten, beweist, daß Kräfteplan und die daraus sich ergebenden aufeinanderfolgenden Gestalten an einem bestimmten Krustenstück kaum in weniger zwingender Verwandtschaft einander folgen, als die großen Gruppen der organischen Entwicklungsstämme. Auch dies bestätigt wieder jene Regel, welche ich als „K o n s e q u e n z in der tektonischen Entwicklung“ bezeichnet habe.

Die Eckpfeiler in der ostalpinen Zentralzone.

Die kristalline Zentralzone der Ostalpen erstreckt sich beiderseits des 47sten Parallelkreises, in der Breite zwischen 40 und 60 km wechselnd, über rund $5\frac{1}{2}$ Parallelgrade oder 420 km. Wo dieses im ganzen geradlinige W—E-Streichen ein Ende hat, ballt sich der kristalline Bau beiderseits zu massiger Gebirgsgruppe. Im Westen vor den Senken von Prätigau und Unterengadin — Teilen jener Rhein und Etsch verbindenden Depression, in welcher die natürliche Grenze zwischen Ost- und Westalpen zu sehen ist — ist es das Zwillingsspaar Ötztaler—Silvretta, im Osten vor der Tertiärbucht von Graz, einem Ausläufer der großen ungarischen Binnensenke, sind es die Zwillinge Koralm—Saualm. An diesen Zwillingmassiven endet die West—Ost-Erstreckung der Zentralzone; die Fortsetzungen des Kristallinbaues biegen, z. T. voll aufgeschlossen, z. T. nur angedeutet, beiderseits in die Diagonalrichtungen ab. Jene erscheinen daher ausgezeichnet als Eckpfeiler der Ostalpenzentralzone, einander so in der allgemeinen Stellung zum Großbau des Gebirges entsprechend. Genauere Betrachtung zeigt, daß außer dieser Entsprechung im ganzen weitgehende Homologien bestehen zwischen den Teilen, den tektonischen Elementen, aus denen ihr Bau sich zusammensetzt. Diese Entsprechungen treten besonders hervor, wenn man beachtet, daß im westlichen Block die Figuren-Achse SW—NE liegt, im östlichen dagegen SSE—NNW. Ich habe daher in der beiliegenden Figur die Skizze von Koralm—Saualm um ein Viertel eines rechten Winkels gedreht, so daß nunmehr die Lavant-Achse symmetrisch zu der des Unterengadin gezeichnet erscheint. Ferner ist ein Größenunterschied zu berücksichtigen. Der westliche Doppelpfeiler bedeckt eine Fläche, die sich ungefähr 120 km in W—E, und 80 km in N—S ausdehnt, der östliche dagegen ist kleiner, etwa 60 km in WNW—ESE-Richtung und 45 km in NNE—SSW. Ich habe daher die Skizze der Koralm—Saualm-Gruppe im doppelt so großen Maßstab als die der Ötztaler—Silvretta-Gruppe gezeichnet, damit der Vergleich durch diesen Größenunterschied nicht gestört wird (S. 98/99).

Die beiden Kristallinblöcke, die den westlichen Eckpfeiler bilden, Silvretta und Ötztaler Gruppe, sind im Gestein, in den einzelnen Arten desselben, sowie in den Serien (meist Serie I nach meiner Klassifikation), und auch in der Stufe der Metamorphose (meist Kata- bis tiefere Mesozone) fast völlig gleich, sie sind auch im Bau sehr ähnlich; in beiden ist der nördliche Teil aus ungefähr west-östlich streichenden Gesteinskörpern zusammengesetzt. Es sind

Linsen und Schuppen (geschlossene Falten sind kaum zu konstruieren), meist steil einfallend; im Nordteil sowohl gegen den Inn, als gegen den Arlberg überwiegt das südliche Einfallen, weiter im Süden wird man vielleicht ein gewisses Überwiegen nördlichen Fallens feststellen können (bei überhaupt recht steiler Lage sowohl der s als der Gesteinsgrenzen), so daß im großen und ganzen für die Nordhälfte sowohl der Öztaler als der Silvretta das Bild eines Fächers, unsymmetrisch stärker gegen Nord überquellend, passen wird. Der Südteil zeigt in beiden Gebirgsgruppen Schlingentektonik, Falten mit steilstehenden Achsen, wie sie aus älterem steilstehendem Schuppenbau in einem zweiten tektonischen Akt durch Schiebung (etwa durch Schleppung an längs Blättern horizontal aneinander vorbeigleitenden

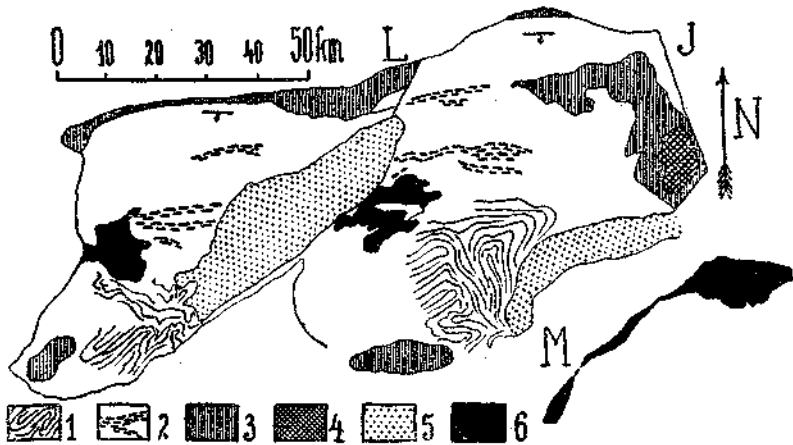


Abb. 1 a

Zeichenerklärung zu Abb. 1a, Silvretta und Ötztaler, und Abb. 1b, Saualm und Koralm.

1. Schlingentektonik im Grundgebirge. 2. Amphibolit-(Eklogit-)Striche. 3. Auflagerung jüngerer Schichten. 4. Alpidische Deckscholle. 5. Junge Schichten der Binnenseeken. 6. Granit.
- Orte: B = Bacher, J = Innsbruck, K = Koralm, L = Landeck, M = Meran, S = Saualm, W = Wildon.

Blöcken) entstanden sein kann; man sieht ja in der Übergangszone die Randschuppen vom E—W-Bau abschwenken und in die Schlingen hinüberstreichen, und zwar in dem Sinne, als ob der südliche Flügel der Blattverschiebung gegenüber dem nördlichen Blocke gegen Osten verschoben worden wäre (Schmidegg, 1936, S. 135). Daher liegt es nahe, diese beiden Blöcke als Bruchstücke einer ehemals zusammenhängenden Platte anzusehen, und sie lassen sich auch wieder zusammenpassen. (Natürlich mit einiger Toleranz: kleinere tektonische Elemente halten im Streichen nicht lange an, wenn solche nicht im zweiten Block wiederzufinden sind, ist es kein Gegengrund; auch dürfte die Erosion von den ursprünglichen Bruchlippen manches entfernt haben, und schließlich dürften derartige große Bewegungen meist zu etlicher Deformation der einzelnen Blöcke für sich führen, so dürfte z. B. die Zeinisjochüberschiebung in den Ötztälern nicht zu suchen sein.) Man denke die Silvretta längs der trennenden „Pitztaler Störung“ gegen NE vorgeschoben, bis die nördliche Randzone der

Silvretta, der Landecker Phyllit, auf die Höhe der ihm entsprechenden Randzone der Ötztaler Masse, der Phyllitzone im Nordfuß des Hocheder kommt; dann entsprechen auch die anderen E—W-streichenden Zonen beider Massive einander ziemlich gut: die amphibolitreicheren Striche um den Wildgrat fänden dann ihre Fortsetzung in ähnlichen an der Kuchenspitze, die noch größere Anhäufung solcher bei Längenfeld denen um die Bielerhöhe, und südlich von letzteren die Granite vom Kaunergrat denen des Litzner, beide berühmt durch die Kühnheit ihrer Gipfformen; südlich von diesem Strich beginnt dann in beiden Massiven gleichermaßen das Gebiet der Schlingentektonik. Man hätte also anzunehmen, daß nach dem Zerreißen der ursprüng-

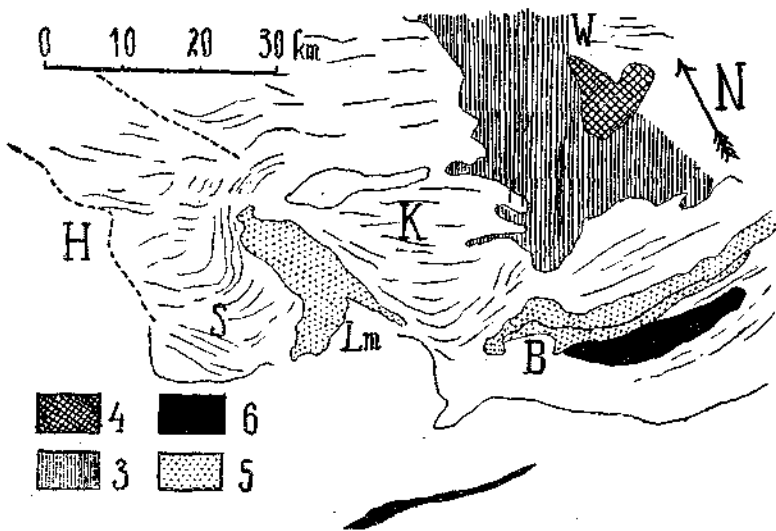


Abb. 1 b

lich zusammenhängenden einheitlichen Platte der Ötztaler Block gegenüber dem der Silvretta einerseits an steilstehender Schubfläche etliche hunderte (oder tausend?) Meter hochgeschoben worden ist, was ja an der Ecke des „Scherenfensters“ bei Prutz unmittelbar zu sehen ist, gleichzeitig aber längs dem Blatte Prutz—Wenns—Pitztalmündung—Silz waagrecht neben dem zurückbleibenden Silvrettablock um ungefähr 15 bis 20 km gegen NE vorgeschoben worden wäre.²⁾

²⁾ Hier ist darauf hinzuweisen, daß die geradlinige Fortsetzung des Blattes der Pitztaler Störung über den Fernpaß ins Gebiet von Murnau zielt. Damit soll nicht gesagt sein, daß zwischen den hiebei ange-troffenen tektonischen Elementen ein unmittelbarer Zusammenhang bestünde. Das Verhältnis derselben kann nicht so einfach beschrieben werden; denn an jeder dieser drei Stellen, im Scherenfenster des Unterengadin, in der Kalkalpenhauptzone bei Ehrwald, und in der Randzone der Kalkalpen bei Murnau sind die tektonischen Vorgänge kompliziert, mehrphasig, und wir haben nicht die Anhaltspunkte, dies sauber in einzelne Akte bestimmter Zeitpunkte aufzulösen, wie es nötig wäre, wenn man mechanische Zusammenhänge feststellen will. Nur eins ist klar: im Scherenfenster ist die Ötztaler Masse der Silvretta aufgeschoben, ein Zusammen-schub E—W,

Die beiden Kristallinblöcke, welche den östlichen Eckpfeiler bilden, Koralm und Saualm, sind wieder beide in Gestein und Serie völlig gleich (und übrigens auch den Öztalern und der Silvretta un-
gemein ähnlich; ich verweise auf das, was ich früher diesbezüglich gesagt habe (Schwinn er, 1939, S. 62). Auch diese haben ursprünglich einen geschlossenen, einheitlichen Block gebildet. Heute ist dieser zerteilt durch den großartigen „Lavanttaler Verwurf“, an welchem der östliche Flügel, die Koralpe, hoch, weit über 1000 m, herausgehoben ist über das Jung-Tertiär des Lavant-Grabens; und da dieses, abgesehen von nicht sehr bedeutenden Verststellungen („Griffener Verwurf“) sich über das Kristallin des Saualm-Randes legt, ist die Koralm auch über die Saualm beträchtlich emporgehoben worden. Im gleichen Sinne ist auch weiter im Norden an der Fortsetzung dieser Störungslinie bei St. Leonhard—Obdach die Amering-Masse gegen Westen aufgeschoben. Für eine größere Horizontal-komponente der Bewegung im Streichen des Lavanttaler Verwurfes sind wenig Anhaltspunkte zu finden (Kieslinger, 1928, S. 510 ff.). Höfer und nach ihm, wenn auch mit anderer Begründung, Spitz, haben angenommen, daß die östlich des Lavanttaler Verwurfes gelegene Scholle (mit Koralm—Bacher usw.) um etwa 10 km SE bewegt worden wäre gegenüber der westlich davon gelegenen Scholle (Graben des Lavanttales, und also auch Saualm, Phyllit von Bleiburg, Karawanken—Ostende usw., Spitz, 1919, S. 283). Die derart angenommene Blattverschiebung würde einer Verlängerung der Zentralzone in E—W-Richtung, einer Dehnung derselben entsprechen. Dem widersprechen die Beobachtungen unmittelbar an der Störung: sowohl im unteren Lavanttale als im oberen (bei Obdach) zeigt das Tertiär in Bau und Gefüge Zusammenschub in E—W-Richtung, ja stellenweise noch heute fortdauernde Druckwirkung (Kieslinger, 1928, S. 510). Ferner wäre diese Annahme nicht einzufügen in das allgemeine Bewegungsbild der die kristalline Zentralzone meridional durchsetzenden Querstörungen; denn dieses läßt vom Alpenostrand bis zum Katschberg sonst ausschließlich Zusammenschub in der Zentralzone in E—W-Richtung erkennen (Schwinn er, 1939, S. 121). Hält man sich dieses Bild vor Augen, so erkennt man, daß in diesem Streifen die jungen Bewegungen allgemein ungefähr E—W gegangen sein müssen; denn anders müßte der Kristallin-

womit auch der westlich gerichtete Aufschub der Wettersteinmasse bei Ehrwald übereinstimmen würde. Aber den Kalkalpenrand kennzeichnet — sehr ausgeprägt gerade um Murnau — eine Bewegung an den Diagonalblättern, deren Ergebnis eine Verlängerung, Dehnung in E—W vorstellt! Auf diesen Gegensatz zwischen der bayrischen Randzone und der Mittelzone der Kalkalpen habe ich bereits einmal hingewiesen (betr. Tegernsee, Schwinn er 1940, S. 126, Tafel), sonst hat man ihn bisher kaum beachtet, geschweige denn erklärt. Man kann also die genannte, vom Unterengadin bis ins Alpenvorland hinausziehende Diagonalzone nicht als eine einfache, einheitliche Dislokation ansehen, eher als eine tief im Grundgebirge angelegte Störung, welche zu verschiedenen Zeiten in den einzelnen der von ihr verquerten Zonen posthum wieder Ausdruck gefunden hat, verschieden je nach den sonstigen Umständen, ein tief eingefahrenes Geleise, in welches jede später darübergehende tektonische Bewegung so oder so ein Stück einlenken mußte.

streifen entweder seine Breite absätzig ändern, oder in seinem Innern Zerreißen oder Zusammenschoppungen zeigen — was nicht beobachtet wird. War die Bewegung aber E—W, so ergibt sich an der NNW—SSE-streichenden Schubfläche eine Blattverschiebung, welche die östliche Scholle, die der Koralm, im Gegenteil gegenüber der westlichen gegen NW versetzt haben müßte, und zwar um einen Bruchteil der vertikalen Sprunghöhe des Lavantaler Verwurfes, d. i. um etliche hunderte von m. Wohlverstanden, das gilt einzig für die jungen (jungtertiären) Dislokationen. Im alten Bau des Grundgebirges ist eine gegenseitige Verschiebung dieser beiden Blöcke, Koralm gegen Saualm, desselben Sinnes aber bedeutend größeren Ausmaßes angedeutet dadurch, daß die Gesteins-Striche zwischen Preitenegg—Waldenstein und Wolfsberg aus dem sonst allgemein herrschenden SE—NW-Streichen innerhalb der Lavantaler Störungszone in E—W bis ENE—WSW-Streichen umgeschleift, verschleppt erscheinen. Demnach ist das tektonische Verhältnis zwischen Koralm und Saualm dasselbe wie zwischen Ötztalern und Silvretta: in jedem der beiden Fälle ist der östlich gelegene Block gegenüber dem westlichen gehoben, steil aufgeschoben, und ein Stück weiter nach Norden versetzt; nur ist das Ausmaß der relativen Verschiebungen, besonders im Blatt bei Koralm—Saualm geringer.

Wir sehen also, daß die Senke des unteren Lavantales im ältesten Grundgebirgsbau durch kontinuierliche Verbiegungen angelegt worden ist; die späteren Störungen haben diesen Kniff im Schichtenstoß als Schwächezone benutzt, und weiter ausgestaltet, meist diskontinuierlich durch Verwerfungen, Brüche. Denkt man sich das im gleichen Sinne weitergetrieben, insbesondere durch weitere Zusammenstauchung in E—W-Richtung die Störung westlich der Furche („Griffener Verwurf“), in flache Überschiebungen über die tieferliegende Füllung der Furche übertrieben, ausartend, so würde der Graben des unteren Lavantales nicht bloß dem Umriß nach (vergleiche die Figur!), sondern auch nach den sichtbaren Einzelzügen der Tektonik dem Unterengadiner Scherenfenster sehr ähnlich erscheinen. Eine Fortsetzung gegen Norden ist nur im östlichen Blocke, zwischen St. Leonhard und Obdach, der Beobachtung zugänglich, im westlichen Blocke liegt die entsprechende Zone unter den Kalkalpen verborgen, und damit fehlt die Möglichkeit eines Vergleiches, der sicher sehr aufschlußreich wäre.

Das Kristallin der Ötztaler sinkt ostwärts seinem Niveau nach einigermaßen ab: sonst, im W und S ausschließlich aus der tieferen Serie I aufgebaut, ist über diesen Gneisen im Stubai Glimmerschiefer der höheren Serie II in breiten Flächen aufgelagert, außerdem (von den Kalkkögeln bis zu den Tribulaunen) eine nicht stark gestörte, mächtige Platte kalkiger Trias, und über dieser hat im Steinacherjoch noch eine Deckscholle, die aus variskischem Bau der Nachbarschaft abgeschoben worden ist, unterhalb des oberen Erosionsniveaus (im Sinne von A. Penck) Platz und Erhaltung gefunden. Ebenso sinkt von der Koralm der Gneis der Serie I ostwärts unter jüngeres Deckgebirge ab. Aber das Übergreifen des jüngsten, des Jungtertiärs, läßt das nicht in allen Schichten gleich

deutlich erkennen. Immerhin ist am Ostrande stellenweise Auflagerung der Hangendserie II an mehreren Stellen noch festzustellen, bevor alles im Tertiär ertrinkt (Schwinnner, 1939, S. 65), es wird also wahrscheinlich unter der Tertiärdecke davon noch mehr im Untergrund vorkommen, als zureichendes Gegenstück der Stubai-er Glimmerschiefer. Ein Gegenstück zu Kalkkögel—Tribulaunen ist hier allerdings nicht zu erwarten, weil in weitem Umkreis fehlt, entweder nicht abgelagert, oder — wahrscheinlicher — später abgetragen. Wohl aber muß man annehmen, daß das Koralm-Massiv sich ostwärts bis zur heutigen Mur unterm Tertiär fortsetzt; aus einer Aufgrabung bei Lebring ist dem geologischen Institut Graz zweifelloser Koralmgneis zugekommen. Dann würden die paläozoischen Phyllite usw. des Saual auch noch über Koralmgneis liegen, und so ein genaues Gegenstück des Steinacherjoches als Deckscholle aus variskischem Bau vorstellen.

In der Innentektonik besteht ein gewisser Unterschied, nicht so sehr im Plan, als in der Intensität: auch die Koralm ist aus Schuppen aufgebaut, aber nicht ganz so heftig zusammengestaucht als die Ötztaler, die Lagerung der Schichten ist etwas flacher, und es finden sich mittendrin Synklinale aus der höheren Serie II (Glimmerschiefer mit Marmor), ein Stockwerk, das es in den Ötztälern wohl auch einmal gegeben haben mag, das dort aber vollständig abgetragen worden ist. Hauptunterschied ist, daß der südliche Teil der Kor- und Saualm nicht wie jener von Ötztälern und Silvretta Schlingentektonik zeigt. Infolgedessen erscheint im Osten viel klarer, daß die tiefere Serie I auch gegen Süden unter Serie II untersinkt³⁾, aber auch im Westen fehlen Belege für dieses Überlagerungsverhältnis keineswegs (Matscher Glimmerschiefer usw.).

Das bedeutendste Objekt der Schlingentektonik ist gewiß der unter die Südostecke des Ötztaler Blockes untergestopfte „Schneeberger Zug“. Und dieser kann nach seiner Lage zu den anderen tektonischen Elementen und in gewissem Grade auch nach seinem Bau mit der „Mahrenberger Synklinale“ verglichen werden. Beide enden gegen Westen blind, und verbreitern sich gegen Osten. Vermutlich sind in diesem großtektonischen Sinne auch die altkristallinen Gesteine des Remschenig als untergeordnete Schuppe in diesem Bau einzurechnen. Ob diese Komplikation auch im Schneeberger Zug ein Gegenstück findet oder nicht, läßt sich kaum entscheiden; einfache Synklinale ist er gewiß nicht, sondern ziemlich einseitig; ob aber die Schichfolge noch weiter geschuppt und vervielfacht wurde, ist wegen der starken tektonischen Beanspruchung kaum zu erkennen. Dieser Komplikation gegenüber ist die Mahrenberger Synklinale, obwohl sie mehrphasig geschuppt und eng zusammengestaucht erscheint, doch noch auf einem früheren, primitiveren tektonischen Stadium stehen

³⁾ Kieslinger hat diese Auflagerung „Diaphthoritzone“ genannt, das könnte man dahin mißverstehen, daß es sich um Diaphthorite der Koralmgneise handle, es ist aber eine andere Serie, Glimmerschiefer mit Marmor, allerdings nicht in einfacher stratigraphischer Überlagerung, sondern als höheres tektonisches Stockwerk, und wegen der damit verbundenen Beanspruchung vielfach in rückschreitender Metamorphose.

geblieben. Es würde weitere beträchtliche Einengung durch Zusammenschub erfordern, um sie unter die Koralm so unterzustopfen; wie der Schneeberger Zug unter den Ötztalern liegt, und eine starke Horizontalscherung, um ihr blindes Westende derart wie das des Schneeberger Zuges einzurollen; aber demgegenüber darf nicht übersehen werden, daß die Anlagen dazu vorhanden sind, und daß bei einer leicht verständlichen Weiterausbildung dieser das tektonische Bild des östlichen Blockes dem des westlichen in allem gleichen würde.

Dasselbe Verhältnis, in den Grundzügen gleiche Anlage, aber in den östlichen Massiven niedrigere Stufe der tektonischen Ausarbeitung finden wir wieder bei den granitischen Massen, welche in beiden Fällen im Südost der erwähnten Großsynklinale liegen. Der Brixener Granit ist in seinem Nordteil scharf in den Isoklinalbau der anstoßenden Gneiszone eingeregelt und eingeschlichtet, und mit seinem Ostende in langer Lamelle in den Falten-, bezw. Schuppenbau seiner Zone konkordant ausgeschwängt. Im Bacher haben wir dagegen eine Intrusion, die tektonisch wenig umgeformt ist, und in annähernd ursprünglichem Verband in einer Schieferhülle von Altkristallin steckt⁴⁾. Die Hauptausdehnung dieses Aufbruches entspricht ja allerdings dem allgemeinen Streichen, das ist aber wohl schon von der Intrusion her in dem gegen SE hinausstreichenden Gebirgsast angelegt gewesen. Schärfere alpidische Einschichtung zeigt der Granit- und Tonalitzug von Eisenkappel. Aber auch dieser erweist sich tektonisch selbständig darin, daß er im Staffel SW auswärts vom Bacher endet, während im Westen alle diese „periadriatischen“ Intrusivkörper, die ursprünglich vielleicht auch nicht ganz im gleichen Strich gelegen haben mögen, vom Tonale bis ins Pustertal mit ihren Ausschwänzungen und kleinen Zwischenkörperchen (vgl. unten S. 109) heute auf eine einzige Linie perlschnurartig aufgefädelt erscheinen.

Den auffälligsten Unterschied zwischen dem Ost- und dem Westpfeiler der Zentralzone bildet das vielfach verschiedene Alter der Gesteine, welche die nach der Lagerung einander entsprechenden tektonischen Elemente zusammensetzen. Im Lavant-Graben liegt Jungtertiär und einiges wenig Mesozoikum, im Unterengadiner höchstens weniges Alttertiär, Mesozoikum und vermutlich auch Paläozoikum. Die Drausynklinale von Mahrenberg enthält vermutlich paläozoische Phyllite, Mesozoikum und Jungtertiär, der ihr homologe Schneeberger Zug hauptsächlich Glimmerschiefer, die für Altkristallin gelten müssen, und nur wenige kleine Schuppen von Mesozoikum usw. Es liegt hier in erster Linie ein Unterschied im Stockwerk vor. Im Ostteil der Zentralzone liegt der Aufschluß wenigstens zum Teil im Ablagerungsbereich des Jungtertiär, der West-Teil ist seit Alttertiär, ja Kreide Abtragungsbereich. Das Alter der alpidischen Faltung und ihrer Phasen kann daher nur im Osten unmittelbar bestimmt werden, im Westen, wo jüngere Ablagerungen

⁴⁾ Tektonische Stellung und magmatektonische Eigentümlichkeit der Bacherintrusionen wird allerdings erst nach einer modernen Neuaufnahme verlässlich zu beurteilen sein.

fehlen, hat man darüber nur weithergeholte Vermutungen. Aber es liegt kein Grund vor, die tektonische Formung der westlichen Zentralzone auf wesentlich ältere Phasen als die der östlichen zu schieben. Im Gegenteil, der Anteil der älteren alpidischen Phasen (Vor-Gosau z. B.) scheint im Osten eher größer zu sein als im Westen. Ähnlich steht es mit den älteren Ären der Gebirgsbildung. Viele Züge, welche in der späteren Tektonik wieder und weiter zum Ausdruck gekommen sind, sind bereits im Bau des voralpäischen Grundgebirges angelegt gewesen, und diese muß man hüben und drüben wohl gleichstellen. Die Intrusionen von Brixen und Bacher sind wohl beide Nachzügler der variskischen Ära. Es ist auch nicht bloß die Lavantsenke (wie oben ausgeführt, S. 101) alt angelegt, sondern auch die des Unterengadin, sonst wäre die Häufung der Durchbrüche von vielleicht spätvariskischen, jedenfalls voralpidischen Diabasen längs der Ränder des „Fensters“ nicht zu erklären. Man wird wohl annehmen können, daß auch in den anderen älteren Erdperioden die Gebirgsbildungsvorgänge hüben und drüben ziemlich parallel und zu den gleichen Zeiten stattgefunden haben, nicht anders als in der alpidischen Ära.

Im ganzen erscheinen also die beiden Eckpfeiler der kristallinen Zentralzone der Ostalpen im Westen und im Osten nach ihrem Bauplan weitgehend vergleichbar. Ihr Bau ist aus derselben Anzahl von Hauptelementen zusammengesetzt, und diese Bausteine, welche hüben und drüben einander als homolog entsprechen, sind einander immer sehr ähnlich nach Form, Bau und Material, und die tektonischen Beziehungen zwischen den aneinanderstoßenden Bauelementen sind hüben und drüben grundsätzlich dieselben. Nur ist der Maßstab im Bau des westlichen Eckpfeilers ungefähr das doppelte von dem des östlichen. Ferner liegt, wie oben (S. 103) ausgeführt, der Bau des östlichen Eckpfeilers ein kleines Stockwerk höher als der des westlichen. Das sind gewiß beachtenswerte Unterschiede, aber sie dürften nur in den Absolutbeträgen, nicht aber in den wesentlichen Zügen des Kräfteplanes, in den Dispositionen von Kraft und Verformung zum Ausdruck kommen. Die „Figurenachse“ des westlichen Pfeilers zielt NE→SW, die des östlichen NNW→SSE, das ist jedesmal die Richtung, in welcher die Fortsetzung dieser Grundgebirgszone zu suchen ist, im SE sozusagen als Rückgrat unter den Dinariden verborgen, im SW zureichend aufgeschlossen als das ostalpine Kristallin von Ulten—Tonale—Veltlin. Diese Übereinstimmungen beweisen, daß Bewegungsbilder und Kräfteplan in diesen beiden großen Bereichen des ostalpinen Kristallines einander sehr ähnlich, man kann sagen in der Hauptsache gleich waren, und das nicht einmal, sondern in allen tektonischen Phasen, welche im Laufe der geologischen Geschichte sie geformt und umgeformt haben. Allerdings, die zugrunde liegenden verwickelten Vorgänge mechanisch zu analysieren, oder auch nur mehr ins einzelne auszumalen, dürfte heute noch verfrüht sein.

Um die „Alpino-Dinarische Grenze“.

Wie eine Reihe von Dislokationen innerhalb der Alpen zu dem Namen einer „Alpino-Dinarischen Grenze“ kommen konnte, ist

nur historisch und dazu recht weitläufig zu erklären und verständlich zu machen. Das kommt hier nicht in Frage. Aber wenn auch die Voraussetzungen, auf Grund welcher seinerzeit die Wahl dieses Namens erfolgt ist, heute allgemein als nicht zutreffend erkannt sind, als völlig gegenstandslos kann man doch nicht bezeichnen, es steckt wirklich etwas dahinter. Schon dem Laien fallen die Längstalfuchten am südlichen Rande der kristallinen Zentralzone der Alpen, vom Tessin bis Kärnten, ins Auge. Offenbar muß diesem auffälligen Zuge der Alpenlandschaft auch etwas im Alpenbau entsprechen. Um all das, Gegenden und tektonische Elemente, kurz zu bezeichnen, mag der allgemein bekannte und eindeutige alte Name hier verwendet werden.

Die Dislokationen, nach welchen man Alpinen und Dinarischen Bau seinerzeit abgrenzen wollte, sind jung, gehören der alpidischen Orogenese, und zwar einer ihrer jüngsten Phasen an. Aber schon das kristalline Grundgebirge zeigt in seiner wahrscheinlich präkambrischen Anlage längs der betreffenden Zone gemeinsame Eigentümlichkeiten; insbesondere „Schlingentektonik“ ist für diese Zone hin und hin bezeichnend. Schmidegg (1936) hat auf diese zuerst aufmerksam gemacht, sie von einer beträchtlichen Strecke der alpinodinarischen Grenzzone erschöpfend beschrieben. Schon Hammer hatte in den südlichen Ortleralpen Gebiete mit steil rundumlaufendem Streichen, und eigenartige Querschollen beschrieben, in den Deffereger Alpen war nach den Aufnahmen von Senarclens-Grancy ebenfalls auf Schlingenbau zu schließen. Schmidegg verfolgte diesen Bauplan nun systematisch, und beschrieb die Falten mit steilstehenden Achsen vom Tonale und Sulzberg, aus den südlichen Teilen der Ötztaler Gruppe, aus dem südlichen Deffereger, dem Villgrater Gebirge. Beck meldete dann nach seinen Aufnahmen auf Blatt Mölltal Schlingentektonik aus dem süd-östlichen Teil der Kreuzekgruppe. Schließlich fand ich bei meinen Aufnahmen im Gebiete der Millstätter Alpe, wieder an der Südostecke derselben, auf allerdings kleinem Raume, aber unverkennbar, Falten mit steilen, über 60° einfallenden Achsen. In den westlich anschließenden Gebieten haben die Aufnahmen der Baseler Schule ein großes Gebiet von Schlingentektonik in der südlichen Silvrettagruppe kennengelehrt — dieses würde, als einziges, außerhalb unserer Zone liegen, aber da wir Gründe haben, die Silvretta als ein von den Ötztalern weggebrochenes Bruchstück anzusehen (siehe oben S. 98), würde es ursprünglich auch derselben angehört haben — und nach anderen Untersuchungen derselben Schule im Schweizer Tessingebiet vermutet Wenk (S. 263), daß diese Tektonik charakteristisch für das Grundgebirge südlich der insubrischen Zone sei — vielleicht zu sehr verallgemeinert, das scheint nur zwischen Monte Cenere und Langensee durch Aufnahmen belegt zu sein, und andernorts liegen diese Schlingen nördlich der genannten Zone. Hier wäre anzuführen, daß nach den Beschreibungen von Cornelius (S. 338) im Winkel zwischen Puschlav und Veitlin Falten mit steilstehenden Achsen vorkommen. Das ist ein beträchtlicher Teil der alpinodinarischen Grenzstrecke, man kann sagen, längs ihrer ganzen Erstreckung sind hin

und hin in mäßigen Abständen voneinander Schlingengruppen anzutreffen — vermutlich liegt es sogar im Wesen dieser mechanischen Erscheinungen (Wirbel), daß sie nicht in geschlossener Front vorkommen⁵⁾ — andererseits ist außer den genannten Stellen Schlingentektonik im ostalpinen Kristallin nicht bekannt (die Erforschung desselben läßt wohl noch einiges zu wünschen übrig, und es ist die Möglichkeit nicht ganz auszuschließen, daß irgendwo sonst eine Falte mit steilen Achsen noch gefunden werden könnte, aber ein größeres Gebiet mit Schlingentektonik kann sich der Beachtung nicht entzogen haben, geschweige denn eine so große zusammenhängende Gruppe solcher, wie wir sie längs der alpinodinarischen Grenze angeben haben, wie sie also gerade für diese kennzeichnend erscheint).

Was bedeutet nun Schlingentektonik eigentlich? So verzwickte Gebiete dieses Baustiles auch auf den ersten Blick aussehen, so ist doch eine weitgehende kinematische und sogar eine gewisse dynamische Erklärung derselben möglich, eben wegen dieser ihrer eigenartigen, ja fast einzigartigen Struktur. Diese kann sich eben nur auf einem einzigen Wege entwickelt haben. Eine Grundgebirgsscholle A sei durch starke Faltung um die gebräuchlichen annähernd horizontalen Achsen in eine Folge von gleich streichenden und steilstehenden Schuppen oder doch stehenden, fast isoklinal ausgeplatteten Falten umgewandelt worden. Die eine Begrenzung dieser Scholle, a, liege nach Streichen und Fallen ungefähr konkordant in der Schar der Bewegungsflächen jenes Schuppen-, bzw. Falten-systems. (Wenigstens so weit, als aufgeschlossen oder sonst erschließbar. Daß diese die Scholle begrenzende Dislokation nicht mit gleichbleibender Steilheit in die ewige Tiefe unbegrenzt sich fortsetzen kann, ist selbstverständlich. Aber Spekulationen über diese Bewegungsbahnen da unten würden zu weit führen und können für unsere Zwecke vermieden werden.) An dieser Grenzfläche a, der bereits isoklinal ausgefalteten Scholle A greift dann bei einer späteren Gebirgsbildungsphase eine Tangentialkraft an, und zwar in der Tiefe stärker als in ihrem oberen Teile. Tektonisch ist das etwa dahin zu beschreiben, daß längs a die an dieser Grenzfläche benachbarte Scholle B horizontal hinglittet, unter starker Reibung. Durch diese an a angreifende Tangentialkraft (Scherung) werden die Randlamellen aus dem steilstehenden Schuppenpaket gelöst und zu Falten um die dieser Horizontalscherung entsprechenden saigern oder doch sehr steilen Achsen zusammengestaucht, wie sie im Grundriß der geologischen Karte als typische Schlingen erscheinen. Reibung fest auf fest ist proportional dem Normaldruck: die Scholle B muß mit nicht geringer Kraft gegen A angepreßt worden sein. Man kann nun öfters noch beobachten, daß der steilachsige Schlingenbau in den höheren Niveaus sich flacher legt (Schmidegg, 1936,

⁵⁾ Ein Beispiel eines Strömungsvorganges, bei dem in einer Störungszone die Wirbel in regelmäßigen Abständen aufeinanderfolgen, ist die „Wirbelstraße“ — wie Kármán sagt — die sich hinter einer schmalen, der Strömung entgegengestellten Platte bildet (S. Prandtl, Strömungslehre, 2. Aufl., 1944, S. 166, Abb. 140, 141). Auf diese sehr schwierigen Probleme der Mechanik können wir hier nicht weiter eingehen.

S. 135, 147), besonders am Schneeberger Zug sieht man schön, wie sich die Schlingenscholle A überfaltend über B hinüberlegt: daraus ist zu schließen, daß das Andrängen von B gegen A nach der Tiefe zu stärker wird. Es handelt sich also nicht um einen mechanischen Vorgang, der seine Kraftquelle im oberen Stockwerk der sichtbaren Krustenschollen B und A haben würde. (Damit ist nicht notwendig vorauszusetzen, daß die Ursache der Stauung in den toten Schollen der obersten Kruste läge, sondern nur eine direkte, unmittelbar in diesem Stockwerk übertragene Aktion der einen gegen die andere, etwa wie die klassische Kontraktionstheorie sie darstellt, oder wie sie R. Staub als Rammstoß einer nach Wegener vagierenden Kontinentalsholle so anschaulich geschildert hat.) Daß der Druck gegen unten stärker wird, daß A gegen B überfaltet erscheint, kann nur dahin gedeutet werden, daß B passiv längs a auf einer mächtigen Unterströmung vertrittet worden ist, deren Schnelligkeit, Normaldruck gegen A und Reibung an A mit der Tiefe zunimmt (etwa entsprechend dem hydrostatischen Druck). Diese Unterströmung kann nicht dauernd und überall rein laminar längs a hinstreichen; solcher Bewegungsvorgang ist labil und geht in gewissen Abständen in Wirbel über (in der Theorie und in Experimenten ist mehrfach gezeigt worden, wie von solcher Diskontinuitätsfläche sich in regelmäßigen Abständen Wirbel ablösen; in unserem Beispiele scheint allerdings Scherung, Abstand und Stärke der sich ablösenden Wirbel, alle drei von Westen gegen Osten in gleichem Sinne abzunehmen — siehe unten —, ein Verhalten, das auch ohne weitere Deduktion, etwa bei Abklingen der Störungen gegen Osten, nicht unplausibel erscheint). Wir beobachten nun folgendes: in den von Westen gegen Osten unmittelbar aufeinanderfolgenden Gebirgsgruppen der Defferegger Berge, der Kreuzeckgruppe, der Millstätter Alpe gilt die Regel, daß der westliche Teil derselben normale Faltung zeigt (eventuell durch alte Intrusionen versteift: Antholzer Gneis, Wildhorn Gneis), von der Mitte weg gegen die Südostecke dagegen Schlingentektonik herrscht, außerdem dieses Südostviertel seinem tektonischen Niveau nach herabgedrückt erscheint, und daher jüngere Auflagerungen und Einfaltungen erkennen läßt (Thurntaler Phyllit, Kambrium der Emberger Alm und anschließend, Radentheiner Magnesit). Diese Gebirgsgruppen sind nicht nur morphologisch, sie sind auch tektonisch Einheiten, durch junge Dislokationen gegeneinander abgegrenzt, ebenso wie sie ihrem Grundgebirgsbau nach Individuen vorstellen. Nach Größe und Intensität der Tektonik nehmen sie von Osten gegen Westen zu. Denkt man diese Progression gegen Westen fortgesetzt, so kann man auch die südlichen Öztaler an diese Reihenfolge anschließen: auch bei diesen beherrscht Schlingentektonik nur die östliche Hälfte des Südrandes, in der westlichen, im Vintschgau ist die Faltung normal W—E-streichend, und auf der SE-Ecke liegt auch hier manches jüngeres (Gostjöchl, Telfer und Moarer Weißen usw.). Bei allen den genannten Gruppen sind die Schlingen durch eine Scherung entstanden, bei welcher die südlich gelegene Scholle im Verhältnis zu der nördlichen gegen Osten bewegt worden ist, und dieser selbe Bewegungssinn gilt auch noch für die Schlingengebiete der

südlichen Ortlergruppe (Schmidegg, 1936, S. 135, 146), doch ist im letztgenannten Gebiete eine Einteilung in analog gebaute Schollen nach dem Vorliegenden nicht durchzuführen. Bei den sonst noch genannten Schlingengebieten ist aus der Literatur weder der Bewegungssinn, noch eine analoge Scholleneinteilung zu entnehmen. Aus dem beschriebenen tektonischen Bild, das die alpinodinarische Grenz-Zone zwischen Vintschgau und Mittelkärnten darbietet, ist zu schließen, daß die Unterströmung, welche die Schlingen gebildet hat, nicht gleichmäßig längs dieser Zeile analog gebauter Schollen von West nach Osten geströmt ist. Jeder Trennung zwischen zweien dieser Schollen entspricht eine Diskontinuität der Unterströmung, und zwar derart, daß dort von der Hauptströmung ein Ast nordwärts abzweigt, und in einen absteigenden, gegen den Uhrzeiger drehenden Wirbel einbiegt. Durch diese Abzäpfung ist die Hauptströmung vorerst geschwächt, weicht in Reaktion auch etwas gegen Süd aus, drückt und reibt weniger, und vermag die zunächst im Wege liegende SW-Ecke der nächsten Scholle nicht umzuformen, dort bleibt die ältere normale Faltung erhalten. An der Südostecke jeder dieser Schollen verstärkt die Saugwirkung des unter ihr absteigenden Wirbels die Strömung überhaupt, gibt ihr auch eine gegen Nord andrängende Komponente, und dieser entsprechend wird dort die Tangentialkraft weiterverstärkt, und dadurch dort der alte Schuppenbau zu Schlingen umgeformt. Außerdem wird diese Ecke der nördlichen Schollenreihe von der gegen Nord absteigenden Strömung unterfahren, und daher von den durch diese mitgetrifteten südlichen Schollen von Süd nach Nord unterschoben (am deutlichsten ist dieses Bewegungsbild im Schneeberger Zug). Aber durch diese Unterstopfung ist die SE-Ecke nicht, wie man meinen könnte, etwa gehoben worden; was die Verdickung der Kruste dabei ausmachen mag, wird mehr als aufgewogen durch den nach unten ziehenden Sog des im Substratum absteigenden Wirbels, so daß die SE-Ecke der Scholle tiefer geschaltet erscheint, und an ihrer Oberfläche, wie oben erwähnt, jüngere Ablagerungen und Einfaltungen Platz finden. Offen ist noch die Frage nach der eigentlichen, der primären Ursache: man kann sich denken, die Absätze, welche wegen nicht genauen Aneinanderpassens der in der Zeile benachbarten Schollen sich ergeben, hätten bewirkt, daß dort aus der vorüberstreichenden Hauptströmung der randliche Strömungsfaden sich abzweigt; aber ebenso plausibel, vielleicht sogar wahrscheinlicher ist, daß in der an der anfänglich noch nicht weiter gegliederten Platte vorüberstreichenden Laminarströmung wegen ihrer Instabilität Wirbel in entsprechenden Absätzen sich entwickelt hätten, und daß es dann erst der Sog dieser absteigenden Wirbel war, welcher die Kruste über ihnen zerbrochen hat, und aus der ursprünglich einheitlichen Platte durch Dislokationen, die in den durch hydrodynamische Regeln bestimmten, daher regelmäßigen Abständen aufeinanderfolgen, eine Zeile von getrennten Schollen gebildet, deren innerer Bau entsprechend dem sich immer wiederholenden Kräfteplan dabei analog geformt worden ist.

Eine andere Auswirkung der beschriebenen Unterströmung sehen wir in den merkwürdigen Ausschwänzungen der die alpino-

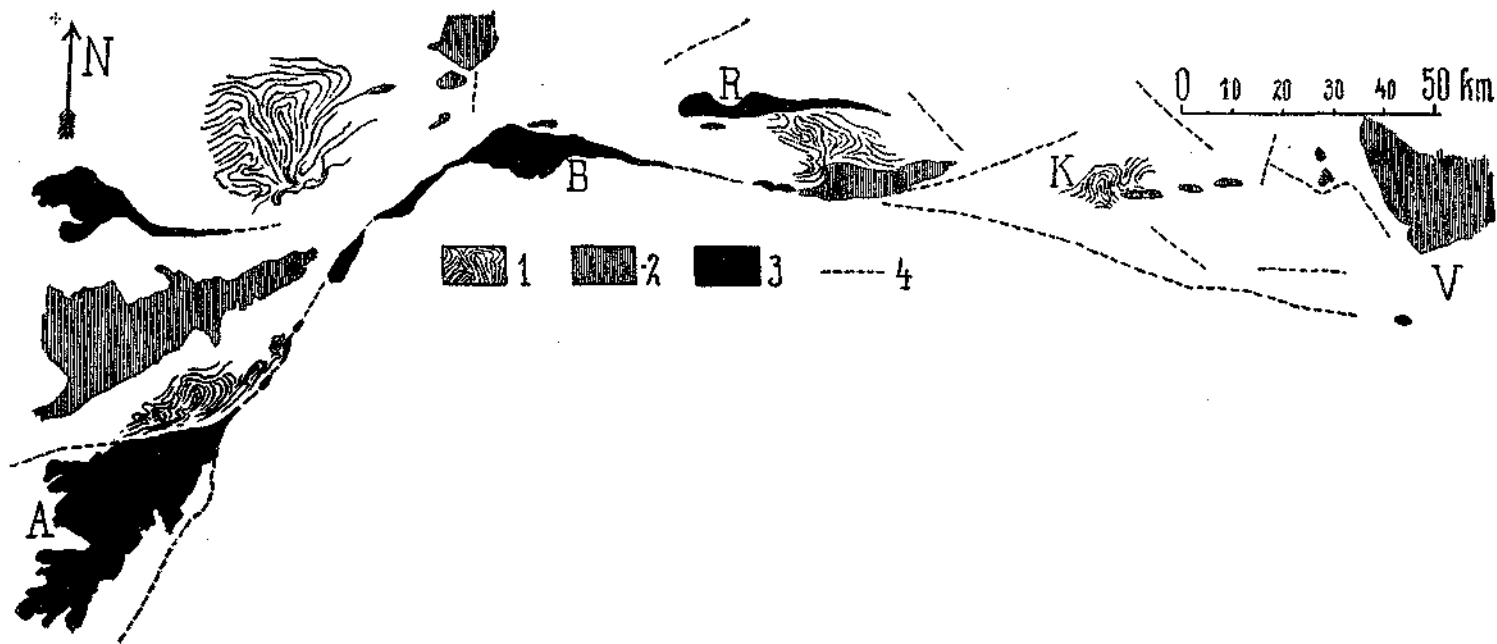


Abb. 2

Zeichenerklärung.

Umgebung der „alpino-dinarischen Grenze“.

1. Schlingentektonik im Grundgebirge. 2. Auflagerung jüngerer Schichten. 3. Granit. 4. Dislokationen.

Orte: A = Adamello, B = Brixen, K = Kreuzeckgruppe, R = Riesenerferner, V = Villach.

(Die kleinen Vorkommen — z. B. Tonalit von Susalitsch, Magnesit von Radentheim usw. — sind an Größe übertrieben, sonst wären sie in diesem Maßstab überhaupt nicht zu bemerken.)

dinarische Grenz-Zone begleitenden Intrusivmassen. Solche als geringmächtige Lamellen oder Perlschnüre von kleinen Körpern bis Blöcken des Intrusivgesteines schließen sich an die NE-Ecke des Adamello längs der Judikarienlinie an, sie reichen vom Iffinger bis Pens, vom Brixener Granit bis ins Hochpustertal (Kandellen, Gsies, Finstergraben bei Toblach, Furlani), von den Rieserfernern bis ins untere Defferegg, vielleicht ist auch der Granit und Tonalit von Eisenkappel hier anzuschließen (allerdings nur mehr Schwanz, ohne Körper!). Die Widersprüche, welche in den bezüglichen Beobachtungen aufscheinen, lassen sich, wie folgt klären. Die erste Anlage erfolgte magmatisch, vielleicht „syntektonisch“, jedenfalls nicht rein tektonisch. Letzteres würde Blattverschiebungen sozusagen fast überall an der alpinodinarischen Grenze in einem Ausmaße erfordern — von 10, 15 und mehr km, die Pustertaler Zunge des Brixener Granites ist über 30 km! — wie es mit anderen Beobachtungen nicht verträglich ist. An solche Riesenblattverschiebungen an der ganzen alpinodinarischen Grenzlinie müßten sich Scharen von Dislokationen in den anstoßenden Flächen anschließen: Kontinuitätsbedingung! (Ein Beispiel, wie so etwas aussehen kann, habe ich von den jungen Störungen Ost vom Katschberg gegeben, 1939, S. 121 ff.). Solche sind aber nicht bekannt, besonders innerhalb des Bogens, im angrenzenden Südalpengebiet sind Störungen, welche in dieses Bewegungsbild passen würden, mit Sicherheit auszuschließen. Mechanische Beanspruchung der Gesteine ist meistens anzutreffen (Erklärung siehe unten), aber sie ist geringer und weniger verbreitet, als sie bei den anzunehmenden Schubweiten, und um die Lamellen von Granit, Tonalit etc. so dünn auszuwalzen, hätte sein müssen: so ist an der Judikarienlinie N von Dimaro der östliche Flügel mechanisch sehr wenig beansprucht; unmöglich, daß diese weichen Gesteine so aussehen könnten, wenn sie das Widerlager gebildet hätten, auf welchem harter Tonalit zu wenige Meter mächtigen Lamellen und Linsen ausgewalzt und dabei 10, 15 und mehr km vom Stamm-Massiv weg verschleppt worden wäre⁶⁾. Von jedem dieser Hauptherde muß das Magma aktiv in die Fuge vorge drungen sein, und zwar in jenem Sinne, den wir für die Unterströmung aus ihren mechanischen Wirkungen erschlossen haben, nämlich W → E. Dafür, daß hier magmatische Bewegungen wirken, spricht auch die einseitige Verbreitung des Ganggefollges: besonders vom Rieserfernerkern stoßen die ihm unverkennbar zuzuordnenden Tonalitporphyrite ganz einseitig gegen Osten vor (bei den anderen Massen ist Ganggefollge z. T. spärlich, und nicht so unzweifelhaft zuzuordnen, wie die Tonalitporphyrite der Rieserfernersippe). Auf den gleichen Bewegungsflächen, die schon bei der präkambrischen Formung des Grundgebirges und seiner Schlingentektonik ihre Rolle gespielt hatten (siehe unten), haben posthum weitere Bewegungen stattgefunden, vielleicht mehrmals, jedenfalls bis zu den

⁶⁾ Ich führe dieses Beispiel an, weil ich gerade diese ganze Strecke recht genau kenne. Ähnliches kann man aber auch an anderen Punkten der alpinodinarischen Grenze beobachten. Und übrigens: was in dieser Beziehung für die eine dieser Massen nachgewiesen ist, gilt auch für die andere.

jüngsten alpidischen Gebirgsbildungsphasen: diese haben dann den als magmatische Apophysen entstandenen Ausschwänzungen unserer periadriatischen Massive die Tracht mechanisch ausgewalzter Lamellen aufgeprägt, je nach Lage in größerer oder geringerer Stärke der Beanspruchung.

Ganz gleichartige ausgeschwänzte Massive finden sich auch im westlichen Teile der alpinodinarischen Grenze, vom Puschlav westwärts, und wahrscheinlich auch hier vergesellschaftet mit Schlingentektonik — eine Analogie, die dadurch Gewicht gewinnt, daß dergleichen sonst in den Alpen nicht zu finden ist⁷⁾. Nur ist hier die Ausschwänzung gegen Westen gerichtet, und muß daher auch der Bewegungssinn entgegengesetzt sein dem, der vom Tonale bis Karnten herrscht. Es mögen auch noch weitere Analogien bestehen, so sehen sich die Anhäufungen von Intrusivmassen, die um Bernina-Bergell und die um den Adamello in manchem ähnlich⁸⁾, es ist uns aber augenblicklich nicht möglich, darauf näher einzugehen.

Fassen wir zusammen: die Zone, in welcher man eine alpinodinarische Grenze suchte, ist tatsächlich tektonisch und magmatisch ausgezeichnet, und verschieden vom übrigen Alpengebiet, und dies seit alten Zeiten, wenn auch nicht seit den ältesten; denn die Schlingentektonik setzt weitgehende Ausfaltung durch frühere Gebirgsbildungen im Grundgebirge voraus, anderseits ist sie überall von Kristallisation überdauert worden. Diese könnte mit dem Eindringen der periadriatischen Massen in Beziehung gebracht werden; aber das ist ganz unsicher⁹⁾. Dem Alter nach ist jene letzte regionale Metamorphose sicher nicht sehr jung; denn fast überall in dieser Zone finden sich die Spuren einer starken postkristallinen tektonischen Beanspruchung: an jene Zone, welche im alten Grundgebirgsbau durch starke Dislokationen gekennzeichnet war, heften sich auch die jüngeren Gebirgsbewegungen — ein schönes Beispiel für die „Konsequenz in der tektonischen Entwicklung“. Allerdings erschwert diese Übereinanderprägung verschieden alter Gebirgsbildungsvorgänge das Verständnis. Nur in der Linie Tref-

⁷⁾ In gewissem Sinne könnte man die Grobgneislamellen der Raabalpenmassive (und noch ferner die analogen Gneislamellen in den Hohen Tauern, Modereck und Flugkogel) zum Vergleich heranziehen, aber diese sind doch in vielem gänzlich verschieden.

⁸⁾ Der „Adamello-Tonalit“ ist keine einheitliche Masse. Daher ist nicht zureichend begründet, wenn Schmidegg (1936, S. 131) aus der Ähnlichkeit der Ausschwänzungen und „der fast durchgehenden Verbindung“ beider auf „nachtriadisches Alter des Brixener Granites“ schließt. Die Adamello-Presanella-Masse kann analog wie die Bernina, für welche variskisches Alter angenommen wird, älter sein, jung, analog wie drüben der Bergeller Granit, jung muß nur der südlichste Teil-Körper, der Castello-Tonalit sein, nur dieser hat Kontakt an Trias.

⁹⁾ Diese anscheinend homologen Intrusivmassen sind nicht gleichaltrig: das zeigt die „sechsfache Eruptionsfolge“ in dem einen Adamello-Massiv. Mit welchen von den sechs, die offenbar dem Alter nach weit auseinanderliegen, sollen jeweils die anderen gleich alt sein? Der zweite Einwand ist der — in den Alpen einzig an solchen Massiven bekannte — „normale“ Kontakt, d. h. Hornfels mit Cordierit, Sillimannit usw. Ein und derselbe Magma-Körper kann nicht gleichzeitig diesen Kontakt, und eine weiträumige allgemeine Umkristallisierung verursachen.

ling—Radenthein—Gegendtal scheint ein Stück der ältesten Generation der „Grenz“-Dislokationen in ursprünglicher Form, nicht durch junge Störungen neuerlich überprägt, erhalten geblieben zu sein, weil die nächsten alpidischen, der alpinodinarischen Grenz-Zone zuzuordnenden Störungen einige Kilometer südlich von jener Linie durchziehen. Der Zusammenhang der älteren Tektonik ist außerdem noch durch spätere Querverstellungen zerrissen worden. Beispielsweise könnte die vorerwähnte Linie Radenthein—Treffling ihre Fortsetzung nach Westen erst südlich der Schlingen der südöstlichen Kreuzeckgruppe gehabt haben, etwa bei Steinfeld—Greifenburg usw., also um mindestens 3 bis 4 km nach Süden versetzt¹⁰⁾. Auch sogar die Strecke der Judikarienlinie Dimaro—Lana hat man als jugendliche Querverstellung ansehen wollen (und daraus weiter auf entsprechende Verstellung des Ötztaler Blockes geschlossen usw.), doch das ist nach Feststellungen von Schmidegg (1936, S. 130 und Karte) einigermmaßen zu bezweifeln.

Welche großtektonische Bedeutung können die besprochenen Dislokationen an der alpinodinarischen Grenz-Zone haben? Gestützt auf die geophysikalischen Beobachtungen (Schweremessungen auf See, Tiefherdbeben) habe ich gezeigt (1941), daß den **Abschluß der alpidischen Orogenese**¹¹⁾ im Pazifischen Raum ein tektonischer Vorgang von ungeahnter Großartigkeit bildet. Das ganze ungeheure Rund dieses Ozeanes ist vom Festland — die Festlandsgrenzen in weitestem Sinne genommen, nicht bloß längs der geschlossenen Küsten, wie Amerikas Westküsten, sondern auch außen an den ostasiatischen Inselguirlanden, und an der „Andesitlinie“, dem Rand eines großaustralischen Blockes gezogen — überall rundum durch eine zusammenhängende Flucht von Scherflächen getrennt, welche mittelsteil (um 40°) vom Ozean weg unter die Kontinente einfallen, und an welchen die Kontinente Tausende von Metern in die Höhe geschoben worden sind (Ergebnis: Saamtiefen, Vulkan-

¹⁰⁾ Ein weiterer Beleg für Querverstellungen könnte gerade hier sein, daß typisches Schladminger Kristallin, als letzter Ausläufer noch bei Mauterndorf, sich weiter findet: an der SSE-Ecke der Reißbeck-Gruppe (sehr mächtig im Profil des Radelgrabens) und dann in der westlichen Kreuzeck-Gruppe (Wildhorngneise), beidesmal mit NE—SW-Streichen, als Stücke anzusehen eines ursprünglich zusammenhängenden Grundgebirgsastes von gleichem Streichen, der vom Muralpenbau überleitete zur „Südlichen Gneiszone“, welche Verbindung bis jetzt nur sehr dürftig durch den Aufschluß in der Innern Wimitz angedeutet schien. Das in den Hochalmbau einbezogene Verbindungsstück wäre aus der Reihe beträchtlich gegen Süden verstellt worden: abermals eine Andeutung dafür, daß die Überfaltung im Hochalm-Massiv gegen Süden gerichtet war (Schwinnner, 1939, S. 139 ff.).

¹¹⁾ Revision durch Neuberechnung des Pb/U-Materiales (Schwinnner, Die Geologische Zeittafel, Neues Jb., Monatshefte 1944, S. 230/9) ließ erkennen, daß der orogene Rhythmus der Alpidischen Gebirgsbildungsära überraschend gleich ist mit dem der Kaledon-Variskischen (so muß man nach den neuen Ziffern zusammenfassen, um im Paläozoikum einen dem Alpidischen gleichwertigen Zyklus der Orogenesen zu erhalten). Danach wäre das Quartär etwa dem Oberen Perm zu parallelisieren, tatsächlich als Ausgang einer Gebirgsbildungsära und als Beginn einer Zeit anorogener Ruhe.

reihen, Schweredefizit usw.). Die heute an ihnen noch laufenden Gebirgsbewegungen (Tiefherdbeben¹²⁾ lassen erkennen, daß diese Bewegungshorizonte bis zu Tiefen von 500 km (nicht selten) hinabsteigen, ja vereinzelt bis 700 km — viel tiefer als auch phantasiereiche Tektoniker gewagt hätten, die Bewegungsbahnen von der Erdoberfläche in die Tiefe zu verlängern; selbst K o b e r kam nur auf 100 km! Mit verhältnismäßig kleinen Oberflächengebilden, wie Faltengebirgen, haben diese ungeheuren Scherungen nichts zu tun, sie hängen mit den Rändern der Kontinentalblöcke zusammen, diese bestimmend und wieder durch sie bestimmt. Aber wenn, wie gewöhnlich, ein Faltengebirge dem Kontinentalrand aufgesetzt ist, wird der Ausstrich einer solchen „Grenzscherfläche“ in seinen Bau hineintreffen. Nun sind die Verhältnisse an den Küsten des Stillen Ozeans von denen unserer Alpen ziemlich verschieden, ein Vergleich zwischen beiden nicht ohne weiteres beweiskräftig. Aber die Abzweigung, die vom pazifischen Bau in die Mediterranzone überleitet, der S u n d a b o g e n, bietet in Form, Bau und orogener Aktivität genau das gleiche Bild wie alle anderen pazifischen Inselbögen. Weiter gegen Westen sind allerdings Tiefherdbeben nur in Birma und im Hindukusch häufiger, aber ganz selten sind solche doch auch bis ins westliche Mittelmeer an einzelnen Stellen festgestellt worden. Es fehlt dort also nur an der Aktivität, die zur Tiefe von einigen Hunderten von Kilometern hinabsteigende Scherfläche ist auch dort ausgebildet. Und — wenn man Kleines mit Großem vergleichen darf — so sind die alten Dislokationen unserer alpinodinarischen Grenz-Zone während vieler geologischer Perioden am Rande eines Archipels entstanden, den man in aktualistischen Gedankengängen oft schon mit dem Malayischen verglichen hat, und ihr heutiges Hinterland, das spärliche Europa, ist auch nicht viel kompakter als etwa das Inselgebiet von Sumatra—Java—Borneo. Auch zeigt der Ausstrich ihrer Bewegungsbahnen klares Einfallen nach Nord, d. i. ebenfalls vom Meer weg, unter den Kontinent, so daß der Schluß auf weitergehende Analogien vielleicht nicht zu gewagt erscheint. Demnach wäre die „alpinodinarische Grenze“ mit ihren jungen und älteren Dislokationen das Ausgehende einer „Grenzscherzone“, ähnlich jenen gewaltigen Bewegungshorizonten, wie sie rund um den Stillen Ozean die Kontinente unterteufen, und dort in den Tiefherdbeben ihre bis heute noch dauernde tektonische Aktivität zu erkennen geben; in unseren Alpen allerdings wäre diese Aktivität heute bereits erloschen. Mit dieser Andeutung wollen wir abbrechen. Es ist noch nicht ganz ge-

¹²⁾ Man kann vermuten, daß diese heutigen Gebirgsbewegungen die Fortsetzung der früheren seien, also ein weiteres Aufschieben der Kontinentalblöcke auf ihr Vorland (bezw. Vortiefe) bedeuten; es können aber auch Bewegungen des entgegengesetzten Sinnes sein, eine Art Zurückrutschen der weit über ihre Gleichgewichtslage emporgewucherten Kontinentalblöcke. Für letzteres spricht die einzig bisher durchgeführte Bestimmung von Richtung und Sinn der Scherung bei einem Tiefherdbeben des Malayischen Archipels. Nebenbei sei noch bemerkt, daß die angegebenen großen Herdtiefen nicht etwa nur von einer Theorie oder Hypothese gefordert werden, sondern aus den Beobachtungen verhältnismäßig genau und verlässlich berechnet sind. An ihrer Realität ist nicht zu zweifeln.

lungen, die Verbindung von jenen — geophysikalisch erschlossenen — tektonischen Vorgängen von planetarischer Größe zur Größenordnung der gewöhnlichen Tektonik im allgemeinen herzustellen: im besonderen ist selbst die Fortsetzung der alpinodinarischen Zone auch nur bis Kleinasien kontrovers. Auch ob gewisse verdächtige Dislokationen in älteren Gebirgssystemen — das uns nächst interessierende Beispiel wäre die Moravische Überschiebungszone im Variskischen — ebenfalls mit solchen tiefgreifenden Grenzscherflächen zusammenhängen, muß vorläufig noch offen bleiben.

Die meisten der hier verwendeten Beobachtungsdaten habe ich schon 1938 in meine Darstellung der Zentralalpen (Geologie der Ostmark) aufgenommen. Auf ihre merkwürdigen Analogien und Homologien bin ich aber dort nicht eingegangen, nicht weil ich — wie Buhnoff schulmeisterlich rügt — „bewußt auf eine Synthese verzichtet hätte“ (ich glaube übrigens, S. 100 ff, wenigstens einige Grundlinien für eine solche gezogen zu haben), sondern einfach, weil ich buchstäblich um jede Druckseite kämpfen mußte, und daher alle Allotria über Bord gehen ließ, um wenigstens das Notwendige, „nur“ (sic!) das „Inventar“ der Beobachtungen unterzubringen, das ein Leser jenes Buches in erster Linie erwarten und verlangen kann. Aber diese eigenartige Bemängelung zeigt, daß hier in Bezeichnung und Auffassung ein Mißverständnis auszuräumen ist. Scheinbar glauben viele Geologen, „Synthese“ bedeutet einfach: Darstellung à la Termier. Aber schon Termiers berühmter Aufsatz war kaum mit Recht als Synthese bezeichnet, denn Synthese heißt Zusammenfassung, und zwar möglichst reichlich, ja erschöpfend. Doch Termier hat von den Ostalpen nicht viel gewußt (weniger, als ihm bekannt hätte sein können). Immerhin, dieses Wenige hat er ja zusammengefaßt. Aber das war es nicht, was sein Glück gemacht hat, sondern die Hypothesen, welche er diesem dürftigen Material untergelegt hatte: Schub übers Tauernfenster, Traineau écraseur usw. Was die Nappistenschule nachher für Synthesen ausgab, das waren Anwendungen („den Deckenbau nachweisen“), Ausmalungen, Ergänzungen und sonstige Breittretungen eben dieser als Dogma vorgestellten Hypothesen. Das ist — wenn die Worte in ihrem Sprachsinn gebraucht werden sollen und, wie sonst in der Wissenschaft, nicht aber im entgegengesetzten Sinn — nicht ein synthetisches Verfahren, sondern ein analytisches! Dabei kann nie etwas Neues herauskommen, wie die Wissenschaftslehre weist, und wie die Geschichte des Nappismus zeigt. Es soll nicht verschwiegen werden, daß Einzelne wirklich neue Daten anzufügen, und so einigermaßen synthetisch zu arbeiten versucht haben. Sonst ist es aber allemal das gleiche dürftige Material, das in dieser unerfreulichen Literatur wiedergekaut wird. Übrigens, Sammlung von Material allein ist noch nicht Synthese, höchstens der erste Schritt, zu einer solchen; von einer Synthese kann man erst sprechen bei sinnvoller Zusammenfassung und systematisch zusammenhängender Gruppierung desselben. Notwendige Vorarbeit ist, sämtliche Beziehungen, welche im Beobachtungsmaterial bestehen, herauszufinden und ihre Bedeutung durchzuprobieren, darnach erst kann

dem ganzen eine leitende Ordnungs idee „unterlegt“ werden. Eine derartige Vorarbeit zu einer wirklichen Synthese der Ostalpen sollen vorstehende Zeilen bieten.

Schriftenverzeichnis.

- Beck H., Geologische Spezialkarte, Blatt: Hüttenberg—Eberstein.
 Beck H., Aufnahmeberichte über Blatt Mölltal. Verh. Geol. B.-A. Wien, 1930—1938.
 Bubnoff S. v., Alpidische Tektonik. Geolog. Jahresber. Bd. III A 1941, S. 281.
 Cornelius H. P., Zur Kenntnis der Wurzelregion im unteren Veltlin. N. Jb. Beil. Bd. 40, 1915, S. 253—363.
 Furlani M., Der Drauzug im Hochpustertal. Mitt. Geol. Ges. Wien 5, 1912, S. 257.
 Hammer W., Geologische Spezialkarte, Blätter Landeck, Nauders, Ötztal, Glurns und Ortler.
 Kieslinger A., Geologische Spezialkarte, Blatt Unterdrauburg.
 Kieslinger A., Die Lavantaler Störungzone. Jb. Geol. B.-A. Wien, 78, 1928, S. 499—527.
 Sander Br., Carta geologica d'Italia 1:100.000, Blätter Meran und Brixen, und „Erläuterungen zur geolog. Karte Meran—Brixen“ in Schlernschriften Nr. 16. Innsbruck 1929.
 Schmidegg O., Geologische Spezialkarte, Blatt Sölden—St. Leonhard 1932.
 Schmidegg O., Steilachsige Tektonik und Schlingenbau auf der Südseite der Tiroler Zentralalpen. Jb. Geol. B.-A. Wien, 86, 1936, S. 117—149.
 Schwinner R., Die Konsequenz in der tektonischen Entwicklung. Erläutert am Gebirgsbau Europas. Rep. XVI. Intern. Geol. Congr. Preprint 1935.
 Schwinner R., Die Zentralzone der Ostalpen. In „Geologie der Ostmark“, herausg. v. F. X. Schaffer, Wien 1942 (Separata ausgeg. 1939).
 Schwinner R., Über den autochthonen (variskischen?) Untergrund am bayrischen Alpenrand. N. Jb. Beil. Bd. 84, Abt. B 1940, S. 117—128.
 Schwinner R., Seismik und tektonische Geologie der Jetztzeit. Zeitschr. Geophys. 17, 1941, S. 103—113.
 Schwinner R., Der Begriff der Konvektionsströmung in der Mechanik der Erde. Gerl. Beitr. z. Geophys. Bd. 58, 1941, S. 119—158.
 Spitz A., Nachgosauische Störungen am Ostrande der Nordkarawanken. Eine Vermutung. Verh. Geol. B.-A. Wien, 1919, S. 280—288.
 Wenk Ed., Beiträge zur Petrographie und Geologie des Silvrettakristallins. Schweiz. Min. Petrogr. Mitt. Bd. 14, 1934, S. 196—278.