

Zur Auffassung des westlichen Ostalpenrandes.¹⁾

VON H. P. CORNELIUS (Wien).

Zu den meist umstrittenen Problemen der alpinen Geologie gehört bekanntlich die Frage nach der Deutung der Grenze zwischen Ost- und Westalpen. Ohne auf ältere Anschauungen einzugehen, die heute nur mehr historisches Interesse haben, erwähne ich nur die beiden, um welche heute der Kampf geht. Es ist einmal die der Deckentheorie: nach ihr handelt es sich um einen reinen Erosionsrand von S gekommener Decken. Andererseits hat zuerst ROTHPLETZ²⁾ eine grosszügige Bewegung der Ost- über die Westalpen von E gegen W angenommen — eine Vorstellung, die in der Theorie der Alpenknickung von AMPFERER³⁾ und den rhätischen Bögen von SPITZ⁴⁾ ihren weiteren Ausbau gefunden hat.

Es handelt sich bei diesem Streit um die Bewegungsrichtung am Ostalpenwestrande um eine Frage von fundamentaler Bedeutung für die Auffassung des Gesamtbaues der Alpen. Demgemäss habe ich während meiner Aufnahmestätigkeit im Oberhalbsteiner Abschnitt des Ostalpenrandes zwischen dem Septimer und der Albula-Tschittazone mein besonderes Augenmerk dieser Frage zugewandt.

Die tektonische Gliederung des untersuchten Gebietes ist die folgende: Zu unterst liegt im N der Flysch des unteren Oberhalbsteins (Prätigaudecke ZYNDELS⁵⁾); darüber die Ophiolithmassen der Plattateildecke — an deren primärer Verknüpfung mit dem im S darunter hervortauchenden Malojagneis der Margnadecke ich auch heute unbedingt festhalte. Über diesen penninischen Elementen folgt der unterostalpine Deckenkomplex: zunächst die Massen jurassischer

¹⁾ Veröffentlicht mit Zustimmung der Geologischen Kommission der Schweizer Naturforschenden Gesellschaft. — Der Inhalt des Aufsatzes deckt sich im Wesentlichen mit dem eines am 8. I. 1928 vor der Geologischen Vereinigung in Frankfurt a. M. gehaltenen Vortrages.

²⁾ A. ROTHPLETZ, Geologische Alpenforschungen I. und II. München 1900/1905.

³⁾ O. AMPFERER und W. HAMMER, Geol. Querschnitt durch die Ostalpen vom Allgäu bis zum Gardasee. Jahrb. Geol. Reichsanst. Wien 1911.

Man vergleiche auch: B. SANDER, Zur Geologie der Zentralalpen; Jahrb. Geol. Bundesanstalt 1921; dort ist die Ost-Westbewegung als Folge schiefer Beanspruchung eines zuerst E-W-streichend angelegten Faltensystems zum ersten Mal mechanisch verständlich gemacht.

⁴⁾ A. SPITZ und G. DYHRENFURTH, Monographie der Engadiner Dolomiten zwischen Schuls, Scans und dem Stifserjoch. Beitr. z. Geol. Karte d. Schweiz, N. F. 44, 1914.

A. SPITZ, Fragmente zur Tektonik der Westalpen und des Engadins. IV. Die Umgebung von Scans und die Oberengadiner Bögen. Verh. Geol. Reichsanst. 1919.

⁵⁾ F. ZYNDEL, Über den Gebirgsbau Mittelbündens. Beitr. z. Geol. Karte d. Schweiz, N. F. 41, 1912.

Schiefer, Aptychenkalke, Hornsteine, die ich früher¹⁾ als „Schiefer-Hornsteinzone“ der Margnadecke zugerechnet habe. Nachdem ich nun aber an ihrer Basis vom Septimer bis Val d'Err immer wieder Trias- und krystalline Linsen feststellen konnte, muss ich mich der Auffassung von ARBENZ²⁾ und STAUB³⁾ anschliessen, dass hier eine selbständige — nach der Fazies unterostalpine — Decke vorliegt; nach dem Carungas in Val d'Err, den sie ganz aufbaut — die krystalline Gipfelkappe gehört ihrer durch Einwicklung verkehrt gelagerten Basis an — bezeichne ich sie als Carungasdecke. Darauf liegt die Errdecke und zuoberst die Berninadecke.

Bemerket sei der im Wesentlichen stetige Charakter fast der gesamten Tektonik, der naturgemäss in den tieferen Elementen besonders ausgeprägt ist; aber noch die Errdecke zeigt längs ihrem W- und N-Rand (und ebenso im Fenster der Val Bever) immer wieder Reste eines verkehrten Mittelschenkels; nichts wäre verfehlt, als hier von einer „Schollenüberschiebung“ zu reden! Erst von der Berninadecke (wenn man absieht von den aus Materialgründen un stetig umgeformten Dolomit- und z. T. Granitmassen in der Errdecke) gilt das Gesagte weniger.

Bezüglich der Bewegungsrichtung dieser Decken lässt uns leider das gewöhnlich zu deren Bestimmung angewandte Mittel im Stich: eine Stirnumbiegung gibt es innerhalb des untersuchten Gebietes nirgends (wenn man absieht von grösseren Detailfalten, wie der ENE streichenden Faltenstirn am Piz Mulix). Wir müssen uns also nach anderen Kriterien umsehen. Und da ist zunächst von einer auf den ersten Blick sehr auffallenden Erscheinung etwas eingehender zu reden.

Die Schubfläche der Errdecke — bezüglich der Carungasdecke gilt Ähnliches — ist nämlich durchaus nicht etwa eine glatte ebene Fläche, wie man sich eine Deckenbahn gewöhnlich vorstellt. Sondern es kann geradezu als Regel hingestellt werden, dass sie mit den liegenden Schiefen und Hornsteinen der Carungasdecke intensiv verzahnt ist. Teils handelt es sich dabei bloss um Einwickelungen dünner Keile von ein paar Metern Mächtigkeit und bis zu einigen 100 m Länge;

¹⁾ H. P. CORNELIUS, Vorl. Mitt. üb. geolog. Aufnahmen in der Piz d'Err-Gruppe. Beitr. z. Geol. Karte d. Schweiz, N. F. 50, III. Abt., 1923.

²⁾ P. ARBENZ, Zur Frage der Abgrenzung der penninischen und ostalpinen Decken in Mittelbünden. Verh. Schweiz. Naturf. Ges. Bern 1922.

³⁾ R. STAUB, Über die Verteilung der Serpentine in den alpinen Ophiolithen. Schweiz. Min.-Petr. Mitt. 1922.

R. STAUB, Der Bau der Alpen. Beitr. z. Geol. Karte d. Schweiz, N. F. 52, 1924 (p. 99—102). — Die Bezeichnung Albuladecke oder Sgrischus-Albuladecke für den fraglichen Komplex muss ich freilich ablehnen; denn unter der ersteren Bezeichnung wurden von ZYNDEL (a. a. O.) drei verschiedene tektonische Gebilde zusammengefasst, die nichts miteinander zu tun haben; und auch die Beziehungen zur Errdecke, die STAUB mit dem zweiten Namen zum Ausdruck bringen will, scheinen mir nach Beobachtungen am Piz Grevasalvas noch problematisch. Doch kann darauf an dieser Stelle nicht weiter eingegangen werden.

andere aber erreichen Ausmasse von mehreren km. Einwickelungen sind ja bereits von vielen Decken bekannt, aber vielleicht noch nirgends in so vielfacher Wiederholung wie hier.

Die Entstehung solcher Gebilde lässt sich nun auf zweierlei Weise deuten. Gewöhnlich führt man sie zurück auf einen sekundären Vorgang, der die bereits übereinanderliegenden Decken miteinander verfalltet hat: eine zweite Bewegungsphase. In sehr vielen Fällen wird dies zutreffen, insbesondere dann, wenn es sich um eine Verbiegung der Decke als Ganzes, eventl. eine gleichsinnige Verbiegung mehrerer Decken handelt. In den hier uns beschäftigenden Fällen aber betreffen die Verfalltungen nur eine mehr oder minder mächtige Gesteinsmasse in der Nachbarschaft der Deckengrenze. Und eine Schwierigkeit besonderer Art ergibt sich, wenn wir die Enden der eingewickelten Deckenteile nochmals über sich selbst zurückgedreht sehen, so dass es gewissermassen — wenn wir die einfache Einwickelung als Faltung 2. Potenz bezeichnen — zu Faltungen 3., ja auch 4. Potenz kommt. Es sind Gebilde, die ich nach ihrer geometrischen Form als Spiralfalten¹⁾ bezeichnen möchte. In kleinem Masstabe finden sich solche u. a. an der Basis der Carungasdecke S Val Natons; in grossem vor allem an der Rocabella, wo die schon lange bekannte Einwickelung der Errdecke bis in den Kern der einwickelnden Falte aus Jurasedimenten der Carungasdecke hinaufreicht; und die letztere setzt, ihrerseits unter sich selbst zurückgeschlagen, die Spirale noch fort.

Wollte man solche Gebilde nach der angedeuteten Weise erklären, so müsste man 3 und 4 tektonische Phasen annehmen, wobei es sehr auffallend wäre, dass die jeweils spätere immer gerade das Ende der eingewickelten Schichten wieder erfasst hätte. Das ist sehr unwahrscheinlich. So drängt sich die Vermutung auf, dass es sich hier vielmehr um eine Zusammenrollung handelt als Begleiterscheinung der tektonischen Hauptphase: des Deckenvorschubes selbst. Ich knüpfe damit an Gedanken an, die von SANDER und AMPFERER²⁾ geäussert worden sind.

Zur Gewissheit wird diese Vermutung durch eine weitere Überlegung. W. HÄFNER³⁾ hat für Nordbünden die Regel aufgestellt, dass dort, wo die Schubflächen verbogen sind, stets die Mächtigkeiten der einzelnen Decken in den Antiklinalzonen grösser sind, als in den Synklinalzonen. Diese „HÄFNER'sche Regel“ gilt nicht

¹⁾ Die Bezeichnung „Wirbel“ scheint mir in rein beschreibendem Sinne weniger geeignet.

²⁾ O. AMPFERER und B. SANDER, Über die tekton. Verknüpfung von Kalk- und Zentralalpen. Verh. Geol. Staatsanst. Wien 1920.

O. AMPFERER, Beiträge zur Auflösung der Mechanik der Alpen. Jahrb. Geol. Bundesanst. 73, 1923.

³⁾ W. HÄFNER, Geologie des südöstlichen Rätikon (zwischen Klosters und St. Antönien). Beitr. z. Geol. Karte d. Schweiz, N. F. 54/I, 1924.

nur für einfache Aufwölbungen, vielmehr habe ich sie in den meisten Fällen von Einwickelungen ebenfalls bestätigt gefunden, am schönsten wieder an der grossen Spiralfalte der Roccabella. Die Jurasedimente der Carungasdecke erreichen dort viele 100 m, während sie beiderseits auf viel geringere Beträge — N unter der Roccabella nur 8—10 m! — zusammenschrumpfen. Ja, es lässt sich vielfach die Beobachtung machen, dass in der Einwickelungszone zusammengestaucht Schichten auftreten, die der reduzierten Nachbarschaft überhaupt verloren gegangen sind. So sind in der Roccabella-Spiralfalte Aptychenkalk und Radiolarit in grosser Mächtigkeit entwickelt; gegen S unter dem Piz Grevasalvas fehlen sie ganz. Das wiederholt sich bei all den vielen kleinen Einwickelungen: man kann sicher darauf rechnen, in ihnen Radiolarit anzutreffen, auch wenn ringsherum die Schichtfolge unter der Errdecke nur bis zum Liasschiefer reicht.

Es ist nun wohl undenkbar, dass sich ein der Deckenbewegung folgender sekundärer Faltungsakt gerade nur an den Stellen betätigt haben sollte, wo zufällig in der Unterlage die jüngsten Schichten erhalten geblieben sind — zumal wenn sich diese durch keine mechanischen Besonderheiten auszeichnen. Die einzige einleuchtende Erklärung scheint mir vielmehr die, dass umgekehrt jene Schichten dort erhalten blieben, wo sich schon in einem verhältnismässig frühen Stadium der Deckenbewegung Unebenheiten¹⁾ in der Schubfläche gebildet hatten: Aufbiegungen, an denen sich naturgemäss das Material der unterlagernden Schichten, vor allem der obersten, anschoppen musste, das an den mit ihnen wechselnden Einbiegungen weggeschürft wurde²⁾. Im weiteren Fortgang der Bewegung mussten dann gerade diese Aufbiegungen immer schärfer ausgeprägt, zu Einwickelungen und eventl. Spiralfalten umgestaltet werden.

Der Einwand, dass eine derartig mit ihrer Unterlage verzahnte Decke zu keiner einheitlichen Bewegung mehr fähig sei, wäre nur dann stichhaltig, wenn es sich um eine un stetige Bewegung auf einer einzigen grossen Sohle handelte; eine solche kann natürlich nicht mehr funktionieren, wenn sie einmal stärker verbogen ist. Hier

¹⁾ Man vergleiche hiezu die Ausführungen von SCHWINNER (Scherung, der Zentralbegriff der Tektonik; Centralbl. f. Min. 1924, S. 469) und von RINNE (Über die Auslösung von Spannungen durch Wellengleitung; Centralbl. f. Min. 1926, Abt. B, S. 369); nach ihnen erscheint die Frage berechtigt, ob nicht die Grenzfläche verschieden schwerer bewegter Gesteine im gewellten Zustand stabiler ist als in flacher Lage.

²⁾ Es handelt sich da um einen Vorgang analog der von AMPFERER (Beiträge zur Auflösung der Mechanik der Alpen, 1. Fortsetzung; Jahrb. Geol. Bundesanst. Wien 74, 1924, S. 47 f.) beschriebenen Schirmwirkung von Schubmassen. Nur handelt es sich bei AMPFERER um Einsenkungen in der Unterlage der Schubmasse, welche sonst entfernte Schichten konserviert haben, hier dagegen um Unebenheiten der Schubfläche selbst. Die beiden Fälle liegen gewissermassen spiegelbildlich zueinander.

im Alpeninneren aber ist differentielle Verteilung der Bewegung auf zahllose Gleitflächen aus der intensiven Feinfältelung, der gleichmässigen Durchschieferung grosser Gesteinskomplexe unmittelbar abzulesen; das heisst aber, dass auch alle möglichen Schicht- und Schieferungsflächen ihren Anteil an der Gesamtbewegung übernommen haben. Diese Art der Bewegung ist aber mit dem Vorhandensein von Einwickelungen durchaus zu vereinbaren — wobei sich die letzteren mit dem Fortgang der Bewegung immer mehr ausprägen müssen; notwendige Voraussetzung ist nur, dass die Geschwindigkeit der hangenden Lagen grösser war als die der liegenden (SANDER).

Sind nun aber die erwähnten Einwickelungen als mechanische Begleiterscheinung der Deckenbewegung aufzufassen, so müssen sie in ihrem Verlauf von der Bewegungsrichtung abhängig sein: ihre Axen müssen ungefähr senkrecht zu dieser streichen, ebenso wie Stirnfalten (ziemlich beträchtliche Abweichungen nach beiden Seiten sind natürlich möglich). Wäre die Bewegung der unterostalpinen Decken im Oberhalbstein von E gegen W erfolgt, so müssten die Axen der Einwickelungen im Durchschnitt ungefähr N-S streichen. Tatsächlich entspricht dieser Richtung keine einzige dieser Axen; das Streichen aller ist vielmehr der E-W-Richtung genähert, mit Abweichungen bis etwa NE-SW nach der einen, ESE-WNW nach der anderen Seite. Wir können daraus also den Schluss ziehen: die Bewegung, zunächst der Errdecke, ist in nahezu S-N-Richtung vor sich gegangen.

Eine tektonische Bewegung mit differentieller Verteilung der Gleitflächen ist nun aber nicht möglich, ohne dass neben den Grossdeformationen auch eine Menge von Kleindeformationen daraus hervorgehen; und selbstverständlich müssen diese genau so wie jene in ihrer Richtung von der erzeugenden Bewegung bedingt sein. Die wichtigste derartige Kleindeformation ist nun die Fältelung. Wir können also aus der Richtung von Kleinfalten auf die Richtung der erzeugenden Grossbewegung schliessen, wenn wir die erstere in einer hinreichenden Anzahl von Fällen bestimmen und die Messungen statistisch verwerten. Ich habe dies Verfahren bereits vor 9 Jahren auf die Allgäuer Überschiebungsdecken angewandt¹⁾; für das Gebiet, um das es sich hier handelt, steht mir eine viel grössere Anzahl von Messungen zur Verfügung — über $\frac{3}{4}$ Tausend — wodurch gewisse Verbesserungen des Verfahrens ermöglicht werden. Insbesondere konnte ich das Gesamtgebiet in eine grössere Anzahl — 15 — von Einzelabschnitten zerlegen und jeden für sich der Statistik unterwerfen. Die Richtung der Deckenbewegung muss notwendigerweise über grössere Gebiete konstant bleiben; als Begleiterscheinung der Deckenbewegung müssen Kleinfalten in beträcht-

¹⁾ Zur Frage nach der Bewegungsrichtung der Allgäuer Überschiebungsdecken. Verh. Geol. Reichsanst. 1919.

licher Anzahl entstehen. Finden wir nun in einer grösseren Anzahl einzeln untersuchter Teilgebiete jeweils die nämliche Faltenrichtung in starker Vertretung wieder, so können wir dieselbe ohne weiteres mit dem regionalen Bewegungsvorgang, der das Gebiet betroffen hat, in Beziehung bringen, während Häufigkeitsmaxima abweichender Richtung, welche sich nur in einem Teil der Gebietsabschnitte finden, auf mehr oder minder lokale Phasen zurückzuführen sein werden.

Ohne hier auf das Verfahren weiter einzugehen, sei gleich das Ergebnis vorweggenommen. Dasselbe ist ganz eindeutig: in allen Gebietsabschnitten, im S am Septimer- wie im N am Albulapass — an der Basis der Bernina- oder Err- so gut wie an jener der Carungas- oder Plattadecke — überall treffen wir annähernd das gleiche Häufigkeitsmaximum wieder; über $\frac{2}{3}$ aller gemessenen Falten gehören ihm an. Es entspricht nahezu der Streichrichtung E-W — genau gesprochen im Mittel etwa N 80° E. Das entspricht einer nahezu süd-nördlichen Bewegung; und ich stehe nicht an, diese auf Grund der angeführten statistischen Ergebnisse für die primäre Bewegungsrichtung sämtlicher unterostalpiner Decken anzusehen.

Daneben gibt es noch eine Reihe von sekundären Maxima in einzelnen Teilgebieten. Ein solches in NE-SW-Richtung ist ziemlich verbreitet; und ganz im S, in den Bergen zwischen Septimer- und Julierpass, finden wir allgemein auch ein solches in N-S-Richtung. Aber die Intensität dieser Nebenmaxima ist gering — besonders wenn wir die Zahlen für das Gesamtgebiet vergleichen: die ca. N-S-streichenden Falten verhalten sich hier zu den ca. E-W streichenden der Menge nach etwa wie 1:22.

Man kann das Ergebnis also zusammenfassen: E-W-Beanspruchung ist in dem untersuchten Gebiet zwar nachweisbar, aber sie spielt quantitativ keine Rolle neben der in S-N-Richtung tätig gewesen. Es ist also auch unmöglich, irgend eine der unterostalpinen Decken aus E herzubeziehen; Bewegung von S gegen N ist in ihrem Bereich die einzig massgebende gewesen.

Damit ist gegen die Existenz der Alpenknickung an sich nichts ausgesagt: die NE-SW- und sogar N-S-streichenden Falten der Silvrettatrias wie der Unterengadiner Dolomiten lassen sich sehr gut in diesem Sinne deuten¹⁾. Aber in das unterostalpine Gebiet hat sie nicht nennenswert eingegriffen (wenigstens unmittelbar am Ostalpenwestrand);²⁾ sie kann sich nur in tektonischen Elementen aus-

¹⁾ Herrn Prof. W. SCHMIDT in Tübingen verdanke ich die Mitteilung seiner noch unveröffentlichten Beobachtungen über die Quarzgefügeregelung in Gesteinen der Silvrettabasis im Tilisunagebiet und Gargellenfenster: nach ihnen handelt es sich auch dort um fast reine Süd-nordbewegung! Wie dieser Befund mit dem gegen SW abgebeugten Streichen der Deckgebirgsfalten zu vereinbaren ist, lässt sich vorläufig noch nicht übersehen.

²⁾ Inwieweit bei manchen SW-NE streichenden Faltelementen (z. B. Einwicklung Castellins-Fuorcla Mulix; oder „Obere Tschittafalte“, vgl. a. a. O. 1923, p. 9) Knickung im Streichen eine Rolle spielt, inwieweit es sich um primäre

gewirkt haben, die einst über jenem lagen. Es gibt auch tatsächlich ein allerdings ganz vereinzelt Anzeichen, welches vielleicht in diesem Sinne gedeutet werden kann: in den isolierten Triaskappen des Piz Jenatsch und Piz Lavinè (Errdecke) streichen steilgestellte, von ihrer Unterlage abgescherte Triasschichten etwa NNE. Das ist am besten zu verstehen, wenn im Hangenden der Errdecke eine grössere Bewegung gegen WNW erfolgt ist, welche die genannte Trias abgeschert hat; leider ist deren räumliche Erstreckung zu gering, als dass man dem Vorkommen wirklich Beweiskraft im angedeuteten Sinne zubilligen könnte.

Bezüglich der zeitlichen Einordnung dieser Knickungsbewegung möchte ich mir einstweilen Zurückhaltung auferlegen. So verlockend es ist, sie mit WINKLER¹⁾ in Beziehung zur dinarischen Knickung zu bringen, so steht dem doch einstweilen die von ARBENZ²⁾ und seinen Schülern festgestellte Tatsache entgegen, dass in der Gegend von Bergün die S-N-Bewegungen jünger sind als die NW bis W gerichteten.

Manuskript eingegangen am 17. März 1928.

Richtungsänderungen handelt, möchte ich vorläufig nicht entscheiden. Angesichts der verhältnismässig geringen Erstreckung, auf welcher dies abgelenkte Streichen bekannt ist, scheint mir der zweiten Annahme vorläufig nichts im Wege zu stehen.

¹⁾ A. WINKLER, Die Bedeutung des Alpen-Dinariden-Problems für den Alpenbau. Jahrb. Geol. Bundesanst. 1927.

²⁾ P. ARBENZ, Über die Faltenrichtungen in der Silvrettadecke Mittelbündens. Ecl. Geol. Helv. 1920.