DIE GRUNDLAGEN DER DECKENTHEORIE IN DEN ALPEN

VON

DR. SERGE VON BUBNOFF

MIT 45 FIGUREN IM TEXT

STUTTGART 1921
E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Erwin Nägele)

E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Erwin Nägele) in Stuttgart.

Rothpletz, A., Ein geologischer Querschnitt durch die Ostalpen nebst Anhang über die sogenannte Glarner Doppelfalte. Mit 2 Tafeln und 115 Figuren. 8⁰.

Rothpletz, A., Geotektonische Probleme. Mit 107 Figuren und 10 Tafeln. 8⁰. (IV. 175 S.)

Rothpletz, A., Geologisch-paläontologische Monographie der Vilser Alpen, mit besonderer Berücksichtigung der Brachiopoden-Systematik. Mit 16 Tafeln und 1 Karte. 4⁰.

Broili, F., Die Fauna der Pachycardientuffe der Seiser Alp. Scaphopoden und Gastropoden. Mit 6 Tafeln.

Felix, Joh., Studien über die korallenführenden Schichten der oberen Kreideformation in den Alpen und den Mediterrangebieten. I. Teil: Die Anthozoen der Gosauschichten in den Ostalpen. Mit 8 Tafeln. 4⁰. 178 S.

— II. Teil: Die Kreideschichten bei Gosau. 88 S. Mit 2 Tafeln.

Frech, Fr. und **Wilhelm Volz,** Die Korallenfauna der Trias. I. Die Korallen der juvavischen Triasprovinz. Mit 21 Tafeln. 4⁰. 116 S.

II. Volz, Wilhelm, Die Korallen der Schichten von St. Cassian in Süd-Tirol. Mit 11 Tafeln und 49 Figuren. 4⁰. 124 S.

Salomon, Wilhelm, Geologische und paläontologische Studien über die Marmolata (mit Ausschluß der Gastropoden). 4⁰. 210 S. Mit 8 Tafeln und 14 Textfiguren.

Abel, O., Grundzüge der Paläobiologie der Wirbeltiere. Gr. 8⁰. 725 S. mit 470 Textfiguren.

Depéret, Ch., Die Umbildung der Tierwelt. Eine Einführung in die Entwicklungsgeschichte auf paläontologischer Grundlage. Übersetzt von R. N. Wegner. Kl. 8⁰. 330 S.

DIE GRUNDLAGEN DER DECKENTHEORIE IN DEN ALPEN

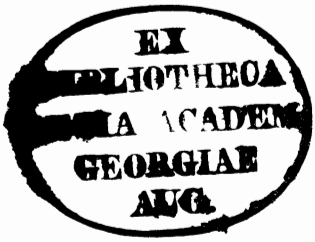
VON

DR. SERGE VON BUBNOFF

MIT 45 FIGUREN IM TEXT

STUTTGART 1921
E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Erwin Nägele)

Alle Rechte, besonders das der Übersetzung, vorbehalten.



Druck der Stuttgarter Vereins-Buchdruckerei.

Inhaltsverzeichnis.

Seite

Vorwort 5

Literatur 7

I. Einleitung 15

II. Die Gliederung der Alpen 23

1. Die Westalpen 23
2. Die Grenzregion der Ostalpen 37
3. Die Ostalpen 42
4. Das Alter des Deckenbaues 53

III. Die lokaltektonische Kritik 55

1. Die Freiburger Alpen 56
2. Das Simplonproblem 62
3. Das geotektonische Problem der Glarner Alpen 67
4. Die ostalpine Grenze und die Ost-West-Bewegungen 71
   a) Allgemeines 71
   b) Die Rothpletz'sche Theorie des Ost-West-Schubes . . . 80
   c) Das Ampferer'sche Querprofil durch die Ostalpen . . . 81
5. Das Problem des Tauernfensters 85
6. Das Wurzelproblem und die alpino-dinarische Grenze 89
7. Das Problem der exotischen Blöcke 97

IV. Die fazielle Kritik und die Theorie der Geosynklinale . . 99

V. Die geophysikalische Kritik 110

1. Ampferer's Kritik der Kontraktionstheorie und der Überfaltungsdecken 111
2. Andere geophysikalische Theorien 121
   a) Die Mylius'sche Theorie der kurzen Schübe 122
   b) Ampferer's Theorie der Unterströmung und Verschluckung 124
   c) Die thermische oder Expansionstheorie 127

VI. Synthetische Betrachtungen 133

1. Argand's Synthese des westalpinen Bogens 133
2. Rollier's Synthese der Westalpen 140
3. Heritsch's Bauformel der Ostalpen 142

VII. Zusammenfassung 145

Vorwort.

In einem Siegeszug ohnegleichen hat die geniale Konzeption Schardt's und Lugeon's in den letzten 20 Jahren von der alpinen Geologie Besitz ergriffen. Von der jüngeren Generation begeistert auf den Schild gehoben, von den Älteren unter dem Zwang der Tatsachen willig oder widerwillig anerkannt, beherrscht sie heute die Methoden der Alpenforschung. Und das ist kein Wunder: zeigte sie doch als erste, wie man das Chaos der alpinen Tektonik zu einem übersichtlichen Ganzen ordnen kann und wie man an ihrem Ariadnefaden sicher und leicht durch das Labyrinth der alpinen Erscheinungsformen hindurchzuschreiten imstande ist. Gar manchen Widerstand, manche Kritik hat die Deckentheorie spielend überwunden und so mag es vielen scheinen, der Kampf um ihr Bestehen hätte ausgetobt, sie wäre zu dem gesicherten Bestand unseres Wissens geworden. Dem ist aber wohl nicht ganz so; nicht alle kritischen Stimmen sind verstummt, zu Ende ist der Kampf noch nicht, er hat sich nur verschoben. Freilich, an dem Bestehen großer, ja sehr großer Überfaltungen zweifelt heute wohl niemand mehr, der sich mit den Alpen beschäftigt hat; doch ist damit noch nicht alles gesagt, denn die Deckentheorie will ja mehr als diese Erkenntnis geben. Sie erstrebt ein einheitliches Bild des Gebirgsbaues und eine bestimmte Verknüpfung der uns sichtbaren Tektonik der Oberfläche mit der Stratigraphie und mit der Lehre von den geophysikalischen Grundbedingungen der Bewegungsformen der Erde. Diese Einheitlichkeit, diese Verknüpfungen stehen aber noch zur Diskussion. Freilich, die Zeit genialer Phantasien hat die Deckentheorie überwunden; an ihre Stelle ist die exakte Einzelforschung getreten und es ist erstaunlich, welche Fülle an Wissen und Erkenntnis uns diese im Lichte der Deckentheorie ausgeführte Forschung übermittelt hat. Aber, wie alle Theorien, läuft auch die Deckentheorie Gefahr, wenn einmal anerkannt, sich hypertrophisch nach einer Seite hin zu entwickeln, ihr Grundprinzip als das allein seligmachende zu proklamieren und so den Tatsachen Zwang anzutun.

Diese Gefahr, neben der Unmöglichkeit, das riesige Gebiet der Spezialliteratur zu bewältigen, ist es, die dem Fernerstehenden

das Studium der Alpengeologie heute so erschwert. An Zusammenfassungen der Ergebnisse fehlt es freilich nicht; doch haben diese Eines gemeinsam: sie gehen bewußt oder unbewußt von einer bestimmten Konzeption aus, der sie die Tatsachen unterordnen; daher vermag auch der, welcher sich nicht speziell mit dem Thema beschäftigt hat, schwer zu entscheiden, wie groß der Wahrheitsgehalt der einzelnen vorgebrachten Tatsachenverknüpfungen ist, was sicher feststeht und was noch des Beweises bedarf. Die kritischen Gegenäußerungen kommen in allen diesen Arbeiten etwas zu kurz; oft werden sie ganz übergangen, oft mit ein paar Worten ohne eingehende Begründung abgetan. Da sie außerdem verstreut und unzusammenhängend erschienen sind und kein einheitliches Gegenbild aufgestellt haben, so fällt es oft schwer, ohne eingehendes Einzelstudium Sicheres von Unsicherem zu scheiden und zu erkennen, was gegen verschiedene einzelne oder allgemeine Behauptungen gesagt worden ist oder gesagt werden kann.

Der Verfasser, welcher zu anderen Zwecken einen großen Teil der neueren alpinen Literatur durchsehen mußte, hat es daher versucht, diese Lücke auszufüllen und eine solche Zusammenstellung zu liefern. Der Schwierigkeiten, die einer solchen objektiven Darstellung gegenüberstehen, ist er sich dabei voll bewußt. Doch kommt es ihm nicht darauf an, eigene Ansichten zu verfechten, und das Buch richtet sich daher auch weniger an den Kreis der Alpengeologen, denen es wenig Neues bieten dürfte, als an die große Menge aller derer, denen es an Zeit und Möglichkeit gebricht, sich aus eigener Anschauung oder aus der Spezialliteratur ein eigenes Bild vom gegenwärtigen Stand der Alpengeologie zu schaffen. Dieses Buch soll keine fertige Ansicht, sondern die Grundlagen liefern, um sich eine solche zu bilden. Neben der Schilderung der Deckenlehre steht hier daher die Zusammenfassung der Kritik und die Darstellung der Methoden im Vordergrund des Interesses. Und wenn es dem Verfasser gelungen sein sollte, das zu liefern, ein möglichst objektives Bild vom gegenwärtigen Stand der Deckenlehre zu entwerfen und dadurch das Interesse an diesem wichtigen Kapitel der Geologie zu fördern, so ist der Zweck dieses Buches erreicht.

Literatur.

Es ist natürlich unmöglich, hier eine vollständige Übersicht der neueren ungeheuren alpinen Literatur zu geben. Daher werden im folgenden nur die wichtigsten zusammenfassenden Arbeiten und diejenigen Spezialarbeiten erwähnt, die in der Darstellung benützt wurden und die eine wichtigere prinzipielle Bedeutung besitzen. Die Übersicht ist nach dem Stoff in 10 Abschnitte geordnet; die Abschnitte sind mit römischen Zahlen I—X bezeichnet. In jedem Abschnitt sind die Arbeiten alphabetisch geordnet und mit arabischen Ziffern numeriert; so sind auch die Angaben im Text zu verstehen (z. B. VI 3). Der Übersichtlichkeit halber mußten einige Arbeiten in mehreren Abschnitten wiederholt erwähnt werden.

Übersichten über die gesamte geologische Literatur der Schweiz gibt jährlich Ch. Sarasin in Eclogae geol. helvet.

Die geologische Literatur der Ostalpen hat F. Heritsch neuerdings zusammengestellt (Verzeichnis der geologischen Literatur der österreichischen Alpen Leoben 1914).[1])

I. Allgemeine Literatur.

1) P. Arbenz. Der Deckenbau der Alpen. Mitteil. naturf. Ges. Bern 1916.
2) C. Diener. Der Gebirgsbau der Westalpen. Wien 1891.
3) C. Diener. Bau und Bild der österreichischen Alpen. Wien 1903. Mit Übersichtskarte und Literatur.
4) Fr. Frech. Über den Gebirgsbau der Alpen. Petermanns geographische Mitteilungen. 1908.
5) Albert Heim. Der Bau der Schweizer Alpen. Neujahrsblatt naturf. Ges. Zürich 1908.
6) Alb. Heim. Geologie der Schweiz. Leipzig (im Erscheinen).
7) F. Heritsch. Das Alter des Deckenschubes in den Ostalpen. Sitzb. Bd. CXXI. 1912.
8) F. Heritsch. Die österreichischen und deutschen Alpen bis zur alpinodinarischen Grenze (Ostalpen). Handbuch der region. Geologie. 1915.
9) L. Kober. Über Bau und Entstehung der Ostalpen. Mitteil. geolog. Gesell. Wien. Bd. IV. 1912.
10) M. Lugeon. Les grandes nappes de recouvrement des Alpes du Chablais et de la Suisse. Bull. 1901.

[1]) Abkürzungen: Beitr. = Beiträge zur geolog. Karte der Schweiz; Ecl. = Eclogae geol. helvet.; Bull. = Bulletin de la société géologique de France; Jahrb. = Jahrbuch der k. k. geolog. Reichsanstalt, Wien; Verh. = Verhandlungen der k. k. Reichsanstalt, Wien; C. R. = Comptes rendus de l'académie de sciences; Sitzb. = Sitzungsberichte Akademie der Wissenschaft, Wien; Z. d. g. G. = Zeitschr. der deutschen geol. Ges.; Geol. R. = Geologische Rundschau; Viertelj. = Vierteljahrschrift der naturf. Gesell. Zürich.

11) M. Lugeon. Les grandes nappes de recouvrement des Alpes suisses. Comptes rendus IX Congrés internat. Wien 1903.
12) L. Rollier. La genèse des Alpes. Actes société jurassique d'émulation. 1915.
13) F. Sacco. Les alpes occidentales. Turin 1913.
14) H. Schardt. Die modernen Anschauungen über den Bau und die Entstehung des Alpengebirges. Verhandl. schweiz. naturf. Ges. 1906.
15) C. Schmidt. Bild und Bau der schweizer Alpen. 1907.
16) G. Steinmann. Geologische Probleme des Alpengebirges. Zeitschr. deutsch-österr. Alpenverein. Bd. 37. 1906.
17) E. Suess. Antlitz der Erde. Bd. III. 2. Wien 1909.
18) P. Termier. Les nappes des Alpes orientales et la synthèse des Alpes. Bull. 4 série. Vol. III. 1904.
19) V. Uhlig. Der Deckenbau der Ostalpen. Mitteil. geol. Ges. Wien 1909.
20) O. Wilckens. Der Deckenbau der Alpen. Fortschr. d. Naturw. Forschung. 1914.

Als Übersichtskarte kann die internationale geolog. Karte von Europa 1 : 1500000, Blatt 31, 31 (CV und DV) dienen.

II. Französische Alpen.

1) E. Argand. Les nappes de recouvrement des Alpes occidentales et des territoires environnants. Beitr. Neue Folge. 28. 1911. Karte!
2) M. Bertrand. Etudes dans les Alpes françaises. Bull. 1894.
3) M. Bertrand et W. Kilian. Alpes du Dauphiné et Mt. Blanc. Livret guide Congrès intern. 1900.
4) L. Bertrand. Sur les grandes lignes de la géologie de la partie alpine des alpes maritimes. Bull. IV serie, Vol. II, 1904.
5) W. Kilian. Les phénomènes de charriage dans les alpes delphino-provençales. Comptes rendus IX congrès internat. Wien 1903.
6) W. Kilian et G. Révil. Etudes géologiques dans les alpes occidentales. Mémoires service carte géol. France. 1904, 1908.
7) E. Haug. Les grands charriages de l'Embrunais et de l'Ubaye. Comptes rendus IX congrès intern. Wien 1903.
8) F. Sacco. Les Alpes occidentales. Turin 1913. Übersichtskarte!
9) E. Haug. Les nappes de charriage de l'Embrunais et de l'Ubaye et leur faciès caractéristiques. Bull. IV série, Vol. 12, 1912.
10) P. Termier. Massif de Pelvoux et Briançonnais. Livret guide congrès intern. 1900.
11) P. Termier. Quatre coupes a travers les alpes franco-italiennes. Bull. IV série, Vol. 2, 1902.
12) P. Termier. Sur la necessité d'une nouvelle interprétation de la tectonique des Alpes franco-italiennes. Bull. IV série, Vol. 7, 1907.
13) P. Termier. Rapports tectoniques de l'Apennin, des Alpes et des Dinarides. Bull. 1907.
14) O. Wilckens. Vom Grenzgebiet von Alpen und Appenin. Geol. R. IV. 1913.

Außer den Karten in 1 und 9 siehe Carez et Wasseur. Carte géologique de France 1 : 500000, 1905.

III. Penninische Zone.

1) E. Argand. Les nappes de recouvrement des Alpes Pennines et leurs prolongements structuraux. Beitr. N. Folge. 31. 1911.

2) E. Argand. Sur l'arc des Alpes occidentales. Ecl. XIV. 1916.
3) H. Arndt. Petrographische Studien in den Kontaktzonen der Gneiße und Kalksteine im Simplongebiet. Jahresber. schlesischer vaterl. Kultur. 1913.
4) H. Preiswerk. Zur Altersfrage der Granite im Simplongebiet. Ecl. XIII. 1914.
5) A. Rothpletz. Beiträge zur Stratigraphie und Tektonik des Simplongebietes. Z. d. g. G. Bd. 66. 1914.
6) C. Schmidt. Über die Geologie des Simplongebietes und die Tektonik der Schweizeralpen. Ecl. IX. 1907.
7) C. Schmidt und H. Preiswerk. Erläuterungen zur geol. Karte der Simplongruppe. 1 : 50 000. 1908.

IV. Freiburger Alpen.

1) F. Jaccard. La région de la brêche de la Hornfluh. Bull. du Labor. géol. Lausanne 1904.
2) F. Jaccard. La région Rubli-Gummfluh (Préalpes médianes). Bull. Soc. Vaud. sciences natur. 43. 1907.
3) A. Jeannet. Monographie géologique des Tours d'Aï et des régions avoisinnantes. Beitr. N. Folge. 34. 1912.
4) M. Lugeon. Les grandes nappes de recouvrement des Alpes du Chablais et de la Suisse. Bull. 1901.
5) A. Rothpletz. Geologische Alpenforschungen. III. Die Nord- und Süd-Überschiebungen in den Freiburger Alpen. München 1908.
6) Ch. Sarasin. Quelques remarques sur les préalpes internes a propos d'une publication récente de M. Rothpletz. Ecl. X. 1908.
7) H. Schardt. Origine des préalpes romandes. Ecl. IV. 1893.
8) H. Schardt. Les régions exotiques du versant nord des Alpes suisses leurs relations avec l'origine des blocs et des brêches exotiques et la formation du Flysch. Bull. Soc. vaud. sciences nat. 34. 1898.
9) H. Schardt. Sur l'origine des préalpes romandes. Arch. Sc. ph. et nat. Genève. 30. 1903.
10) O. Wilckens. Neue Arbeiten über die Voralpen zwischen Genfer und Thuner See. Geol. R. III. 1912.

V. Zentralalpen und Glarner Alpen.

1) P. Arbenz und W. Staub. Die Wurzelregion der helvetischen Decken im Hinterrheintal und die Überschiebung der Bündnerschiefer südlich von Bonaduz. Vierteljahrschr. nat. Ges. Zürich. 55. 1910.
2) P. Arbenz. Der Gebirgsbau der Zentralschweiz. Verhandl. schweiz. nat. Ges. 95. 1912.
3) P. Arbenz. Der Faltenbogen der Zentral- und Ostschweiz. Vierteljahrschr. nat. Ges. Zürich. 58. 1913.
4) M. Bertrand. Rapports de structure des Alpes de Glaris et du Bassin houillier du Nord. Bull. III série, 12. 1884.
5) A. Buxtorf. Zur Tektonik der zentralschweizer Kalkalpen. Z. d. g. G. 1908.
6) A. Buxtorf. Über die Geologie der Doldenhorn-Fisistock-Gruppe und den Gebirgsbau am Nordende des Aarmassivs. Verh. nat. Ges. Basel. 20. 1909.
7) A. Buxtorf. Geolog. Karte des Bürgenstocks, 1 : 25 000. 1910.
8) A. Buxtorf. Geol. Karte der Rigihochfluhkette, 1 : 25 000. 1916.
9) Alb. Heim. Geologie der Hochalpen zwischen Reuß und Rhein. Beitr. 25. 1891.

10) Alb. Heim, M. Jerosch, E. Blumer, Ar. Heim. Das Säntisgebirge. Beitr. N. Folge. 16. 1905.
11) Arn. Heim. Zur Kenntnis der Glarner Überfaltungsdecken. Z. d. g. G. 57. 1905.
12) Arn. Heim. Die Erscheinung der Längszerreißung und Abrutschung am nordschweizerischen Alpenrand. Viertelj. 51. 1906.
13) Arn. Heim. Die Brandung der Alpen am Nagelfluhgebirge. Viertelj. 51. 1906.
14) Arn. Heim und J. Oberholzer. Geolog. Karte der Gebirge am Walensee, 1 : 25000. Beitr. Spezialkarte Nr. 44. 1903—1906.
15) Arn. Heim. Über die Stratigraphie der autochthonen Kreide und des Eocäns am Kistenpaß. Beitr. N. Folge. 24. 1910.
16) Arn. Heim. Zur Tektonik des Flysches in den östl. schweiz. Alpen. Beitr. 31. 1911.
17) Arn. Heim. Monographie der Churfirsten-Mattstock-Gruppe. Beitr. 22. 1910, 1913, 1916.
18) M. Lugeon. Carte géolog. des Hautes Alpes Calcaires entre la Lizerne et la Kander. Beitr. 30. 1910.
19) Hugo Mylius. Geologische Forschungen an der Grenze zwischen Ost- und Westalpen. II. Teil. 1913.
20) J. Oberholzer. Die Überfaltungsdecken auf der Westseite des Linthtales. Ecl. 10. 1908.
21) J. Oberholzer und Alb. Heim. Geol. Karte der Glarner Alpen, 1 : 50000. 1908.
22) W. Paulcke. Geol. Beobachtungen im helvetischen und lepontinischen Gebiet. Geol. R. 1916.
23) A. Rothpletz. Das geotektonische Problem der Glarner Alpen. Jena 1898.
24) W. Staub. Geol. Beschreibung der Gebirge zwischen Schächental und Maderanertal im Kanton Uri. Beitr. 32. 1911.

Als Übersichtskarte kann dienen: Alb. Heim und C. Schmidt. Geol. Karte der Schweiz 1 : 500000. 2. Auflage, 1911.

Weitere Literatur siehe in den einzelnen Abschnitten von Alb. Heim: Geologie der Schweiz. II. Band.

VI. Graubünden und die ostalpine Grenze.

1) O. Ampferer und W. Hammer. Geol. Querschnitt durch die Ostalpen vom Allgäu zum Gardasee. Jahrb. 61. 1911.
2) P. Arbenz und W. Staub. Die Wurzelregion der helvetischen Decken im Hinterrheintal und die Überschiebung der Bündnerschiefer südlich von Bonaduz. Viertelj. 55. 1910.
3) P. Arbenz. Der Faltenbogen der Zentral- und Ostschweiz. Viertelj. 58. 1913.
4) H. P. Cornelius. Über die Stratigraphie und die Tektonik der sedimentären Zone von Samaden. Beitr. 45. 1914.
5) H. P. Cornelius. Petrogr. Untersuchungen in den Bergen zwischen Septimer und Julierpaß. Neues Jahrb. f. Min. Beil. Bd. 35. 1912.
6) H. Meyer. Geolog. Untersuchungen am Nordostrande des Silvrettamassivs im südl. Graubünden. Ber. Nat. Ges. Freiburg i. Br. 17. 1909.
7) H. Meyer und O. Welter. Zur Geologie des südl. Graubündens. Z. d. g. G. 1910.

8) H. Mylius. Geol. Forschungen an der Grenze zwischen Ost- und Westalpen. I und II. München 1912, 1913.
9) W. Paulcke. Beitrag zur Geologie des „Unterengadiner Fensters". Verhandl. des nat. Ver. Karlsruhe. 23. 1910.
10) A. Rothpletz. Geologische Alpenforschungen. I, II. Das Grenzgebiet zwischen den Ost- und Westalpen und die rhätische Überschiebung. München 1900, 1905.
11) W. v. Seidlitz. Geol. Untersuchungen im östlichen Rhätikon. Ber. Nat. Ges. Freiburg i. Br. 16. 1906.
12) W. v. Seidlitz. Schollenfenster im Vorarlberger Rhätikon und im Fürstentum Liechtenstein. Mitt. geol. Ges. Wien. 4. 1911.
13) W. v. Seidlitz. Die Grenze zwischen Ost- und Westalpen. Jenaische Zeitschrift f. Naturwiss. 56. 1920.
14) A. Spitz und G. Dyhrenfurth. Ducan-Gruppe und die rhätischen Bögen. Ecl. 12. 1913.
15) A. Spitz und G. Dyhrenfurth. Monographie der Engadiner Dolomiten zwischen Schuls, Scanfs und dem Stilfserjoch. Beitr. 44. 1915.
16) R. Staub. Zur Tektonik des Berninagebirges. Viertelj. 58. 1913.
17) R. Staub. Petrograph. Untersuchungen im westlichen Berninagebirge. Viertelj. 60. 1915.
18) R. Staub. Zur Tektonik der südöstlichen Schweizeralpen. Beitr. 46. 1916.
19) R. Staub. Tektonische Studien im östlichen Berninagebirge. Viertelj. 61. 1916.
20) R. Staub. Zur Geologie von Oberengadin und Puschlav. Ecl. 14. 1916.
21) R. Staub. Das Äquivalent der Dentblanchedecke in Bünden. Viertelj. 62. 1917.
22) R. Staub. Über Faziesverteilung und Orogenese in den südöstl. Schweizer Alpen. Beitr. 46. 1917.
23) R. Staub. Über das Längsprofil Graubündens. Heim-Festschrift. Viertelj. 64. 1919.
24) R. Staub. Neuere Ergebnisse der geologischen Erforschung Graubündens. Ecl. geol. helv. Vol. XVI. 1920.
25) G. Steinmann. Die Schardt'sche Überfaltungstheorie und die geologische Bedeutung der Tiefenabsätze und der ophiolithischen Massengesteine. Ber. Nat. Ges. Freiburg i. Br. 16. 1905.
26) Ch. Tarnuzzer. Geologische Übersicht von Graubünden. Der Klubführer (S. A. C.). 1915.
27) P. Termier. Sur la fenêtre de la basse Engadin. C. R. 1904.
28) D. Trümpy. Die Tektonik der unteren ostalpinen Decken Graubündens. Viertelj. 58. 1913.
29) O. Wilckens. Neue Fortschritte in der geol. Erforschung Graubündens. Geol. R. III. 1912.
30) O. Wilckens. Das Oberengadiner Gebirge, seine Schicht- und Eruptivgesteine, sowie die Wurzeln seiner Überschiebungsdecken. Geol. R. 1917.
31) F. Zyndel. Über den Gebirgsbau Mittelbündens. Beitr. 41. 1912.

VII. Ostalpen.

1) F. Becke und V. Uhlig. Bericht über geologische und petrographische Untersuchungen am Ostrand des Hochalmkernes. Sitzb. 118. 1909.
2) C. Diener. Bau und Bild der Ostalpen und des Karstgebietes. Wien 1903.

3) F. F. Hahn. Ergebnisse neuer Spezialforschungen in den deutschen Alpen. I. Allgäu. Geol. R. 1911. Literatur!
4) F. F. Hahn. Ergebnisse neuer Spezialforschungen in den deutschen Alpen. III. Die Kalkalpen Südbayerns. Geol. R. 1914. Literatur!
5) F. Heritsch. Die Hohen Tauern. Geol. R. 1912. Literatur!
6) F. Heritsch. Das ostalpine Gebirge im Süden und Norden der Tauern. Geol. R. 1912.
7) F. Heritsch. Das Gebirge östlich von dem Radstätter Tauern und vom Katschberg. Geol. R. 1912.
8) F. Heritsch. Die Anwendung der Deckentheorie auf die Ostalpen. 1, 2, 3. Geol. R. 1914.
9) F. Heritsch. Die Bauformel der Ostalpen. Neues Jahrb. f. Min. 1915.
10) F. Heritsch. Die österreichischen und deutschen Alpen bis zur alpino-dinarischen Grenze. Handb. region. Geol. 1915.
11) F. Heritsch. Fossilien aus der Schieferhülle der Hohen Tauern. Verh. 1919. Nr. 6.
12) L. Kober. Über Bau und Entstehung der Ostalpen. Mitteil. geol. Ges. Wien 1912.
13) Cl. Lebling. Ergebnisse neuer Spezialforschungen in den deutschen Alpen. Kreideschichten der Voralpenzone. Geol. R. 1912.
14) Br. Sander. Vorläufige Mitteilungen über Beobachtungen am Westende der Hohen Tauern und in dessen weiterer Umgebung. Verh. 1909.
15) Br. Sander. Zur Systematik zentralalpiner Decken. Verh. 1910.
16) Br. Sander. Geologische Studien am Westende der Hohen Tauern. Denkschr. Akademie. Wien. 82. 1911.
17) Br. Sander. Verh. 1913.
18) E. Suess. Antlitz der Erde. III, 2, S. 167 u. ff.
19) P. Termier. Sur la synthèse geologique des Alpes orientales. C. R. 137.
20) P. Termier. Sur la structure des Hohe Tauern. C. R. 137.
21) V. Uhlig. Zweiter Bericht über geotektonische Untersuchungen in der Radstätter Tauern. Sitzb. 117. 1908.
22) V. Uhlig. Der Deckenbau in den Ostalpen. Mitt. geol. Ges. Wien. 2. 1909.

VIII. Das Wurzelproblem und die alpino-dinarische Grenze.

1) P. Arbenz und W. Staub. Die Wurzelregion der helvetischen Decken im Hinterrheintal und die Überschiebung der Bündnerschiefer südlich von Bonaduz. Viertelj. 55. 1910.
2) E. Argand. Sur la racine de la nappe rhétique. Beitr. 24. 1910.
3) E. Argand. Les nappes de recouvrement des Alpes pennines et leurs prolongements structuraux. Beitr. 31. 1911.
4) H. P. Cornelius. Zur Kenntnis der Wurzelregion im unteren Veltlin. N. Jahrb. f. Min. Beil.-Bd. 40. 1915.
5) E. Haug. Sur les Nappes des Alpes orientales et leurs racines. C. R. 148. 1909.
6) E. Haug. Sur les racines des nappes supérieures des Alpes occidentales. C. R. 148. 1909.
7) G. Henny. Sur quelques conséquences de la rectification de la limite alpino-dinarique dans les environs du massif de l'Adamello. Ecl. 14. 1916.
8) L Kober. Alpen und Dinariden. Geol. R. 1914.

9) M. Lugeon. Les grandes nappes de recouvrement e. t. c. Siehe I 10.
10) M. Lugeon et G. Henny. La limite alpino-dinarique dans les environs du massif de l'Adamello. C. R. 160. 1915.
11) M. Lugeon et G. Henny. Sur la zone du Canavèse et la limite méridionale des Alpes. C. R. 160. 1915.
12) H. Rassmuss. Beiträge zur Stratigraphie und Tektonik der südöstlichen Alta Brianza. Geol. und Paläont. Abhandl. 1912.
13) H. Rassmuss. Der Gebirgsbau der lombardischen Alpen. Z. d. g. G. 1913.
14) W. Salomon. Über Alter, Lagerungsform und Entstehungsart der periadriatischen granitischkörnigen Massen. Tschermaks miner. und petr. Mitteil. 1897.
15) W. Salomon. Die alpino-dinarische Grenze. Verh. 1905.
16) W. Salomon. Die Adamellogruppe. Abhandl. Reichsanstalt Wien. 21. 1908.
17) C. Schmidt. Über die Geologie des Simplongebietes und die Tektonik der Schweizer Alpen. Ecl. 9. 1906.
18) R. Schwinner. Dinariden und Alpen. Geol. R. 1915.
19) R. Staub. Das Äquivalent der Dentblanchedecke in Bünden. Viertelj. 1917.
20) R. Staub. Zur Geologie des Oberengadin und Puschlav. Ecl. 14. 1916.
21) P. Termier. Les nappes des Alpes orientales et la synthèse des Alpes. Bull. 1904.
22) O. Wilckens. Wo liegen in den Alpen die Wurzeln der Überschiebungsdecken? Geol. R. 1911.

IX. Faziesprobleme und Geosynklinale.

1) P. Arbenz. Probleme der Sedimentation und ihre Beziehungen zur Gebirgsbildung in den Alpen. Festschrift Alb. Heim. 1919.
2) E. Argand. Sur l'arc des Alpes occidentales. Ecl. 14. 1916.
3) E. Dacqué. Grundlagen und Methoden der Paläogeographie. Jena 1915.
4) W. Deecke. Die alpine Geosynklinale. Neues Jahrb. f. Min. Beil.-Bd. 33. 1912.
5) W. Deecke. Die Struktur der Mittelschweiz. Z. d. g. G. 69. 1917.
6) W. Deecke. Die Trias der Schweizer Alpen und damit zusammenhängende Fragen. Zentralbl. f. Min. 1917.
7) J. Hall. Natural history of New York. Palaeontology. Vol. III. Albany. 1859.
8) E. Haug. Les géosynclinaux et les aires continentales. Bull. 3 série, 28. 1900.
9) E. Haug. Les géosynclinaux de la chaine alpine pendant les temps secondaires. C. R. 1909.
10) Arn. Heim. Über die Stratigraphie der autochthonen Kreide und des Eocän am Kistenpaß. Beitr. 24. 1910.
11) Arn. Heim. Monographie der Churfirsten-Mattstock-Gruppe. Beitr. 20. 1910, 1913, 1916.
12) Arn. Heim. Über Abwickelung und Faziezusammenhänge in den Decken der nördl. Schweizeralpen. Viertelj. 1916.
13) K. Hummel. Theoretisches zur Faziesverteilung in den Alpen. Z. d. g. G. 71. 1919.

X. Geophysikalische Probleme und Synthesen.

1) Frank D. Adams. An experimental contribution to the question of the depth of the zone of flow in the earths crust. Journ. of Geol. 20. 1912.
2) O. Ampferer. Über das Bewegungsbild von Faltengebirgen. Jahrb. 56. 1906.

3) O. Ampferer und W. Hammer. Geol. Querschnitt durch die Ostalpen vom Allgäu zum Gardasee. Jahrb. 61. 1911.
4) K. Andrée. Über die Bedingungen der Gebirgsbildung. Berlin 1914.
5) E. Argand. Sur l'arc des Alpes occidentales. Ecl. 14. 1916.
6) E. Dacqué. Grundlagen und Methoden der Paläogeographie. Jena 1915.
7) Alb. Heim. Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung. 1878.
8) F. Heritsch. Die Bauformel der Ostalpen. N. Jahrb. f. Min. 1915.
9) C. R. van Hise. Metamorphism of rocks and rock flowage. Bull. of the Geol. soc. of Amerika. 1889.
10) R. Lachmann. Über den Bau alpiner Gebirge. Z. d. g. G. 65. 1913.
11) H. Mylius. Geologische Forschungen an der Grenze der Ost- und Westalpen. II. Teil. 1913.
12) A. Penck. Die Entstehung der Alpen. Zeitschr. der Ges. f. Erdkunde. 1908.
13) M. Reade. The origin of Mountain Ranges considered experimentally, structurally, dynamically and in relation to their geological history. London 1886.
14) E. Reyer. Ursachen der Deformationen und der Gebirgsbildung. Leipzig 1892.
15) E. Reyer. Geologische Prinzipienfragen. Leipzig 1907.
16) L. Rollier. La genèse des Alpes. Actes soc. jurass. d'émulation. 1915.
17) A. Rothpletz. Über die Möglichkeit, den Gegensatz zwischen der Kontraktions- und Expansionstheorie aufzuheben. Sitzb. bayrische Ak. d. W. 32. 1902.
18) H. Schardt. Entstehungsweise der Faltendecken. Actes soc. helv. sciences nat. 1908.
19) G. Tammann. Kristallisieren und Schmelzen, ein Beitrag zur Lehre der Änderungen des Aggregatzustandes. Leipzig 1903.
20) G. Tammann. Über die Änderungen des Aggregatzustandes bei der Abkühlung eines Weltkörpers. Verh. der permanenten seism. Komiss. der Ak. d. Wiss. St. Petersburg 1903.
21) P. Termier. Sur la genèse des terrains cristallophylliens. Comptes rendus congr. internat. 1910. Fasc. II. Stockholm 1912.

I. Einleitung.

Die Deckentheorie ist die Lehre von den großen Massenverfrachtungen.

In der Frühzeit der Geologie zweifelte man nicht daran, daß sich alle Gesteine an ihre Bildungsstätte und in ihrem ursprünglichen Verband nach oben und unten befinden. Wo sie im Gebirge die ursprüngliche horizontale Lagerung verlassen hatten, da waren es Hebungen, wohl auch lokale Zusammendrängungen, welche die Komplikationen bewirkten. Die Verbindung nach unten, die regelmäßige Aufeinanderfolge älterer und jüngerer Schichten mußte gewahrt bleiben. Die Gesteine waren autochthon.

Die Untersuchungen Escher's und Alb. Heim's (X 7) haben zum ersten Male in der Schweiz Überlagerungen jüngerer Gesteine durch älterere kennen gelehrt, liegende Falten, die eine mehrfache Wiederholung der gleichen Schichtenfolge in vertikaler Richtung hervorbrachten. So wie sie jetzt liegen, konnten diese Gesteine unmöglich abgelagert worden sein, sie mußten sich in horizontaler Richtung bewegt haben, sie „schwammen" auf fremder Unterlage, waren wurzellos oder allochthon.

Doch bewegten sich diese Verfrachtungen in immerhin bescheidenen Grenzen. Großen Bewegungen ging man dergestalt aus dem Wege, daß man annahm, die Bewegungen hätten in mehreren Richtungen, gegeneinander stattgefunden; so glaubte man diese liegenden Falten stets noch nach rückwärts, bis zu ihrer „Wurzel" bequem verfolgen zu können.

Aber schon früh äußerten M. Bertrand und E. Suess eine andere Ansicht, die eine einheitliche, weitgehende Bewegung aus einer Richtung voraussetzte (V 4). 1893 hat Schardt diese Auffassung zum ersten Male zusammenfassend für die Freiburger Alpen entwickelt (IV 7). In den Glarner Alpen kam Rothpletz ungefähr zu gleicher Zeit ebenfalls zu der Annahme großer Massenverfrachtungen. Doch fand das zunächst wenig Beachtung. Erst 1901—1904 gelang es Lugeon in einer genialen Synthese der Lehre von den Massenverfrachtungen Bahn zu brechen (I 10, 11).

Die faltende Bewegung in den Alpen ist einheitlich und geht von Süden nach Norden. Nur einige Teile der Zentralalpen sind noch autochthon; was nördlich von ihnen liegt, schwimmt auf jüngerer Unterlage und bildet ein Paket von Schichten, die ursprünglich viel weiter im Süden abgelagert wurden und dann nach Norden über die Massive hinübergewandert sind. So erklärt sich die Überlagerung junger Schichten durch ältere, so erklärt sich das Neben- und Übereinander gleichalter, aber verschieden ausgebildeter Gesteine; — ihre Ablagerungsbezirke waren ursprünglich weit getrennt, erst der tektonische Zusammenschub hat sie aneinander gebracht. Das ist die Grundanschauung der Deckentheorie, welche den Schlüssel zum Verständnis des Alpenbaues liefern soll.

Zunächst scheint es geboten, wenigstens kurz den Mechanismus dieses Vorganges kennen zu lernen. Auf Einzelheiten brauche ich hier nicht einzugehen — man findet diese in jedem Lehrbuch der tektonischen und allgemeinen Geologie[1]) — doch erscheint die Erörterung einiger Grundbegriffe nützlich, um sich von vornherein über das Folgende zu verständigen.

Es ist klar, daß eine horizontale Bewegung, also die Anwesenheit einer Kraft mit bedeutender horizontaler — man sagt im Hinblick auf die Erdkugel auch tangentialer — Komponente eine Vorbedingung dieses Prozesses ist. Die Beschaffenheit dieser Kraft braucht uns zunächst nicht zu beschäftigen. Wichtig ist dagegen ihre Intensität und die Art ihrer Einwirkung. Führt nämlich diese nur eine schwache Wellung der Oberfläche herbei, so bleiben die Oberflächenschichten in vollkommenem Zusammenhang mit ihrer Unterlage — sie sind in strengstem Sinne autochthon. Sehen wir dagegen an der Oberfläche intensiv zusammengefaltete Schichten, insbesondere Gewölbe, deren Schenkel parallel stehen oder gegeneinander einfallen (Fächerstruktur), so ist es ohne weiteres klar, daß solche Schichtenkomplexe bis zu einem gewissen Grade von der Unterlage losgelöst sind (Fig. 1); das wird immer dort zutreffen, wo das Grundgebirge am Aufbau der innersten Gewölbekerne nicht mehr beteiligt ist. Dieser Fall ist recht häufig; er tritt besonders dann ein, wenn eine plastische Unterlage (Tone, Salze) selbständige Bewegungen des „Oberbaues“ ermöglicht hat (Abscherungen). Dabei sind

[1]) A. Tornquist. Geologie, 1916; O. Wilckens, Grundzüge der tektonischen Geologie. Jena 1912.

zwei Möglichkeiten gegeben: entweder wurde die Unterlage garnicht gefaltet und die Kraft hat nur oberflächlich gewirkt, oder sie wurde infolge anderer Beschaffenheit auf andere Weise zusammengestaut. Ein Profil des Kettenjura, nach Buxtorf als gefaltete Abscherungsdecke gedeutet, mag die erste Möglichkeit erläutern (Fig.2). In beiden Fällen ist es notwendig, daß Oberbau und Unterlage durch eine Bewegungsfläche getrennt werden[1]). Die so aus der Faltung hervorgehende Lostrennung der oberen Schichten ist allerdings nur eine bedingte Allochthonie, denn ein weiter horizontaler Transport braucht damit noch keineswegs verbunden zu sein. Von einer Wurzellosigkeit ist hier noch nicht die Rede; diese tritt erst ein, wenn ein ursprünglich neben oder unter anderen liegender Schichtenkomplex über dieselben geschoben worden ist.

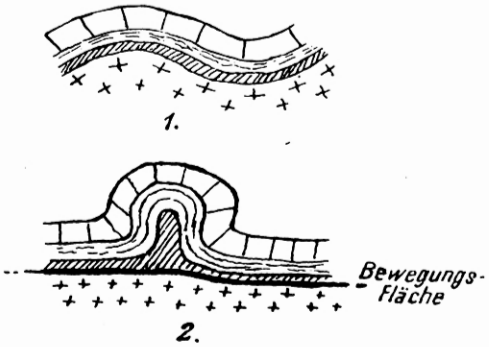


Fig. 1. Wurzelnde und 2. abgescherte Falte.

Das ist auf dreierlei Weise möglich:

1. Wird eine fächerförmige Falte so weit an den Schenkeln ausgequetscht, daß sie schließlich entweder nur mit einem schmalen

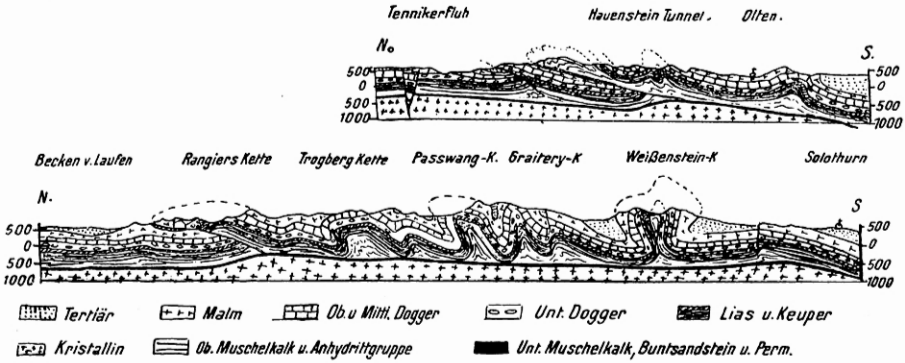


Fig. 2. Der Faltenjura als gefaltete Abscherungsdecke über einem ungefalteten Untergrund aufgefaßt. Nach Buxtorf.

[1]) Auf diese eigentlich selbstverständlichen Grundbedingungen der Faltung hat zuerst Ampferer mit aller Schärfe hingewiesen (X 2, 3).

Stiel, oder garnicht mehr im Zusammenhang mit dem Untergrund steht; ihr Scheitel erscheint schließlich als wurzellose Masse über fremder Unterlage und besitzt keinerlei Verknüpfung nach den Seiten (Fig. 3). Solche „Pilzfalten“ nahm man früher zur Erklärung der Lagerung in den Freiburger Alpen an. Sichere Beweise für einen solchen Vorgang sind mir kaum bekannt.

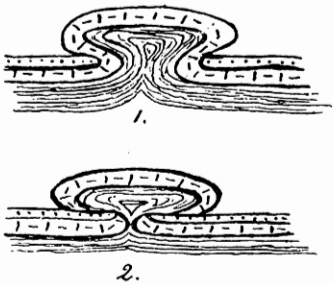


Fig. 3. Pilzfalte mit 1. erhaltenem und 2. ausgepreßtem Stiel.

2. Eine antiklinale Aufwölbung wird bei weiterer Drucksteigerung zu einer isoklinalen Falte und legt sich schließlich nach einer Seite über ihr Vorland. Besteht sie von unten nach oben aus den Schichten a, b, c, so wiederholt sich nun diese Folge dreimal übereinander und zwar im mittleren Teil in verkehrter Lage: a, b, c; c, b, a; a, b, c (Fig. 4). Dieser „verkehrte Mittelschenkel“ wird bei weiterer Pressung durch den Druck der auflagernden Serie stark ausgedünnt, „ausgewalzt“, und kann, wenn die Fortbewegung lange andauert, ganz verschwinden. Dagegen erscheint der Gewölbescheitel, weil er in der Ausweichungsrichtung der sich faltenden Schichten liegt, oft durch ein Zuströmen plastischer Massen verdickt und diese Verdickung kann auch nach der Überkippung anhalten (Fig. 5). So entwickelt sich eine Überfaltungsdecke aus einer liegenden Falte und je nach der Stärke des Zusammenschubes sind hier alle Übergänge möglich und in der Natur auch verwirklicht. Es ist — darauf sei noch besonders hingewiesen — durchaus nicht notwendig, daß bei der Deckenbildung stets ältere Schichten über jüngere zu liegen kommen. Infolge verschiedener Faltungsart verschiedener Schichten oder vorhergehender Erosion, können im Resultat auch jüngere Schichten über ältere zu liegen kommen, welche ihnen aber nicht ursprünglich zugeordnet sind und durch eine tektonische Diskordanz (im Gegensatz zur primären oder sedimentären Diskordanz) von ihnen getrennt sind. Die Erkennung solcher Diskordanzen ist zuweilen recht schwierig (Fig. 6; vergleiche auch Fig. 17). Für die Ausbildung der Bewegungsfläche

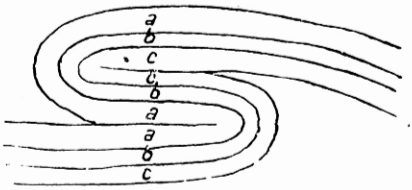


Fig. 4. Liegende Falte.

spielen weiche, plastische Schichten als „Schmiermittel“ eine große Rolle.

Innerhalb einer ausgebildeten Faltendecke kann man drei verschieden gebaute Partieen unterscheiden (Fig. 7): a) den Ausgangspunkt, an dem sich zuerst die Falte entwickelte; es ist das einzige schmale Stück, wo die Decke noch mit ihrer primären Unterlage in ursprünglichem Verband steht; diese „Wurzeln“ müssen entsprechend der angenommenen Entstehungsart eine steile isoklinale Lagerung aufweisen, mit nach unten geschlossenen Synklinalen und dazwischen liegenden antiklinalen Streifen, die, bei fortgeschrittener Erosion, nach oben offen sind, da ja die Gewölbeumbiegungen oder Charniere weit nach vorne transportiert worden sind; b) der mittlere Teil einer Decke zeigt, sofern man ihr Schwimmen auf fremder Unterlage nicht beobachten kann, kaum Unterschiede gegenüber einer flach gelagerten oder nur mäßig gefalteten Scholle. Dieser Teil kann ganz flach liegen, oder eine allgemeine Aufwölbung besitzen (Deckenschild — carapace), oder sekundär gefaltet sein; c) der vordere Rand einer Decke — ihre Stirn, zeigt, soweit er von der Erosion verschont wurde, die antiklinale Umbiegung — das Charnier. Der Verlauf dieses Charniers ist der sicherste Hinweis auf die Bewegungsrichtung der Decke (senkrecht zum Streichen), welche in den mittleren Teilen oft schwer zu ermitteln ist. Dabei kann das Charnier entweder nach unten abgebogen sein (Tauchdecke) (Fig. 7a), oder gegen vorne an einem Hindernis aufbranden (Fig. 7b).

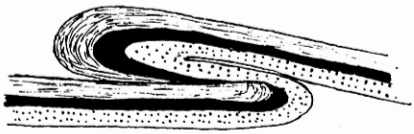


Fig. 5. Deckfalte mit verdickter Stirn und ausgewalztem Mittelschenkel.

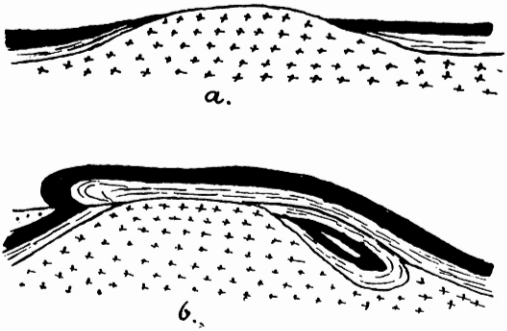


Fig. 6. Entstehung einer tektonisechen Diskordanz. Das kristalline Massiv lag schon vor der Faltung frei (a). Infolge der Auswalzung des Mittelschenkels legen sich die höchsten Schichten der Decke direkt auf das kristalline, aber auch auf die jüngeren Schichten des Vorlandes.

Eine Decke kann sich verzweigen und in mehrere Teildecken zerfallen, die sich nach hinten, gegen die Wurzel, wieder zu einer

Stammdecke vereinigen. Insbesondere können durch weiche Schichten getrennte Komplexe in sich besonders verfaltet sein und Zweigdecken bilden. So besteht die Decke des Säntis nur aus Kreide; die dazu gehörigen tieferen Schichten sind weiter im Süden zurückgeblieben oder in tiefere Decken eingeschlossen. Das ist bedeutsam, wenn man die Decken abwickeln will, das heißt ihre ursprüngliche Lagerung hintereinander und das Maß des Zusammenschubes berechnen. Außer den Ausquetschungen der Mittelschenkel hat man eben dieses Zurückbleiben der Kerne zu berücksichtigen, um nicht zu übertriebenen Resultaten zu gelangen. (Fig. 8, IX 12).

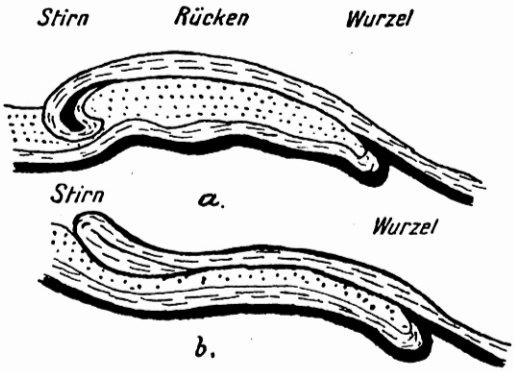


Fig. 7. Decke a) mit tauchender, b) mit brandender Stirn.

Liegen mehrere Überfaltungsdecken übereinander, so scheint gewöhnlich die höhere die tiefere ganz zu überdecken und mithin am weitesten gefördert zu sein. Jedoch ist es keineswegs sicher, daß die obere Decke dann auch die jüngste ist; sehr häufig scheinen sich die tieferen Decken erst unter dem Druck der aufliegenden Massen zu bilden, diese dann in ihre Faltung einbeziehend. Dann kann die höhere Decke stellenweise unter die ursprünglich tiefere zu liegen kommen, was man als Deckeneinwickelung bezeichnet (Fig. 9).

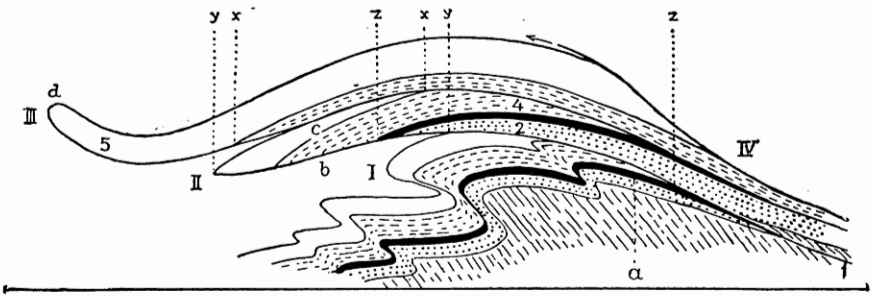


Fig. 8. Schema mehrfacher Überdeckung nach Arn. Heim. Zeigt die Abschürfung einzelner Schichtglieder und das Zurückbleiben der Kerne. — 1—5: Normale Schichtenfolge. — x—x, y—y, z—z: Zusammengehörige Stellen, durch die Deckenbildung auseinandergerissen. — I—III: Einzelne Decken. — Die zu 4 und 5 in III gehörenden Schichten 3 und 2 sind in der Decke II, Schicht 1 in der Decke I zurückgeblieben.

Die Auflagerungsfläche einer Decke auf ihre neue Unterlage braucht keine Ebene zu sein; auch im Streichen kann die „Deckenaxe“ steigen und fallen. Die Decke kann auch im Streichen ausklingen — dann konvergieren Stirn- und Wurzelregion nach der Seite. Auch kann eine Decke durch eine höhere oder tiefere Zweigdecke im Streichen ersetzt werden.

Fig. 9. Schema einer Deckeneinwickelung.

3. Eine dritte Entstehungsmöglichkeit wurzelloser Massen liefern einfache Überschiebungen; diese werden vor allem dann einsetzen, wenn sprödere Gesteinsmassen einem Seitendruck unterworfen sind. Eine Faltung ist in diesem Fall kaum möglich; gleich zu Anfang bildet sich eine Kluft aus, längs der, zunächst steil in die Höhe gehend, dann sich flach legend, ein Gesteinspaket über das andere gleitet. Wie Schuppen liegen dann die einzelnen Schollen übereinander. Die inversen Bestandteile (Mittelschenkel) fehlen hier von vornherein. Auch Wurzeln in dem Sinne, wie er bei den Faltendecken gebraucht wurde, fehlen hier, denn entweder gehen die Decken nach hinten direkt in ihr autochthones Hinterland über, oder sie bilden, im Falle wiederholten Zerbrechens, beiderseits losgelöste Schollen. Auch eine Stirn im früheren Sinne ist nicht vorhanden. Nach Ampferer spielen solche Decken in den nördlichen Ostalpen eine wichtige Rolle (X 3); hier überdecken im Gegensatz zu Fall 2 die höheren Decken die tieferen nicht vollkommen, sondern ihr Vorderrand bleibt gegen jene zurück (Fig. 10; vergleiche auch

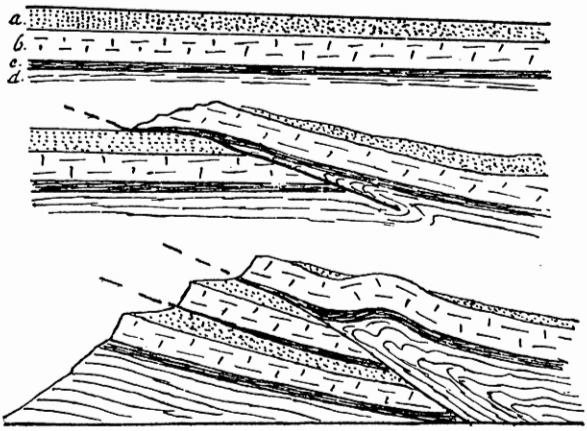


Fig. 10. Einfache und doppelte Schollenüberschiebung (Schuppenbildung), begünstigt durch eine Unterlagerung der harten Kalke (b) durch einen weichen, knetbaren Tonkomplex (c—d).

Fig. 24). Auch solche Decken können im Streichen ausklingen; nach Heritsch gehen sie dann in einfache, sich steil stellende Verwerfungen über, an denen kaum eine seitliche Verschiebung eingetreten ist; sie besitzen gleichsam „Aufhängepunkte".

Der Zusammenhang der Decken wird später durch Erosion zerstört; insbesondere ist die Verbindung mit den Wurzeln nur selten erhalten. Ist eine Decke so weit angeschnitten, daß unter ihr die autochthone Unterlage oder eine tiefere Decke zum Vorschein kommt, so spricht man von einem „Fenster". Ist die höhere Decke so weit zerstört, daß nur einzelne Reste auf fremder Unterlage schwimmen, so werden diese als Klippen bezeichnet (Fig. 11; vergleiche auch Fig. 20).

Indem ich nun zur Anwendung dieses Mechanismus auf die Alpen übergehe, möchte ich den Stoff folgendermaßen gliedern.

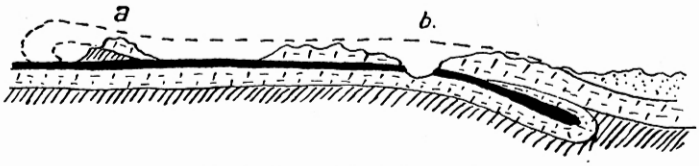


Fig. 11. Klippe (a) und Fenster (b).

Zunächst soll ein Überblick über die Alpen im Lichte der Deckenlehre gegeben werden. Dieser Teil bildet die Grundlage für die folgenden, enthält sich aber zunächst der Kritik. Diese ist den späteren Abschnitten vorbehalten.

Eine Kritik kann von lokaltektonischen und von allgemeinen Gesichtspunkten ausgehen. Die ersten vollständig zu schildern ist natürlich kaum möglich; hier sollen einige charakteristische und wichtige Probleme herausgegriffen werden, an Hand derer gezeigt werden kann, was vom lokaltektonischen Gesichtspunkt gegen die Deckentheorie vorgebracht worden ist und wie sie verschiedenen Schwierigkeiten zu begegnen sucht.

Die allgemeine Kritik kann von zwei Gesichtspunkten ausgehen:

1. Eine der Stützen der Deckentheorie liegt in dem Nachweis, daß die großen Massenverfrachtungen Gesteine von verschiedener Ausbildung (Fazies) nebeneinander gebracht haben, welche ursprünglich nicht nebeneinander gelegen haben können. In dem Nachweis

einer gegenteiligen Möglichkeit liegt ein wichtiger Einwand. Das ist die fazielle Kritik.

2. Es kann der Nachweis versucht werden, daß die Theorie großer Massenverfrachtungen vom geophysikalischen Standpunkt aus unmöglich ist — die geophysikalische Kritik.

In diese drei Gebiete soll daher ein Einblick gewährt werden. Zum Schluß bringe ich dann als Beispiel einige synthetische Versuche der Erklärung der Alpenentstehung, die teils auf die Deckentheorie zurückgehen, teils andere Gesichtspunkte in den Vordergrund stellen. Ihre Kritik an Hand der gewonnenen Resultate zeigt am besten den heutigen Stand des Problems.

II. Die Gliederung der Alpen.

(Vergleiche hierzu Karte Fig. 12).

1. Die Westalpen.

Es ist nicht meine Absicht, hier eine ausführliche Erörterung der Einzelheiten des Deckenbaues und eine Aufzählung der zahllosen Einzeldecken zu bringen. Wer sich dafür interessiert, sei auf die neueren Zusammenstellungen verwiesen, die im Literaturverzeichnis angeführt sind (vergleiche insbesondere 16, 20). Mir kommt es nur darauf an, den allgemeinen Bauplan aufzuzeigen, den die Deckentheorie dem Aufbau der Alpen zugrunde legt.

Bei einer zusammenfassenden Behandlung des Alpenbogens von der ligurischen Küste bis zum Becken von Wien muß eine wichtige Tatsache gleich zu Anfang betont werden: es ist der Unterschied zwischen den West- und Ostalpen. Gesteinsausbildung, Zonenfolge, tektonischer Habitus offenbaren beiderseits des Oberrheins ein ganz verschiedenes Bild; es kommt hinzu, daß die Einzeldurchforschung der Westalpen viel weiter gediehen ist, und daß der von hier ausgegangenen Deckentheorie im Westen schon eine viel weitergehende Durchdringung des Stoffes gelungen ist. Diese Eigentümlichkeiten müssen sich in der Art der synthetischen Behandlung widerspiegeln; während eine Synthese der Westalpen auf der Grundlage der Deckentheorie leicht zu geben ist, stößt man in den weniger bekannten Ostalpen auf zahlreiche Schwierigkeiten. Um diesen Verschiedenheiten gerecht zu werden, möchte ich im folgenden so vorgehen, daß ich den Aufbau der Westalpen direkt auf der Grundlage der Deckentheorie schildere, in den

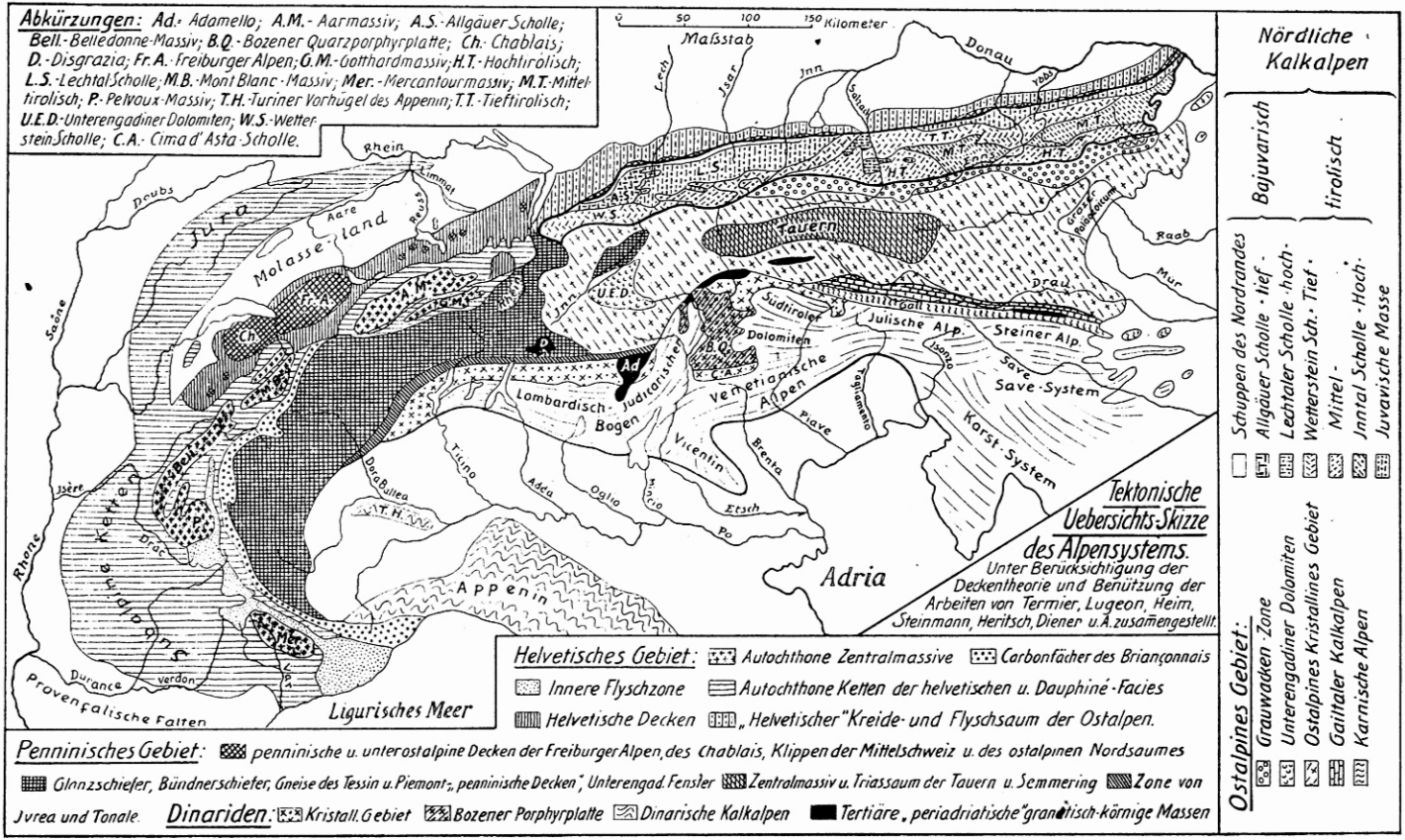


Fig. 12. Übersichtskarte der Alpen.

Ostalpen dagegen zuerst ein rein empirisches Bild entwerfe, um dann seine Deutung durch die Deckentheorie zu liefern.

Für den Aufbau der Westalpen ist die Lage und der Verlauf der autochthonen kristallinen Zentralmassive bedeutsam. Diese bilden keine zusammenhängende Zone wie in den Ostalpen, sondern eine Reihe einzelner von einem mesozoischen Mantel umhüllter Kerne, deren bogenförmige Anordnung den allgemeinen Bogen der Westalpen von der ligurischen Küste bis zum Rheintal widerspiegelt. Die Gebiete nördlich und südlich (bzw. westlich und östlich in den französischen Alpen) dieser Kerne sind in ihrer Gesteinsbildung und ihrer Tektonik verschieden. Faziell kann man das mannigfaltige mesozoische Gebiet im Norden und Westen — die helvetisch-delphinische Fazies — gut von dem penninischen

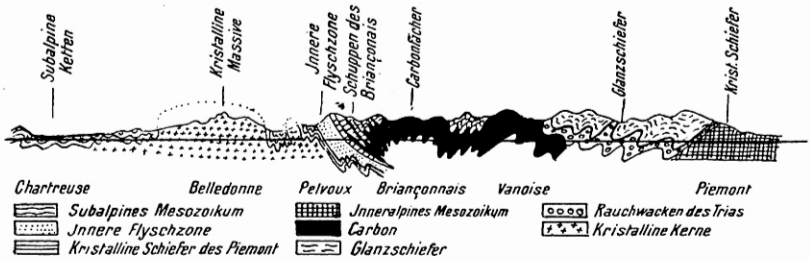


Fig. 13. Schematischer Querschnitt durch die Westalpen. Nach P. Termier. Überhöht.

Schiefergebiet im Süden — der penninischen Fazies — unterscheiden. Ein Deckenbau wird für beide Gebiete angenommen; doch ist man neuerdings geneigt, die penninischen Decken als die eigentlich aktiven anzusehen, während man die helvetischen als eine Sekundärerscheinung, durch die Deckenbildung des penninischen Gebietes ausgelöst, betrachtet.

Um den Zusammenhang der Tektonik zu verstehen, geht man am besten von einem Querprofil durch die verhältnismäßig einfach gebauten französischen Alpen aus (Fig. 13), etwa in der Gegend zwischen Grenoble und Turin.

Bei Grenoble durchbricht das Isèretal, welches bis dahin dem NO-Streichen des Gebirges parallel verlief, die äußeren Ketten der Alpen in einer engen Klus und erreicht die von tertiären Sedimenten erfüllte Rhoneebene. Diese äußeren Ketten von Jura und Kreide sind verhältnismäßig einfach gebaut und erinnern an die Tektonik des Juragebirges, in welches sie nördlich von Chambéry direkt übergehn. Es ist die Subalpine Region, welche von

hier bis zum Mittelmeer fortsetzt. Östlich von der Isère fangen die eigentlichen Alpen an; unter einem Saum von Jura und Trias erscheinen die kristallinen schneebedeckten Massive von Grandes Rousses und Belledonne, in denen eingeklemmte, von Mesozoikum diskordant überlagerte Fetzen von Karbon die ältere paläozoische Bewegung anzeigen. Diese Massive sind, wie gesagt, für die westlichen Alpen charakteristisch; sie bilden im Streichen des Gebirges liegende, oval ausgezogene Massen, die wie „Mandeln im Teig“ mesozoischer Sedimente lagern, denn ihre Erstreckung im Streichen ist nicht groß und sie verschwinden nach Nord und Süd bald unter der mesozoischen Hülle, die in weiterem Verlauf wieder einem neuen Massiv Platz macht. Das Emporsteigen und Untertauchen der kristallinen Axen bedingt somit eine quer zum Gebirgsverlauf gerichtete Wellung („Aires de surélévation et d'ennoyage“ der französischen Geologen). Man kann zwei hintereinander gereihte streichende Zonen solcher „mandelförmiger Massive“ unterscheiden: außen die kristallinen Schiefer der Belledonne und der Grandes Rousses, innen, durch eine mesozoische Querdepression davon getrennt, das Massiv von Pelvoux im Dauphiné, die elliptische Masse von Mercantour in den Meeresalpen, das Massiv des Montblanc in Savoyen. Zwischen Belledonne und Pelvoux liegen tief eingepreßte, fast isoklinale und nach Westen übergelegte Falten von Trias und Jura als Reste der früher die Massive überdeckenden Hülle.

Auch östlich vom Granitmassiv des Pelvoux erscheint der mesozoische Saum wieder in enge Falten gelegt; weiter im Norden, wo das Massiv untertaucht, verbindet er sich mit dem westlichen Saum.

Weiter im Osten liegt Flysch — eocäne und oligocäne Gesteine, ein Zeichen dafür, daß dieses ganze Gebiet noch im Tertiär unter Meeresniveau lag. Es ist ein hier nur schmales synklinales Band, welches im Norden bis an den Südostrand des Montblanc, gegen Süden bis an das Meer reicht; man nennt es die innere Flyschzone oder die Zone der Aiguille d'Arve. Was weiter im Osten liegt, ist über die Flyschzone, d. h. nach Westen überschoben. Es handelt sich dabei zunächst um Trias und Juraschuppen, die aber eine andere Fazies besitzen wie weiter im Westen, und dann um ebenfalls nach Westen übergelegte Falten von Perm und Karbon, welches hier, im Gegensatz zum Außenrande, kaum eine Diskordanz gegen das Mesozoikum zeigt. Von hier an nach Osten wechselt die Richtung des Einfallens und die östlichen Teile des Karbons nebst eingeklemmten mesozoischen Synklinalen sind gegen Osten

überfaltet. So bildet das Karbon einen großen Faltenfächer — den Fächer des Briançonnais —, der auch vom Meere bis zum Rhonetal (Sitten) reicht. Der fächerförmige Bau ist wohl als Folge der Stauung an den westlichen kristallinen Massiven aufzufassen. Der Fächer ist nicht symmetrisch, denn die Überfaltungen nach Westen sind viel intensiver; Termier (II 12) vermutet sogar, daß Mesozoikum und Karbon auf weiten Strecken in mehreren Decken dem Flysch der inneren Zone auflagern. Durch eine punktierte Linie unter dem Profil (Fig. 13) ist das angedeutet. Diesen Deckenbau erschließt man aus der Fortsetzung gegen Norden, wo er in den Walliser Alpen viel deutlicher und gewaltiger auftritt. Klippen der nur weiter im Osten bekannten Glanzschiefer über dem Karbon und Mesozoikum des Briançonnais machen das Vorhandensein einer höheren, weit aus dem Osten überschobenen Decke wahrscheinlich, die über den ganzen Karbonfächer herübergewandert sein muß.

Die Überfaltungen nach Osten sind viel schwächer, wenn sie auch von hier ziemlich uneingeschränkt bis zum Rande der piemontesischen Ebene vorwalten.

Dieses Gebiet östlich vom Karbonfächer ist wiederum durch eine andere Ausbildung der Gesteine gekennzeichnet. Jura und Kreide erscheinen in der Fazies der Glanzschiefer (Schistes lustrées) — stark metamorpher, serizitischer seidenglänzender Schiefer, die lange für paläozoisch gehalten wurden, bis einige Fossilfunde ihr überwiegend jurassisches Alter sicherstellten. Mit ihnen treten mächtige Serpentine und andere Abkömmlinge basischer Intrusivgesteine auf, die längs dem ganzen Südrande der Alpen eine große Rolle spielen und weiter im Norden als wichtiger Leithorizont eines gewissen Deckenkomplexes angesehen werden. Die Trias wird von Rauchwacken und Gipsen gebildet, unter denen kristalline Schiefer und Gneiße in großer Mächtigkeit auftreten; zum Teil werden diese als metamorphe Äquivalente des Perms und Karbons vom Briançonnais aufgefaßt.

Mit diesen nach Osten übergelegten Falten der piemontesischen Zone ist der Innenrand der Alpen erreicht und in der Poebene sieht man nur schwach oder garnicht gefaltete jungtertiäre Sedimente, mächtiges Diluvium und junge Alluvionen.

Sehen wir nun, wie sich diese verschiedenen Zonen nach Süden fortsetzen (Vergleiche Übersichtskarte Fig. 12). Die subalpinen Jura und Kreideketten der äußeren Zone sind am ganzen Außenrande zu verfolgen. Sie lenken weiter im Süden in ein

Ost-West-Streichen über, scheinbar durch das alte Massiv der Maures und die anschließenden nach Norden bewegten provençalischen Ketten abgelenkt, dann richten sie sich am unteren Var wieder nach Süden und erreichen bei Nizza das Meer, bzw. den Rand der tyrrhenischen Senke. Ziemlich regelmäßiger Faltenbau und einfache Schuppenstruktur bleiben dieser Zone treu. Daß die kristallinen Massive, insbesondere Pelvoux, gegen Süden untertauchen und im Mercantour wieder in die Höhe kommen, wurde bereits erwähnt. Enge Falten und Schuppen von Mesozoikum umgeben dieses; ein Sporn triadischer Gesteine verlängert es nach Süden (Sporn der Vésubie-Nebenfluß des Var) und zeigt komplizierte Faltungserscheinungen. Überfaltungen nach Westen herrschen vor; östlich von Nizza schwenkt das Streichen wieder in Ost-West um. Der Sporn ist hier die Grenze zwischen der helvetischen und der inneralpinen (Briançonnais) Fazies. Die Änderung des Streichens ist eine Folge des Vordringens der weiter im Norden durch den Mercantour gestauten Falten.

In der Depression zwischen Pelvoux und Mercantour dringt die innere Flyschzone, wie durch eine Pforte gezwängt, weit gegen Westen vor und erlangt eine große Verbreitung. Schollen von inneralpinem Mesozoikum sind ihr aufgelagert. Es ist das Deckengebiet von Ubaye und Embruns. Weit gegen Westen sind hier, wo der Widerstand der kristallinen Massive fehlte, inneralpine Schollen über die Voralpen geschoben. Eine ähnliche Erweiterung erfährt die innere Flyschzone südlich vom Mercantour. Die übrigen inneren Züge (Karbon, Glanzschiefer, Gneiße) können ebenfalls ohne Unterbrechung bis an das Meer verfolgt werden; zwischen Savona und Genua setzen sie die ligurischen Alpen zusammen.

Wir wollen nun die Wandlungen des Querprofiles Grenoble-Turin gegen Norden verfolgen. Die subalpinen mesozoischen Ketten zweigen bei Chambéry von dem Hauptstamm der Alpen ab und setzen im Juragebirge fort. Der kristalline Kern der Belledonne verschwindet an der Arve unter dem autochthonen Sedimentmantel, dafür erheben sich nordöstlich, gleichsam als Fortsetzung des Pelvoux, die Gneiße und Granite eines anderen Zentralmassives — Montblanc und Aiguilles rouges. Das tektonische Verhalten seines Sedimentmantels kann als Ausgangspunkt für das Verständnis der gesamten Zentralalpen genommen werden, wie sie sich heute vom Standpunkte der Deckentheorie aus darstellen.

An der Südwestecke des Montblanc, am Montjoly haben M. Bertrand und Ritter im Gneiß eine ganze Reihe von meso-

zoischen enggepreßten Synklinalen entdeckt, die in NW-SO-Richtung einander ablösen. Diese Falten stehen steil, bzw. sind nur schwach gegen Westen übergelegt (Fig. 14). Es zeigte sich ferner, daß diese Synklinalen die innersten Teile — die „Wurzeln“ — eines ganzen Paketes von liegenden Falten darstellen, welche,

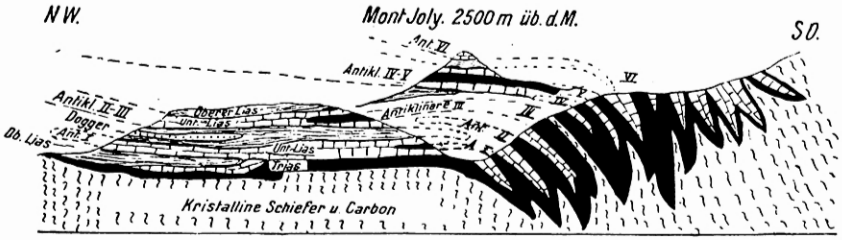


Fig. 14. Liegende und übereinandergeschichtete Falten am Mont Joly im Montblanc-Gebiet. Nach M. Bertrand und E. Ritter.

horizontal übereinander geschichtet, den Montjoly aufbauen. Von der Sohle bis zum Gipfel fortschreitend, begegnet man hier einer mehrfachen Wiederholung der mesozoischen Serie (II 2, 3).

In nuce enthält dieses Bild die Deutung der gesamten Schweizer Alpen. Stellt man sich diese liegenden Falten, die hier nur wenige

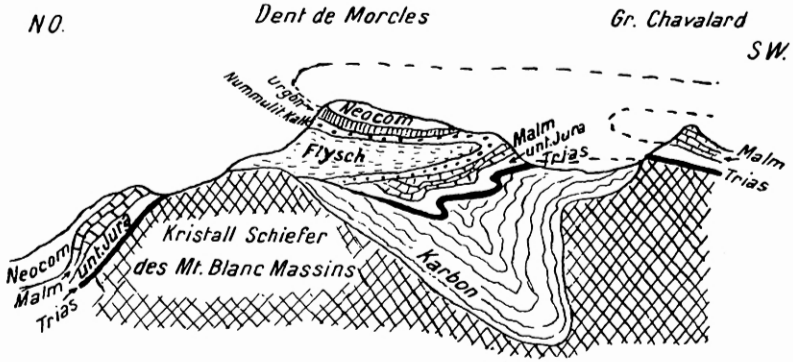


Fig. 15. Liegende Falte der Dent de Morcles nach Lugeon. Diskordante Auflagerung auf das palaeozoisch gefaltete Montblanc-Massiv.

Kilometer weit ihr Vorland bedecken, in weit größerem Maßstabe nach Norden übergreifend vor, so hat man das Bild, welches die Deckentheorie für den ganzen nördlichen Alpenteil zwischen Genfer See und Rheintal entwirft.

Schreiten wir vom Montblancmassiv gegen Nordosten, so sehen wir die geschilderten Überfaltungen einen immer gewaltigeren

Umfang annehmen. Das kristalline Massiv taucht im Rhonetal nördlich von Martigny unter. Sein Sedimentmantel legt sich aber in immer größere liegende Falten. Die unterste ist an der Dent du Midi — Dent de Morcles gut erschlossen (Fig. 15). Urgon und Neokom liegen hier in verkehrter Lagerung auf dem Eocän (Flysch) der normalen Sedimentdecke des Montblancmassivs (IV 4, V 18). Weiter im Osten sieht man diese Falte unter den höheren Deckfalten der Diablerets und des Wildhorns verschwinden. Diese mächtigen Faltendecken von Jura und Kreide setzen die gesamten Kalkhochalpen bis zur Gemmi zusammen. Ihre Wurzeln liegen im Süden, am Nordrand des Rhonetals bei Sitten, und die Decken sind noch kaum durch Erosion davon getrennt (Fig. 16). Die Aus-

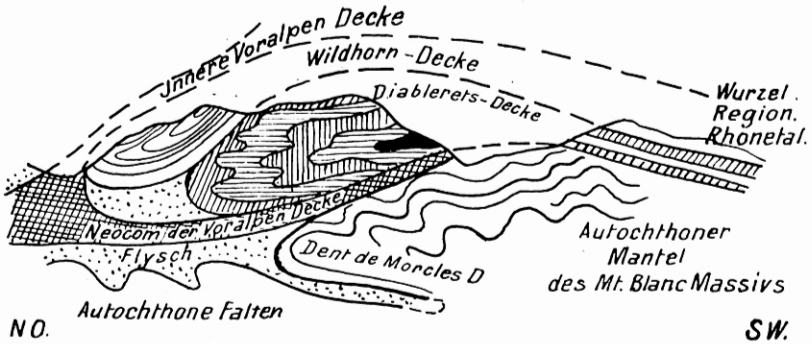


Fig. 16. Westliche Kalkhochalpen nach Lugeon, sehr stark vereinfacht. Das Neocom der oberen Decke (innere Voralpen) ist unter die Stirn der Diablerets-Decke eingewickelt.

bildung des Mesozoikums ist die für den Nordrand der Alpen normale. Den höchsten Horizont bildet der Flysch, eine fossilarme sandig-tonige Serie mit gelegentlichen Einlagerungen von Nummuliten; sie hat eocänes und vielleicht noch oligocänes Alter. Der Flysch ist für die Tektonik der Alpen von höchster Bedeutung; gewöhnlich bildet er die plastische Unterlage, auf der die höheren Decken über die tieferen und über das autochthone Gebirge hinübergeglitten sind. An den Flyschbändern kann man demnach auf der Karte den Rand der Decken verfolgen. Während somit östlich vom Rhonetal zwischen Martigny und Genfer See 3—4 Deckfalten[1]) mit noch erkennbarer Wurzel sich übereinander legen, gleichsam

[1]) Die höchste Decke des Montbovin am Wildstrubel, auch Freiburger Decke oder Zone des cols — zone interne genannt, besitzt ihre Wurzel ebenfalls im Rhonetal zwischen Vietroz und Siders; sie bildet eine Art Übergang zu dem höheren Deckenkomplex der Freiburger Alpen, auf den wir weiter zu sprechen kommen.

eine tektonische Treppe bildend, hebt sich östlich von der Gemmi die kristalline Unterlage wieder in die Höhe; — es erscheint das aus Graniten und Gneißen gebildete Aarmassiv, dem die höchsten Gipfel des Berner Oberlandes angehören. Von seinen Gipfeln ist die sedimentäre Hülle durch Erosion entfernt. Am Nordrand ist sie noch erhalten und zeigt hier intensive Verfaltungen mit dem Gneiß. Diese Kalkkeile an der Jungfrau entsprechen in mancher Hinsicht den Synklinalen am Montjoly. Buxtorf (V 5, 6) hat gezeigt, wie einer derselben dem liegenden Schenkel einer kleineren Decke entspricht, welche sich am Doldenhorn und Fisistock bei

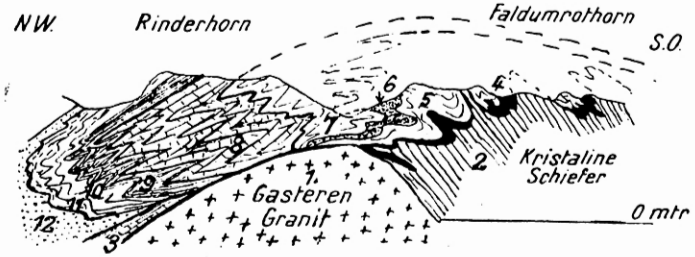


Fig. 17. Profil am Westende des Aarmassivs nach Buxtorf, vereinfacht. 1: Gasteren-Granit; 2: Kristalline Schiefer; 3—4: Perm und Trias; 5—8: Jura; 9—11: Kreide; 12: Eocän. Die jüngeren Schichten 5—12 sind in einer großen liegenden Falte von Süden über das Massiv geschoben und bilden eine durch Fältelung enorm verdickte Stirn. Die tieferen Schichten sind wurzelständig geblieben. Der Grund für das verschiedene Verhalten liegt in den weichen Schiefern 5, die eine Abscherung ermöglichten. Dem Gasteren-Granit fehlt ein autochthoner Mantel, so daß die Deckfalte direkt auf das Kristalline zu liegen kommt.

Kandersteg über den autochthonen Sedimentmantel geschoben und diesen teilweise abgeschert hat (Fig. 17).

Über diese unteren Deckfalten legt sich, immer durch Flyschbänder getrennt, eine ganze Reihe höherer Decken, die um so weiter von Süden kommen, je höher sie tektonisch liegen; ihre Wurzeln müssen auf dem Aarmassiv oder an seiner südlichen Abdachung gelegen haben und sind durch Erosion entfernt; zum Teil entsprechen sie wohl der dritten (Wildhorn) Decke der Westschweiz, doch wird ihr Bau komplizierter, da einerseits diese Decke sich verzweigt, d. h. in mehrere Teildecken zerfällt, andererseits aber neue Elemente hinzukommen. Es ist hier nicht der Ort, alle diese Decken aufzuzählen und ihre Verbindungen miteinander zu zeigen. Vieles ist auch durchaus noch unklar bzw. durchaus hypothetisch. Ein Profil am Vierwaldstätter See gibt am besten den Bau des Gebirges wieder (Fig. 18, V 2, 5, 7, 8, 24).

Am Nordrand der Alpen liegt die im Rigi hoch aufgefaltete

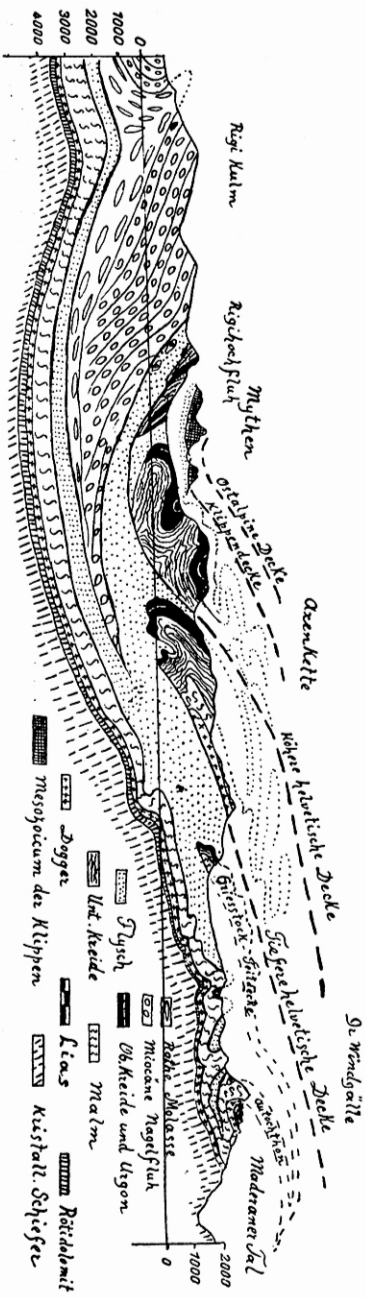


Fig. 18. Die helvetischen Decken am Vierwaldstätter See. Nach Buxtorf.

miocäne Nagelfluh; im Süden ist ihr, durch ein schmales Eocänband getrennt, die Kreide der Rigihochfluhkette (V 8) aufgeschoben. Es ist das die äußerste Randkette der Alpen, die, zu einzelnen Fetzen zerrissen, fast am ganzen Nordrand vom Thuner See bis zum Linthtal verfolgt werden kann und die gleichsam die „Brandungszone der alpinen Wellen am Nagelfluhgebirge“ darstellt (V 13). Starke Ausquetschungen und Querzerreißungen sind dieser Zone eigentümlich; zu ihr gehören die Pilatuskette und eine Reihe anderer auf Flysch schwimmender Kreideberge (V 12). Die Teilelemente, welche man heute darin unterscheidet, brauche ich hier nicht zu nennen. Trotz einer gewissen Selbständigkeit, die dieser Zone zweifellos zukommt, wird sie im allgemeinen nur als abgequetschte Abzweigung der höheren helvetischen Decken aufgefaßt, während weiter im Osten (Wageten) sich auch noch tiefere, durch den Deckenschub von der Unterlage abgeschürfte Schollen sich an ihrem Aufbau beteiligen.

Südlich von der Rigihochfluhkette erscheint, durch ein Flyschband von ihr getrennt, die höhere helvetische Decke (Drusbergdecke), deren Stirnregion in Gestalt zweier schöner liegender Falten am Urnersee zu beobachten ist. Auch diese Decke besteht hier nur aus Kreide; ihr Kern soll weiter im Süden zurückgeblieben sein. Im Süden folgt wieder ein Flysch-

band, das unter die Kreide der genannten Decke einfällt und in schmalem Zuge von Sisikon über den Pragelpaß bis nach Näfels verfolgt werden kann. Es liegt hier der tieferen helvetischen Decke — der Axendecke auf, welche im Norden auch nur aus Kreide besteht. Jeder, der an der Axenstraße gewandert ist, kennt die intensive Fältelung der Kreideschichten dieser Decke. Ihr Malmkern ist nördlich von Flüelen noch zum Teil sichtbar, die weitere südliche Fortsetzung ist aber der Erosion anheimgefallen und bei Altdorf sieht man, daß auch diese Decke auf Flysch schwimmt. Dieser Flysch gehört nun schon dem autochthonen Sedimentmantel des Aarmassivs an, in dem nur kleinere Deckfalten (autochthone und parautochthone, noch mit der Wurzel verbundene Decken) auftreten (z. B. die liegende Falte der Großen Windgälle am Nordfuß des Maderaner Tales mit ihrem Kern von permischem Porphyr). Die beiden helvetischen Decken müssen südlich davon ihre Wurzel haben, sie sind also jedenfalls über 10 Kilometer nach Norden bewegt worden. Das eigentümliche Zurückbleiben der Kerne und das alleinige Vorwandern der höheren Schichten wird am besten an Hand des früher gebrachten Profiles von Arn. Heim verständlich (Fig. 8, S. 20).

Weiter im Osten verändern sich die Verhältnisse insofern, als die untere (Axen-) Decke allmählich auskeilt und die obere (Drusberg-) Decke eine größere Bedeutung erlangt; der Säntis wird heute auch nur als eine tiefere Abzweigung dieser oberen Decke aufgefaßt. Unter der Drusbergdecke liegen hier die tiefsten, im Westen kaum vertretenen Glarner Decken, an deren Aufbau sich, im Gegensatz zu den vorher genannten, alle Schichten vom Eocän bis zum Verrucano beteiligen (V 20, 21).

Zur Erläuterung diene ein Profil aus dem Glarner Land zwischen dem Säntis und Ilanz im Rheintal (Fig. 19). Während im Westen eine

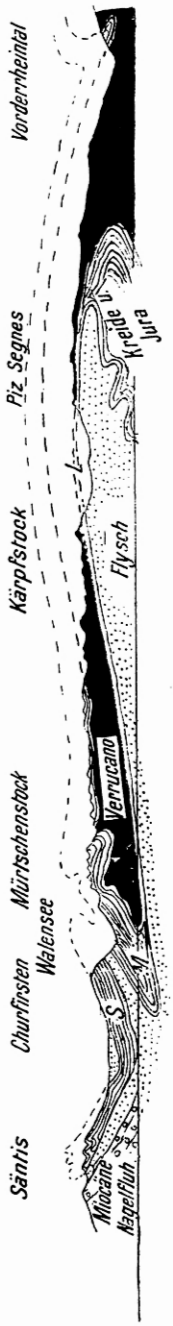


Fig. 19. Querprofil durch die Glarner Decken. Nach Lugeon, Heim u. a.

intensive Deckenverzweigung bestand, wird hier der Hauptraum von der tiefsten Glarner Decke eingenommen. Auf weite Erstreckung liegt hier permischer Sandstein auf Flysch. Der Malm des verkehrten liegenden Schenkels dieser riesenhaften liegenden Falte ist bis auf einige Zentimeter ausgewalzt worden. Immerhin ist er noch erkennbar und liegt als ein durch den Druck kristallin gewordener Kalk (Lochseitenkalk) zwischen Flysch und Perm. Erst weiter im Norden verzweigt sich die einheitliche Glarner Decke und am Walensee kann man beobachten, wie auf dem nummulitenhaltigen Eocän des tieferen Lappens (Mürtschendecke) die Kreide

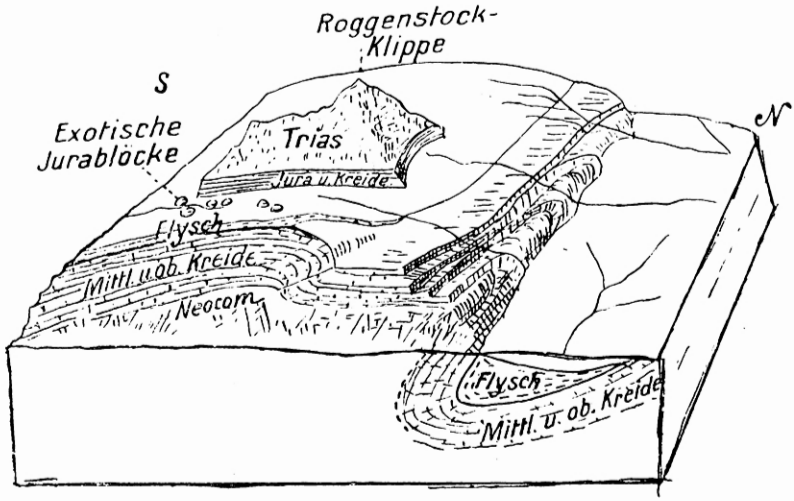


Fig. 20. Die Iberger Klippen, auf den helvetischen Falten schwimmend. Nach Quereau.

der höheren Säntisdecke liegt. Das gesamte Säntisgebirge schwimmt auf Eocän. Auch hier ist die Kreide weit nach Norden vorausgeeilt und die tieferen Schichten im Süden, im Gebiet von Glärnisch und Mürtschenstock zurückgeblieben. Die Wurzel dieser gewaltigen, mehr als 40 Kilometer betragenden Überfaltung liegt im Vorderrheintal zwischen Ilanz und Truns, am Südrand des Aarmassivs (V 1). Auf Einzelheiten dieses Baues werden wir noch in einem besonderen Abschnitt zu sprechen kommen (Abschnitt III 3, S. 67 u. ff.).

Mit diesem System der helvetischen Decken ist aber der Komplex der Überfaltungen in den Schweizer Alpen noch keineswegs erschöpft. Alle die helvetischen Decken unterscheiden sich in der Ausbildung ihrer Gesteine nur wenig von dem autochthonen Mantel des Aarmassivs. Nun liegen aber über dem Flysch

der helvetischen Decken eigentümliche Fetzen mesozoischer Gesteine, die in ihrer Fazies dem helvetischen Mesozoikum durchaus fremd gegenüberstehen. Die Mythen bei Brunnen, die Iberger Klippen etwas weiter im Osten, die Giswyler Stöcke am Brünigpaß sind die auffallendsten Beispiele solcher Klippen (Fig. 20). Es unterliegt heute keinem Zweifel mehr, daß diese Berge auf Flysch schwimmen, d. h. ohne Verbindung mit dem mesozoischen Untergrunde sind. Sie sind Reste (Zeugen) noch gewaltigerer, durch Erosion entfernter Überfaltungsdecken, die einen noch weiteren Weg zurückgelegt haben müssen, wie die helvetischen Decken. Die mächtigen Triasdolomite, die Tithonkalke der Jura-Kreide-Grenze, die couches rouges der oberen Kreide, endlich die basischen Eruptivgesteine sind dem helvetischen Mesozoikum durchaus fremd. Erst südlich vom Gotthard und Montblanc und in den Ostalpen findet man ähnliche Gesteine.

Es hat sich aber außerdem gezeigt, daß die Freiburger Alpen zwischen Thuner und Genfer See, welche den schon beschriebenen Kalkhochalpen vorgelagert sind, ferner auch das Chablais, d. h. das Gebiet zwischen Rhone und Arve, aus ähnlichen Gesteinen aufgebaut sind. Schardt und Lugeon (IV 4, 7, 8, 9) haben nachgewiesen, daß dieser gesamte Bergkomplex dem Flysch aufruht, also nicht in der Tiefe wurzeln kann. Östlich von der Arve liegen auf dem Flysch der oberen Mont Joly-Falten noch zwei Klippen ähnlicher Gesteine (vergleiche Fig. 28 und 29).

Die Freiburger Alpen gliedern sich in mehrere unterscheidbare Decken (Niesenflysch, Klippendecke, mediane Voralpen, Brecciendecke, Rhätische Decke), deren stratigraphische und tektonische Besonderheiten in einem eigenen Abschnitt behandelt werden sollen, weil hier eines der Kardinalprobleme der Deckentheorie liegt (Abschnitt III 1, S. 56 u. ff.). Man bezeichnete dieses System bisher als das der lepontinischen Decken, da man in ihm Beziehungen zu den lepontinischen (Simplon) Alpen vermutete. Die höheren unter ihnen haben aber nach Staub nähere Beziehungen zum unterostalpinen Deckensystem Graubündens, auf welches wir weiter zu sprechen kommen. Ihre Wurzeln liegen jedenfalls südlich von den helvetischen; deren genaue Lage wird uns noch weiter beschäftigen (VI 22).

Wir haben bisher nur die Wandlung der äußeren Ketten der Westschweiz nach Osten verfolgt. Die südlich davon liegenden kristallinen Massive, das Aarmassiv und das durch eine autochthone Sedimentmulde davon getrennte granitische Gotthardmassiv wurzeln

in der Tiefe, wie auch deren westliche Fortsetzung — Montblanc und Pelvoux. Die innere Flyschzone und der Karbonfächer der Westalpen können bis in das Rhonetal, wenn auch stark verdrückt und verschmälert, verfolgt werden. Südlich davon, bis an den Rand der piemontesischen Ebene, herrscht eine mächtige Entwicklung von Gneißen und mesozoischen Glanzschiefern. Die Cottischen und Walliser Alpen — Gran Paradiso, Monte Rosa, Simplon — zeigen diese Ausbildung, die eine direkte Fortsetzung der inneren Zonen der Westalpen darstellt. Durch Druck veränderte basische Eruptivgesteine begleiten diese Schiefer, analog den Serpentinen des Monte Viso und der Meeresalpen. Im äußersten Süden zwischen Bellinzona und Ivrea ist ein zusammenhängender Zug dieser basischen Gesteine bekannt (Gabbro, Diorit, Amphibolit).

Diese mesozoischen Schiefer (Glanzschiefer, Bündener Schiefer) bilden im Rhonetal eine mehr oder weniger breite Masse, welche

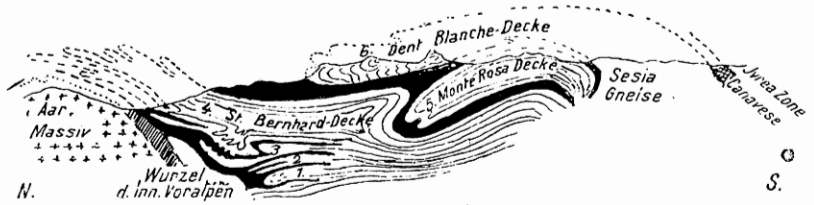


Fig. 21. Profil durch die Walliser Decken. Nach Argand. 1, 2, 3: Simplondecken.

das Aar- und Gotthardmassiv von den Gneißen des Simplon trennt (Bedrettomulde); sie setzt über den Val Bedretto nach Graubünden fort. Dort verschwindet das Aarmassiv in der Tiefe und die Schiefer erlangen eine weite Verbreitung im Prättigau und im Oberhalbstein. Marmore meist triadischen Alters begleiten den Zug.

Der ganze Bau dieser Zone soll auch auf weitgehenden Überschiebungen beruhen, deren Vorhandensein durch den Bau des Simplontunnels und die daran anschließenden Untersuchungen Schmidt's und Preiswerk's, sowie durch die spätere Einzelkartierung Argand's aufgezeigt worden ist (III 1, 7). Als schmale Streifen schießen die Glanzschiefer mehrfach unter die Gneißmassen ein. Im Simplongebiet (vergleiche auch Abschnitt III 2, S. 62 u. ff.) unterscheidet man im wesentlichen drei kleinere liegende Falten von Gneiß (Antigorio, Lebendun, Monte Leone), die auf den Schiefern der liegenden Bedrettomulde schwimmen (Fig. 30). Über diesen liegen nach Argand die drei großen penninischen Decken: St. Bernhard, Monte Rosa, Dent Blanche (Fig. 21). In der Stirn

der St. Bernharddecke befindet sich der westlichste Ausläufer des Briançonnais-Karbons, so daß sie gleichsam eine gesteigerte Fortentwicklung des äußeren Fächerrandes darstellt. Die Monte Rosa-Decke hat geringere Förderweite und erscheint in den Rücken der St. Bernhard-Decke eingestülpt. Die Dent Blanche-Decke, zu der einige der Hauptgipfel des Wallis gehören (Matterhorn) ist wiederum viel weiter nach Norden gefördert worden.

Charakteristisch für alle diese Decken ist das Aufsteigen ihrer Axen gegen Osten, wodurch dort immer tiefere Decken an die Oberfläche kommen (Simplongebiet). Im Tessin sind auch diese durch Erosion entfernt und das große Tessiner Gneißmassiv südlich vom Gotthard wurzelt in der Tiefe. Dann aber senken sich die Axen des Gebirges wieder nach Osten und in Südgraubünden entsprechen die von Schiefer umhüllten Gneißlappen von Adula, Tambo und Suretta den penninischen Decken; wir kommen weiter unten darauf zu sprechen.

Der Gesteinscharakter und die Art der Tektonik unterscheiden die penninischen Decken ziemlich erheblich von den helvetischen. Die Fossilarmut, die Kristallinität und intensive Verknetung der Gesteine weisen auf eine Versenkung in tiefere Krustenzonen, auf eine „tiefere Etage“ der Gebirgsbildung hin.

2. Die Grenzregion der Ostalpen (Graubünden).

(Vergleiche auch Skizze Fig. 35, S. 72.)

Das Rheintal zwischen Bodensee und Ilanz bildet eine wichtige Grenze innerhalb des Alpenbogens, die eigentliche Scheidelinie zwischen Ost- und Westalpen. Die helvetischen Decken, welche wir am ganzen Nordrand des Aarmassivs verfolgt hatten, verschwinden mit diesem gegen die Tiefe und andere, tektonisch höher liegende Elemente treten an ihre Stelle. Höchstens kann man von einer Fortsetzung der nördlichen Kreidefalten des Säntis in den regelmäßigen, zumeist auch nur aus Kreide bestehenden Ketten des Vorarlberg zwischen Feldkirch und Hindelang sprechen. Diese Kreide wird auch hier im Norden und Süden von einem Flyschstreifen umfaßt; er grenzt, wie in den Westalpen, an die miocäne Molasse und Nagelfluh der Bodenseegegend. Wohl sind auch hier Überschiebungen der Kreide über den Flysch bekannt, doch ist hier ein Schwimmen der gesamten Kreidezone nicht so leicht zu erweisen. Nur aus der Fortsetzung einiger Säntisketten in den Bregenzer Wald kann man darauf schließen. Im Flysch sind auch

hier „exotische“ Blöcke und Klippen von Kreide, Jura und sogar von Granit (Bolgen) bekannt und die ähnliche Lagerung ließ eine Analogie mit den Klippen der Westschweiz vermuten; doch ist auch das eine viel umstrittene Frage, die heute eher in der Richtung beantwortet wird, daß es sich um Schubfetzen handelt, die durch Bewegung der höheren Decken vom Untergrunde losgelöst und nach vorne transportiert worden sind. Viele ostalpine Forscher glauben jedenfalls einen Ferntransport dieser „exotischen“ Gesteine nicht annehmen zu brauchen (Mylius, Rothpletz, Ampferer).

Auf diese nördlichen Ketten beschränkt sich der Anteil der helvetischen Fazies an dem Aufbau der Ostalpen. Südlich von der Flyschzone erscheinen in weiter Verbreitung die mächtigen Kalk- und Dolomitmassen der ostalpinen Trias, welche für dieses Gebiet so ungemein charakteristisch sind und im Westen nur gelegentlich am Aufbau der Klippen teilnehmen. Auch der mit der Trias verfaltete und verschuppte Jura trägt einen vom helvetischen abweichenden Habitus. Stellenweise sind diese Kalkmassen deutlich über die Flyschzone überschoben, aber an anderen Stellen grenzen sie mit steilen Verwerfungsklüften an dieselbe. Im Rhätikon beginnt dieser mächtige Kalkzug, dem weiter im Osten der größte Teil der bayerischen Hochalpen angehört. Regelmäßige Faltenbilder sind darin selten; Überschiebungen und Schuppenstruktur herrschen vor.

Südlich vom Arlberg und vom Vorderrheintal folgt eine andere Zone, die wesentlich aus kristallinen Gesteinen aufgebaut ist. Das Tal von Landquart bei Davos im Westen, das Unterengadin im Süden, begrenzen diese großen Massen von Gneiß und Granit, die im Silvrettamassiv gipfeln. Sie sind aber nicht als Analogon der westalpinen Zentralmassive anzusehen, welche in der Tiefe wurzeln. Um ihre Lagerung zu verstehen, muß ihre Umrandung kennen gelernt werden. Zunächst wollen wir die Westgrenze betrachten.

Es wurde schon erwähnt, daß die tieferen helvetischen Decken östlich vom Rheintal keine Fortsetzung besitzen. Zwischen Mayenfeld und Ilanz im Rheintal wird die rechte Talseite von eintönigen, fast fossilleeren Schiefern zusammengesetzt, deren Alter nur selten sicher bestimmt werden kann, in denen aber verschiedene Stufen vom Jura bis zum Flysch vertreten sind. Es ist die Region der Prättigau- und Bündner Schiefer, welche hier eine weite Ausdehnung erreicht; sie setzt die weichen Bergformen des Prättigau bis zum Rhätikon und bis zum Fuß des Plessurgebirges bei Arosa

zusammen. Im Süden greift sie weit in das Oberhalbstein hinein. Im Südwesten schließt sie direkt an das schmale Schieferband an, welches wir als Bedrettomulde zwischen Gotthard und Simplon kennen gelernt haben. Dort, wo das Aarmassiv und der Gotthardgranit gegen Osten zur Tiefe sinken, verbreitet sich diese Schieferzone, welche somit eigentlich als Fortsetzung der westalpinen Glanzschieferregion gelten kann. Im Rheintal soll sie als penninische Überschiebung den Wurzeln der helvetischen Decken aufruhen (VI 2). Sie umschließt jedenfalls mehrere tektonische Einheiten (Decken). Zum mindesten soll über den basalen Bündner Schiefern eine Decke vorhanden sein, die durch Kreideschiefer mit Orbitulinen gekennzeichnet wird und die man mit den großen Flyschmassen des Niesen am Thuner See vergleicht (VI 31).

Wie eine steile Mauer erhebt sich über diesem weichen einförmigen Gelände die Kalkmasse des Rhätikon und der südlich anschließenden kristallinen Zone. Überall schießen die Bündner Schiefer unter die Trias und das Kristalline ein und erscheinen weiter im Osten noch einmal in dem tief eingeschnittenen Tale von Gargellen südlich des Montafoner Tales. Es unterliegt keinem Zweifel, daß Trias und Kristallin der Ostalpen über die Bündner Schiefer überschoben sind. Wie weit diese Überschiebung reicht, ist eine andere Frage, die aber in letzter Zeit eine wesentliche Klärung erfahren hat. Etwa 30 Kilometer östlich von dem genannten Überschiebungsrande erscheint im Unterengadin zwischen Schuls und Nauders ein großes elliptisch begrenztes Gebiet der gleichen Bündner Schiefer, die hier nach Westen unter den Gneiß einfallen. Ziemlich allgemein wird daher heute angenommen, daß die ganze Masse der Silvretta und des Rhätikon eine mächtige Überschiebungsdecke darstellt, die auf den Bündner Schiefern schwimmt. Silvretta ist also kein Zentralmassiv, sondern eine Decke, und zwar zu

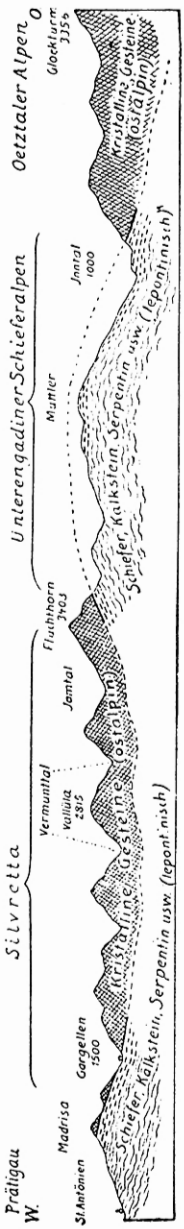


Fig. 22. Profil vom Prättigau zur Ötztaler Masse. Nach Steinmann.

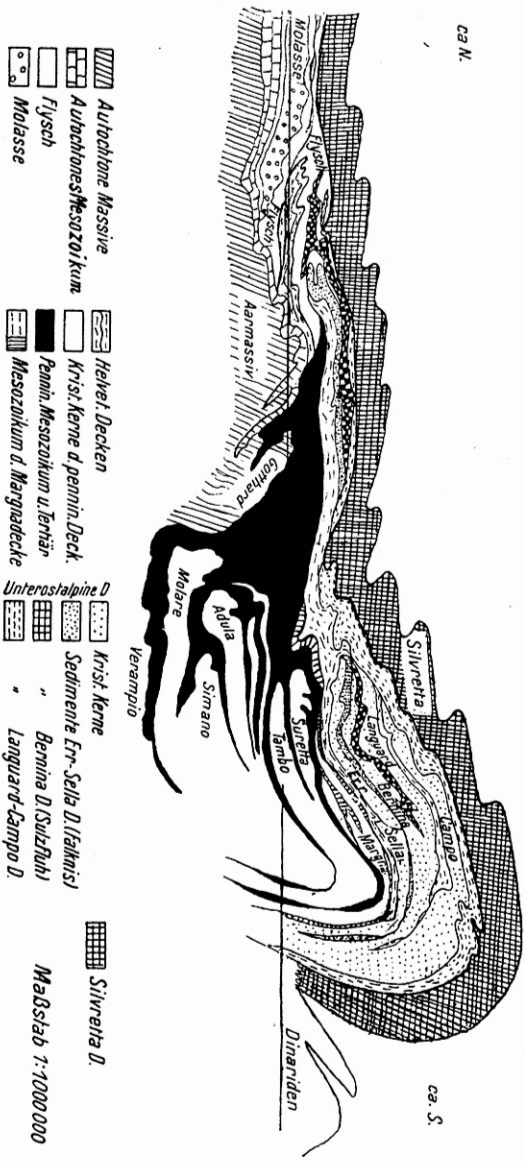


Fig. 23. Sammelprofil durch Graubünden. Nach Staub.

dem höchsten ostalpinen Komplex der Alpendecken gehörend (Fig. 22).

Im einzelnen liegen die Verhältnisse noch viel verwickelter: zwischen den Bündner Schiefern und den höchsten Teilen der Rhätikon-Silvrettadecke lagern Schollen sehr verschiedenartiger Gesteine: Tithonkalke (Sulzfluhzone), jurassische und kretazische Breccien (Falknisbreccie, Serpentine, Radiolarienhornsteine usw.), teils auf weitere Strecken verfolgbar, teils in wirrer Lagerung durcheinander. Darnach sind hier noch eine Anzahl Decken ausgeschieden worden, die sich teils der lepontinischen, teils der ostalpinen Fazies nähern; stellenweise sind es aber wohl nur Schollen des Untergrundes, die bei der Bewegung der höchsten Decken mitgerissen und verschleppt worden sind (Aufbruchs- oder Mischungszone von Arosa).

Man hat versucht, den Deckenkomplex der Freiburger Alpen in diesen Schubfetzen an der Basis des Rhätikons wiederzufinden,

doch stößt diese Deutung auf große Schwierigkeiten. Wohl wird auch Graubünden, abgesehen von der oberen ostalpinen Decke, durch einen ausgedehnten Deckenbau beherrscht, doch wird dieser erst im Anschluß an die penninische Region verständlich (Fig. 23). Der ganze Komplex der Bündner und Engadiner Decken baut sich nach Staub auf den tiefsten Lappen des Tessiner Massivs auf (Adula, Tambo, Suretta; VI 16—24). Abgesehen von den kleineren Decken des Schams und des Prättigau sind es die rhätische (Margna) und die unterostalpinen Decken, welche hier eine weite Verbreitung erhalten; kristalline Gesteine sind an ihrem Aufbau stark beteiligt. Die rhätische Decke soll der Dent Blanche-Decke des Westens entsprechen und ist auch durch große Mengen basischer grüner Gesteine ausgezeichnet (VI 21). In Bünden besitzt sie eine ungeheure Verbreitung)[1]). Die hangenden unterostalpinen Decken (Err, Bernina, Languard, Campo) erreichen heute bald nördlich des Oberengadins ihr Ende. Doch sollen das nicht ihre primären Stirnen sein. In dem Agglomerat verschiedener Schollen zwischen dem Oberostalpin des Rhätikon-Silvretta einerseits und den Prättigauschiefern andererseits sind wohl Schubfetzen der rhätischen und der unterostalpinen Decken zu sehen. Insbesondere glaubt Staub hier die sedimentären Stirnteile der Bernina- und Errdecke erkennen zu können und möchte diese Gesteine also doch mit den Decken der Voralpen parallelisieren (VI 22, 24). Dann würden also auch diese schon dem unterostalpinen Deckenkomplex angehören und die Bezeichnung lepontinisch wäre für sie fallen zu lassen. Die Beweise gründen sich vorwiegend auf stratigraphische Momente und haben eine weitgehende Umdeutung des tektonischen Befundes zur Folge. So müßte angenommen werden, daß die Brecciendecke, welche heute über der Klippendecke liegt, primär unter ihr gelegen hat, denn nur so könnte man die Parallelisierung der Breccien-Err-Falknis-Decke und Klippen-Bernina-Sulzfluh-Decke durchführen. Es dürfte verfrüht sein, heute diese Spekulationen als endgültiges Ergebnis anzusehen. Die Wurzeln der unterostalpinen Decken sucht Staub in der östlichen Fortsetzung der Ivreazone (VI 22, 31).

Ein mesozoischer Zug zwischen Bergün im Albulatal und Scanfs trennt diese Decken vom höheren Silvrettamassiv. Mit der Herkunft und dem Bewegungssinn der oberen ostalpinen Decke werden

[1]) Staub betrachtet die Prättigauschiefer als Stirnregion der rhätischen (Margna-) Decke und entsprechend den Niesenflysch als Stirnregion der Dent-Blanche-Decke, während dieser von anderer Seite noch zur St. Bernharddecke gestellt wird (Lugeon, Argand).

wir uns noch weiterhin zu beschäftigen haben (vergleiche Abschnitt III 4, S. 71 u. ff.). Wichtig und bedeutsam ist die vorher erwähnte Tatsache, daß im Unterengadin wieder tiefere Decken darunter zum Vorschein kommen. Südlich von diesem Fenster liegt das Gebiet der Unterengadiner Dolomiten, ein nach Spitz und Dyhrenfurth gegen Westen bewegtes Bündel mesozoischer Falten, welches nach ihnen zum mesozoischen Anteil der oberostalpinen Decke gehört; Staub (VI 24) und andere Schweizer fassen sie dagegen neuerdings als Unterlage der oberostalpinen Decke auf und parallelisieren sie mit den Dolomiten von Arosa weiter im Westen. Auf diesen kompliziert gebauten Falten liegen wieder kristalline Gneißschollen, die mit den Ötztaler Alpen manche Ähnlichkeit haben und einer höheren Decke angehören. Ein Deckenbau herrscht also auch hier, nur ist er nicht so einfach auf das Schema einer Überfaltung von Süden nach Norden zurückzuführen (Fig. 26). In einem weiteren Kapitel werden wir ausführlich darauf zu sprechen kommen.

Rekapitulieren wir den Bau der Westalpen im Sinne der Deckentheorie, so erhalten wir folgendes Bild: Im Westen trennen die autochthonen Massive (Montblanc, Aar) die helvetische Region von der penninischen. Die erste baut sich aus einer Reihe von Decken auf, die im Aarmassiv oder südlich davon wurzeln (Morcles, Diablerets, Wildhorn, Innere Voralpen im Westen; Glarnerdecke, Axendecke, Drusbergdecke im Osten). Über ihnen liegen Reste von weithin aus dem Süden überschobenen penninisch-lepontinischen und unterostalpinen Decken (Niesenflysch, Klippen, Brecciendecke). In der penninischen Region südlich der Massive sind etwa vier größere Schiefer und Gneißdecken übereinandergeschichtet (Simplon, St. Bernhard, Monte Rosa, Dent Blanche). Östlich vom Rhein verschwindet der größte Teil der helvetischen Region unter der penninischen Überschiebung (außer der nördlichen Säntiskette) und das Aarmassiv taucht unter. Die Stirn der penninischen Decken (rhätische = Margna-Decke) greift im Prättigau weit nach Norden vor. Über dem penninischen Komplex liegt in Graubünden noch die Serie der unterostalpinen Decken, deren primäre Stirnen im Norden zu Schubfetzen ausgewalzt sind (Sulzfluh, Falknis). Über diese Serie ist dann hier noch der oberostalpine Komplex Silvretta-Rhätikon geschoben.

3. Die Ostalpen.

Die Zonengliederung, welche die gesamten Ostalpen beherrscht, ist schon in Graubünden angedeutet. Es sind hier fol-

gende drei Hauptzonen zu unterscheiden, die man vom Rheintal bis nach Wien verfolgen kann: 1. Die nördliche Kreide-Flyschzone; 2. Die Kalkalpen; 3. die kristalline Zone, der im Norden ein schmaler Streifen paläozoischer Gesteine, im Süden ein wechselnd breites Triasband vorgelagert ist.

1. Wie wir schon sahen, kann die nördliche Kreide-Flyschzone in mancher Hinsicht als direkte Fortsetzung der helvetischen Alpen betrachtet werden. Sie grenzt wie diese, teils mit Überschiebung, teils mit Verwerfung an die nördlich vorgelagerte Molasse und besteht im Bregenzer Wald aus zentralen ziemlich regelmäßig gebauten Kreidefalten mit einem im Süden und Norden angelagerten eocänen Flyschband. Diese beiden Flyschstreifen vereinigen sich weiter östlich an der Iller und das Kreidegebirge verschwindet, abgesehen von einigen kleinen selbständigen Zügen (Grünten). Die Flyschzone setzt dann weiter in wechselnder Breite längs dem ganzen Nordrand fort, meist regelmäßig W—O streichend, nur zuweilen gegen NO abgelenkt. Bei Salzburg ist eine Unterbrechung dieser Zone vorhanden, die wohl als großer Einbruch gedeutet wird. In dem Kreide-Tertiär-Bogen des Wiener Waldes ist ein direkter Übergang zu den Karpathen vorhanden.

Im Flysch finden sich, worauf wir schon früher hinwiesen (S. 38), häufig, besonders im Osten, Einschaltungen fremdartiger, „exotischer“ Gesteine, teils als große Klippen, teils als kleine Blöcke. Jura und Kreide in besonderer Ausbildung, gelegentlich auch kristalline Gesteine sind darin vertreten; die Deutung ist noch ganz unsicher (vergleiche Kapitel III 7).

2. Die Kalkalpen haben wir in ihrem westlichstem Sporn — dem Rhätikon — bereits kennen gelernt; sie setzen als breiter Gebirgsstreifen von hier bis nach Wien fort und bestehen meist aus Triasgesteinen, mit gelegentlicher Einschaltung jüngerer Züge von Jura und Kreide. Doch unterscheidet sich die Ausbildung aller dieser Gesteine wesentlich von der der Schweizer Alpen; insbesondere hat die sogenannte Gosauausbildung der oberen Kreide wenig Gemeinsames mit den helvetitschen Kreideschichten. Daß die Triaskalke des Rhätikon in Gestalt großer Schuppen auf den Flysch im Norden und die Bündner Schiefer im Westen überschoben sind, haben wir schon gesehen. Auch weiter im Westen ist die Grenze Flysch-Kalkzone zumeist eine Überschiebung, über deren Größe allerdings die Ansichten weit auseinandergehen. Es ist ein besonderes Merkmal der Kalkalpen, daß neben der eigentlichen Faltung, die in den mächtigen und starren Kalken oft zurück-

tritt, flache Überschiebungen und Brüche eine große Rolle spielen (Fig. 24). Gelegentlich bleibt die Faltung nur auf die oberen Schichten vom Rhät aufwärts beschränkt (Gipfelfaltung). An Stelle regelmäßiger Falten erscheinen oft durch Brüche herausgehobene Zonen (Hebungswellen); Querstörungen und S-förmige Umbeugungen des Streichens spielen oft eine hervorragende Rolle. Am Inndruchbruch bei Kufstein ist eine starke Erniedrigung des Gebirges, eine Depression der Axen vorhanden. Die großen Massen des Wettersteinkalkes geben dem Gebirge im Westen ein stark zerrissenes Gepräge; im Osten keilt der Wettersteinkalk aus und der höhere Dachsteinkalk übernimmt die gleiche morphologische Rolle. Östlich vom Salzkammergut kann eine Zweiteilung des

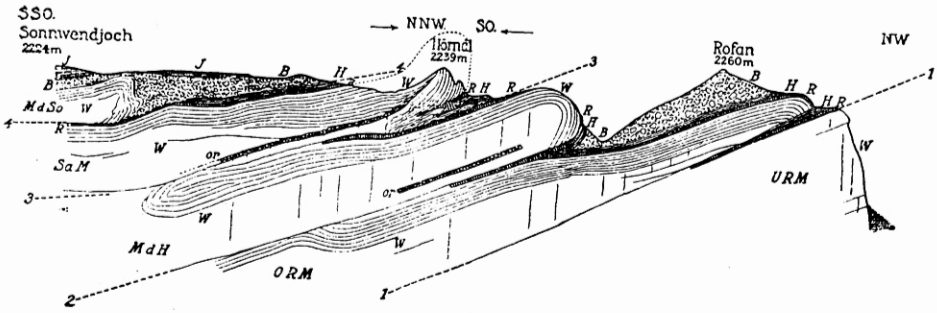


Fig. 24. Profil durch die Faltenschuppen des Sonnwendgebirges. Nach Wähner.

Gebirges durchgeführt werden; eine starke Faltung mit Überschiebungen über den Flysch herrscht in dem nördlichen Teil; weiter im Süden besteht das Gebirge aus flachgespannten Wellen von plateauartigem Charakter, die von Brüchen umsäumt und in einzelne Kulissen zerteilt erscheinen. Wichtige Zertrümmerungszonen sind hier im Streichen des Gebirges vorhanden; wo die tiefsten Triasschichten (Werfener Schichten) an diesen Störungen emporkommen, bezeichnet man die letzten als Aufbruchslinien. Die Brüche häufen sich dort, wo die böhmische Masse nahe an den Nordrand der Alpen herantritt und stehen mit ihr als „Stauungsbrüche“ in unzweifelhaftem Zusammenhang (VII, 2). Die Faltung der Kalkalpen ist nur zum Teil Tertiär: die Lagerungsverhältnisse der Gosaukreide haben gezeigt, daß ein beträchtlicher Teil der Brüche und Überschiebungen vor der oberen Kreide entstanden ist.

Die Kalkalpen setzen nicht wie die Flyschzone nach den Karpathen fort, sie brechen gegen die Niederung von Wien an der

wichtigen Thermenlinie (warme Quellen von Baden, Vöslau u. a.) ab und östlich davon sind nur jüngere Tertiärschichten in wenig gestörter Lagerung vorhanden.

Nicht nur gegenüber der Flyschzone und den helvetischen Alpen, auch innerhalb der Kalkalpen selbst sind erhebliche Unterschiede in der Ausbildung der Gesteine vorhanden. Diese Faziesunterschiede ermöglichten die Ausscheidung mehrerer Bezirke, deren Gesteine aber nachträglich übereinandergeschoben wurden, so daß ein weitgreifender Überschiebungsbau der Kalkalpen zur Zeit als ziemlich gesichert gelten kann. Er trägt aber ein anderes Gepräge, als in den Westalpen; die Überschiebungen haben kaum je den Charakter liegender Falten mit verkehrten Mittelschenkeln, sondern trennen meist flache aufeinanderliegende Schollen und Schuppen. Die nachgewiesenen Überschiebungsbeträge überschreiten kaum 7 bis 10 Kilometer, lassen sich also auch in dieser Hinsicht nicht direkt mit den Faltendecken der Westalpen vergleichen.

Nach Ampferer, Hammer und Hahn kann man zwei Hauptkomplexe unterscheiden: die tiefere bajuvarische und die höhere tirolische Masse; die letzte hat im Osten die größte Verbreitung. Diese zwei durch ihre Fazies unterschiedenen Massen sind in sich noch mehrfach geschuppt.

In der bajuvarischen Masse unterscheidet man die geschuppte und verfaltete Randzone am Flyschrand, die tiefere Allgäudecke und die höhere Lechtaldecke mit Einfaltungen jüngerer Gesteine (Mulde von Thiersee). Stellenweise tritt die Allgäudecke noch unter der Lechtaldecke zutage (Fenster von Wamberg) (Fig. 25; vergleiche auch Karte Fig. 35).

Fig. 25. Profil durch die nördlichen Kalkalpen. Nach Ampferer.

Die tirolische Masse gliedert sich im Westen in die Wettersteinscholle, der wohl der Rhätikon angehört und in die Inntal-

scholle; östlich vom Inn ist vielleicht sogar eine Dreigliederung vorhanden; hier ist die bajuvarische Lechtalscholle nur auf den äußersten Nordrand beschränkt (Fig. 27). Im Salzkammergut liegt über dem Neokom der tirolischen Masse noch eine flache Schubdecke — die juvavische oder Berchtesgadener Scholle.

Die Überschiebungen in der Trias werden durch die Beschaffenheit des untertriadischen Sockels — das Gips und Salzgebirge (Haselgebirge) erleichtert; dieses bildet eine Art Abscherungsfläche, auf der die Gleitbewegungen der Schubdecken stattfinden konnten. Die Decken haben nicht längs ihrer ganzen Erstreckung den gleichen Weg zurückgelegt; sie klingen zuweilen im Streichen in unbedeutende Störungen aus und besitzen gewissermaßen „Aufhängepunkte", an denen kaum eine horizontale Verschiebung stattgefunden hat. Auch dadurch erscheint das Bild von dem der Westalpen verschieden. Die Faziesverteilung auf die einzelnen Decken ist nicht immer streng der Art, daß einer bestimmten Decke nur die eine Gesteinsausbildung zukommt. Übergänge der Fazies lassen hier keinen starren Schematismus zu (VII 3, 4, 8, 10).

3. Die kristalline Zone der Ostalpen ist schon dadurch von den Massiven der Westalpen unterschieden, daß es sich hier um eine zusammenhängende Zone handelt, die von der Silvretta bis Graz reicht und nicht in einzelne Kerne aufgelöst ist. Ein weiterer Unterschied ist schon früher erwähnt worden: er liegt in der Wurzellosigkeit gewisser Teile dieser Zone, die, wie das Silvretta-Massiv auf den mesozoischen Bündner Schiefern schwimmen. Die Sättel und Mulden der Silvretta, die aus Gneiß und Hornblendeschiefern bestehen, sind im Osten wahrscheinlich durch eine Störungslinie von der riesigen kristallinen Masse der Ötztaler Alpen getrennt. Diese ist in ihrem Aufbau noch wenig bekannt. Im Norden überschiebt sie zum Teil den Südrand der Kalkalpen; hier herrscht eine komplizierte Verfaltungs- und Schuppenstruktur, der Ampferer als Augengneißstruktur im Großen bezeichnet. Im Inneren der Ötzmasse sind mehrere Zonen älterer Gneiße und jüngerer Kalkglimmerschiefer, Marmore und Amphibolite zu unterscheiden. Eine solche phyllitische Zone besteht auch im Norden am Rande der Kalkalpen und entspricht wohl der Zone paläozoischer Grauwacken weiter im Osten. Eine andere Phyllitzone liegt südlich von der Hauptgneißmasse der Ötztaler Alpen; ihre Amphibolgesteine und Marmore bieten gewisse Anklänge an die weiterhin zu besprechende Schieferhülle der Tauern; dann folgt noch eine Zone älterer Gneiße, die den Gneißen der Antholzer Masse südlich der Tauern ähnlich

ist. Alle Zonen der Ötzmasse zeigen eine Beugung des Streichens von NO in Ost, parallel der Grenze der Alpen und Dinariden (Judikarienlinie).

Im Gebiete der Unterengadiner Dolomiten haben wir eine kristalline Basis erwähnt (Münstertal), auf der ein Bündel triadischer Falten gegen Westen bewegt worden ist; darauf liegt ein Paket obertriadischer Dolomite, welches diskordant über den Untergrund als „Oberbau" bewegt wurde und über diesem liegen noch die Reste einer kristallinen Decke, welche in ihrem Gesteinscharakter große Ähnlichkeit mit der Ötzmasse besitzt und mithin auch gegen Westen geschoben zu sein scheint (Fig. 26). Die gleiche Dreigliederung herrscht auch weiter südlich im Ortlergebiet. Am Ortler unterscheidet man über einem kristallinen Sockel eine nach Süden

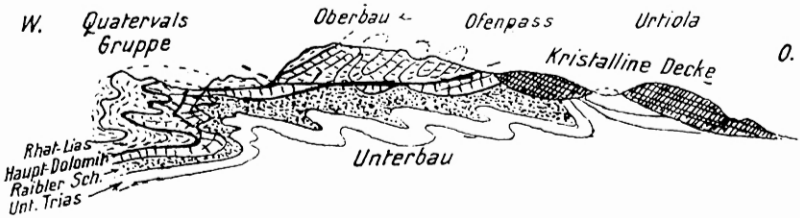


Fig. 26. Profil durch die Engadiner Dolomiten. Nach Spitz und Dyhrenfurth. Zeigt die Selbständigkeit der drei Einheiten: Kristalline Decke, Oberbau (stark geschuppt und von der Unterlage abgelöst), Unterbau.

übergelegte Triasfalte; darüber wieder kristalline Schichten, welche wohl ebenfalls mit der Ötzmasse zusammenhängen; hier scheint also eine Bewegung nach Süden stattgefunden zu haben, so daß man im ganzen den Eindruck gewinnt, als sei hier das gesamte kristalline Ötzgebiet bogenförmig gegen Westen überschoben worden. Diese Verhältnisse, die mit einem reinen Südschub schwer zu erklären sind, bieten der Deckentheorie einige Schwierigkeiten, auf die wir später eingehend zu sprechen kommen.

Südlich vom Ortler liegen bis zum Adamello-Ethmolithen kristalline Schiefer in mächtiger Entwicklung. Ihr nördlicher Teil ist in weite flache Falten gelegt, der südliche ist eng gefaltet und wird von Salomon als Fortsetzung der westalpinen Zone von Ivrea (Tonaleschiefer) betrachtet (VIII 15, 16).

Die kristalline Serie, welcher die Trias des Ortler auflagert, ist durch Glimmerschiefer und Phyllite ausgezeichnet, zwischen und unter denen weiter im Osten Marmore mit Krinoiden und Gabbroinjektionen auftreten. Das Alter dieser Laaser Marmore ist

viel umstritten. Hammer deutet sie als paläozoisch, Suess vom Standpunkt der Deckentheorie aus als triadisch, indem er sie als Fenster unter den ostalpinen Phylliten auffaßt (VII 10, 18); sie würden demnach eine Verbindung zwischen dem Fenster des Unterengadin und dem ebenfalls als Fenster gedeuteten Zentralmassiv der Tauern darstellen.

Die Zentralzone der Tauern ist ein neues Element, welches östlich von der mit mesozoischen Sedimenten angefüllten Querdepression des Brenner beginnt. Wir besprechen sie zunächst, ohne ihre tektonische Deutung zu geben. Ihr Aufbau wird charakterisiert durch den Gegensatz der zentralen Gneißkerne und des diese umhüllenden Schiefermantels. Die Kerne bilden mehrere größere und kleinere Massive von Ortho- und Paragneiß (Venediger, Gamskarl, Hochalm u. a.); über diese legt sich eine untere kalkarme und eine obere kalkreichere Schieferhülle, in der zahlreiche Einlagerungen von Serpentin und anderen basischen Gesteinen enthalten sind. Ob die Granitgneiße in die Schieferhülle intrudiert sind, d. h. jünger sind als diese, erscheint in vielen Fällen unsicher; die Lagerung wird auch vielfach als ein System liegender Falten nach Analogie des Simplon gedeutet. Auch das Alter der Schieferhülle ist nicht restlos geklärt. Jedenfalls scheinen paläozoische Gesteine darin enthalten zu sein (VII 11). Die Granitgneiße der Kerne sind wahrscheinlich karbonisch. Südlich von der Schieferhülle liegt eine Zone kalkiger Sedimente (Zone Sprechenstein-Windisch-Matrei), ferner ein Gebiet älterer Gneiße und Glimmerschiefer, zu dem die Antholzermasse gehört und endlich unter den Gneiß einfallend, ein Zug von Triasgesteinen, der im Westen bei Mauls und im Pustertal sehr schmal ist, dann aber nach Osten immer mehr an Breite zunimmt und von Lienz ab, im Gebiet der Gailtaler Alpen und der nördlichen Karawanken ein selbständiges, ziemlich regelmäßig gebautes Faltengebirge darstellt; seine Triasentwicklung erinnert zum Teil an die Nordalpen. Große Brüche trennen diesen Zug stellenweise vom kristallinen Gebiet ab, so im Norden der Draubruch. Im Süden liegt er auf kristallinen Schiefern auf, und der Gailbruch — eine mutmaßliche Fortsetzung der umgebogenen Judikarienlinie trennt ihn von den selbständigen karnischen Alpen, einem paläozoischen Faltengebirge, welches hier zwischen Alpen und Dinariden eingeschaltet ist.

Die westliche Grenze der Tauern ist die Querdepression des Brenner; hier lagern im Tribulaun, in den Tarntaler Köpfen und an mehreren anderen Stellen Schollen von Trias; ihre Fazies weicht

von der der Nordalpen zum Teil recht erheblich ab. Dieses zentralalpine Mesozoikum liegt unter sehr verwickelten Verhältnissen den Glimmerschiefern auf, welche einen östlichen Ausläufer der Ötztalermasse darstellen (Stubai).

Anders liegen die Verhältnisse im Norden der Zentralzone. Auf die äußere Schieferhülle folgt hier in der Radstätter Tauern zentralalpines Mesozoikum, welches 3—4 übereinandergeschichtete Decken bildet; alle diese Decken fallen hier unter das im Norden folgende Phyllit- und Gneißgebirge ein. Die Reihenfolge der Gesteine in der Radstätter Tauern ist also von Süd nach Nord die folgende: zentralalpines Mesozoikum der Tauerndecken, darüber die Gneiße der Schladmingermasse, dann die Pinzgauer Phyllite, welche die Unterlage und wohl ein teilweises Äquivalent der weiter im Norden liegenden Grauwackenzone von Kitzbühel darstellen und durch die Innsbrucker Quarzphyllite direkt mit der Ötzmasse zusammenhängen. Das Übergangsgebirge von Kitzbühel enthält durch Versteinerungen beglaubigte Horizonte von Silur, Devon, Karbon und Perm und bildet die unmittelbare Unterlage der Kalkalpen. Bei Mandling ist den Phylliten ein langer Zug von Trias eingelagert, der als Schubfetzen, bei der Deckenüberschiebung entstanden, gedeutet wird.

Mithin fällt am Nordrand das ganze System der Tauerngesteine unter die östliche Fortsetzung der Ötztalermasse ein. Ähnlich verhält es sich im Osten, wo die Schladmingermasse im Streichen nach Südosten umbiegt und als tektonisch höherer Horizont das Ostende der Tauern umsäumt. Weiter im Südosten liegen ihr jüngere Schichten auf — an der Stangalpe eine große, wenig gefaltete Masse von Karbon, am Krappfeld mesozoische und tertiäre, zum Teil stark gefaltete Schichten, worin man einen Beweis für tertiäre Faltungen innerhalb der Zentralzone sehen kann (Fig. 27).

An der Drau bei Klagenfurt bricht dieses System SO-streichender kristalliner Schiefer ab. Zwischen dieses und die Nordkarawanken schiebt sich das inneralpine, von Tertiär erfüllte Senkungsfeld von Klagenfurt ein. Östlich liegen bis zum Rande der ungarischen Ebene Phyllite und Gneiße und in zwei Vorsprüngen — dem Bosruck und dem Bachergebirge — reichen hier die Alpen noch weit in die ungarische Ebene hinein. Im Kern des Bachergebirges tritt zwischen Glimmerschiefer und Phyllit noch ein tonalitischer Granitgneiß auf.

Es bleibt uns noch das Nordostende der kristallinen Zone zu betrachten. An die Gneiße und Phyllite der nach Südosten ab-

schwenkenden Schladmingermasse legen sich wieder mehrere Gneißmassive an (Rotenmanner, Seckauer Tauern, Wechselmassiv), die einen nach Süden konvexen Bogen darstellen. Die Anlage dieses Bogens wird durch den Widerstand an der böhmischen Masse erklärt, deren Einfluß auf die Kalkalpen wir schon in den Stauungs-

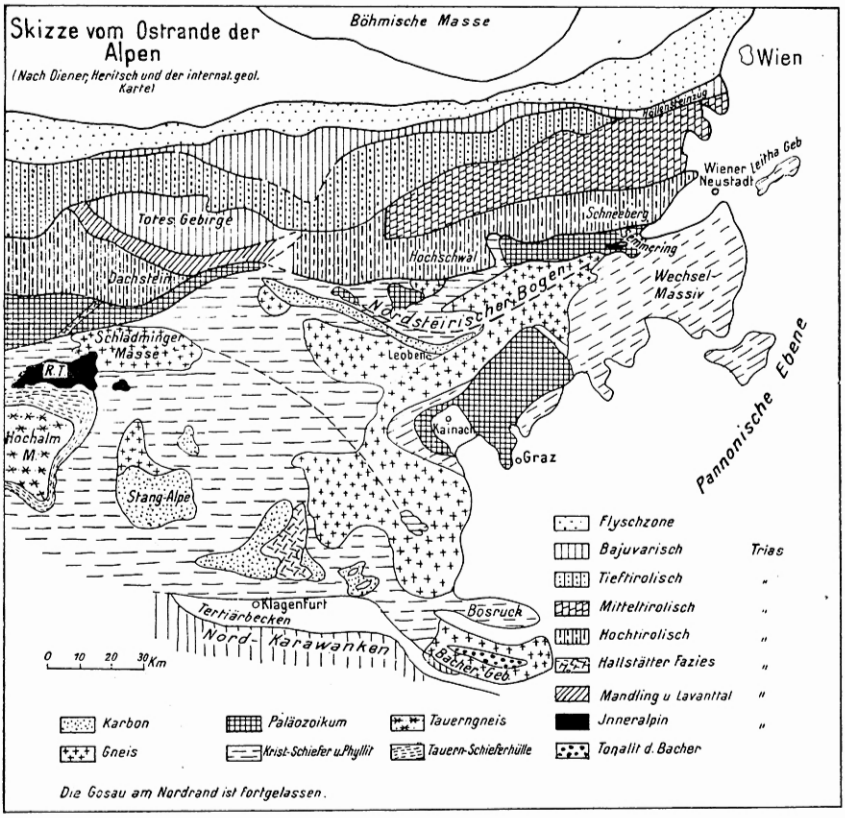


Fig. 72. Das Ostende der Alpen.

brüchen kennen gelernt haben. Dieser „nordsteirische Bogen“ bildet die Unterlage der weiter im Norden folgenden Grauwackenzone; diese besteht hier aus mehreren kleineren Decken oder Schuppen, in denen graphitführendes Karbon, veränderte Quarzporphyre (Blaßneckserie) und erzführende Silurschichten auftreten. Diese bilden die Unterlage der Kalkalpen. Die tektonischen Verhältnisse werden noch dadurch kompliziert, daß am Semmering auf den Gneißen des Wechselmassivs zentralalpines Mesozoikum

in verkehrter Lagerung erscheint, welches von Gneiß (Mürztalermasse) und Karbon überschoben ist.

Die Gneiße des nordsteierischen Bogens setzen im Rosaliengebirge gegen Osten fort; aus dem Tertiär der Wiener Ebene tauchen noch einige kristalline Berge (u. a. das Leithagebirge) auf, die einen Zusammenhang der Alpen mit den Karpathen vermitteln.

In dem Winkel zwischen dem nach NO abschwenkenden nordsteierischen Bogen und den gegen SO streichenden Phylliten der Koralpe (Fortsetzung der Schladmingermasse) liegt als eine nach SO offene Mulde das Paläozoikum von Graz. Die ihm diskordant auflagernde Gosaukreide von Kainach beweist ein hohes Alter der Bewegungen.

Zwei große Brüche (Ödenburg und Graz) trennen hier das Gebirge von der tertiären pannonischen Ebene; an diesen Senkungslinien haben noch im Jungtertiär vulkanische Ergüsse stattgefunden.

Während wir in den Westalpen den Aufbau des Gebirges zwanglos aus der Bauformel der Deckentheorie ableiten konnten, haben wir uns in den Ostalpen zunächst an eine rein beschreibende Schilderung gehalten. Die Deckentheorie ist hier keineswegs allgemein anerkannt und stößt auf große Schwierigkeiten. Im folgenden sei ihr Erklärungsversuch kurz dargestellt (Fig. 28).

Die konsequente Durchführung der Deckentheorie verlangt eine einheitliche Schubbewegung von Süden nach Norden und das Vorhandensein eines Wurzelgebietes südlich von den Decken. Im Westen legt sich, wie wir sahen, über die penninischen und unterostalpinen Decken der Bündner Schiefer die oberostalpine Masse von Rhätikon und Silvretta, deren Unterlage im Unterengadiner Fenster nochmals zutage kommt.

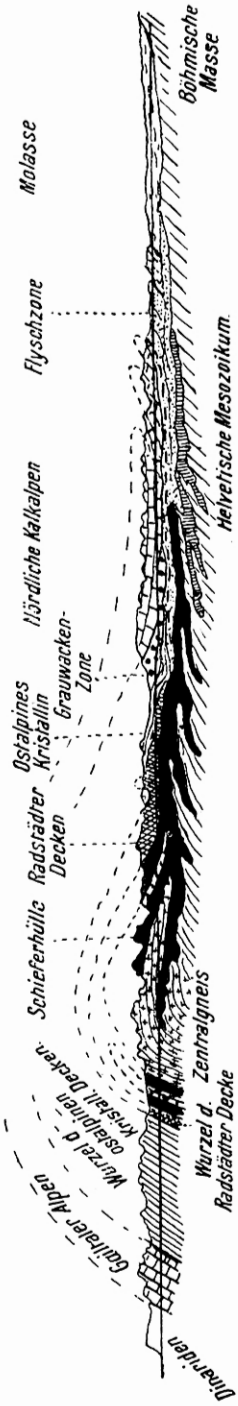


Fig. 28. Schema der ostalpinen Decken. Nach Uhlig.

Die folgerichtige Weiterführung dieses Gedankens verlangt, daß die gesamten Ostalpen, d. h. die nördliche Kalkzone und die kristalline Zentralzone weitgehend nach Norden überschoben sein müssen, und auch hier einem helvetischen bzw. penninischen Sockel auflagern. Das ist bis zu einem gewissen Grade tatstächlich der Fall; nur läßt sich die Größe der Überschiebung der Kalkalpen über den Flysch schwer nachweisen. Was aber die Auflagerung der ostalpinen Serien über penninisches Land angeht, so ist die Deckentheorie zu der Vorstellung gelangt, daß die gesamte Zentralmasse der Tauern (Kerne, Mantel, zentralalpines Mesozoikum) ein Fenster darstellt, analog dem des Unterengadin, nur noch wesentlich größer. Hier kommt also der penninische Untergrund unter ostalpiner Umrahmung in die Höhe. Die faziellen Verhältnisse der Schieferhülle schienen zunächst diese Auffassung zu bestätigen. Auch das Einfallen der Radstätter Tauern unter die nördlich folgende kristalline Zone spricht dafür. Darnach hätten wir in der Gegend der Tauern folgende Deckensysteme:

Penninisch-lepontinischer Deckenkomplex	Liegende Falten der Zentralkerne und der Schieferhülle. Mesozoische Decken der Radstätter Tauern, zu denen als Wurzel die Zone Sprechenstein-Windisch Matrei gehört.
Ostalpiner Deckenkomplex	Ostalpine kristalline Zone (Schladminger Masse u. a.), die Wurzel ist in den Gneißen südlich der Tauern zu suchen. Grauwackenzone, der vielleicht einige Phyllite südlich der Tauern entsprechen. Nördliche Kalkzone; ihre Wurzel liegt im Kalkzug Mauls, Lienz, Gailtaler Alpen, Nordkarawanken.

Nach der Darstellung von Kober (VII 12) kann die nördliche Kalkzone in zwei große Deckenmassen geteilt werden, zu deren jeder eine Serie vormesozoischer Schichten gehört: die unterostalpine Decke mit Karbon und Perm und die oberostalpine Decke, eng verknüpft mit dem Silur-Devon der Grauwackenzone und in sich in die zwei Schollen der Hallstätter und der hochalpinen Decke zerlegt. Alle diese Decken hätten ihre Wurzel in der südlichen Kalkzone und südlich davon, in der „alpino-dinarischen Narbe". Die oberostalpine Decke soll entsprechend ihrer südlichen Heimat besonders an die Ausbildung der Dinariden erinnern. Von ihr

ging die Hauptbewegung aus, durch welche die unterostalpinen Decken mitgerissen und gleichsam abgeschert wurden. Heritsch (VII 8, 9, 10) hat gezeigt, wie große Schwierigkeiten dieser Auffassung aus den tektonischen und faziellen Verknüpfungen beider getrennt sein sollender Decken erwachsen (Verschuppung beider Decken am Semmering, fazielle Übergänge innerhalb der Decken u. a. m.). Die Theorie ruht hier ganz auf spekulativer Basis und es wurde daher im Vorhergehenden von der objektiveren Darstellung Heritsch's ausgegangen. Ob die Kalkalpen ein Deckenland mit einer südlich der Tauern liegenden Wurzel sind, hängt wesentlich von der Stellung der Tauern ab, die daher in einem besonderen Kapitel betrachtet werden soll.

4. Das Alter des Deckenbaues.

Im Alter der alpinen Bewegungen offenbart sich auch ein gewisser Gegensatz zwischen Ost und West.

Die Faltung der Westalpen hat im wesentlichen im Tertiär stattgefunden. Höchstens machen sich in den südlichen Zonen Bewegungen in der Oberkreide bemerkbar. So nimmt Argand (X 5) an, daß der Beginn des Schubes der mittleren Voralpen (Zone von Canavese) in diese Zeit fällt. Auch Staub verlegt den Beginn der ostalpinen und penninischen Deckenbewegung in die Oberkreide und in das Eozän (VI 22). Rollier (X 16) und andere haben zwar im Norden eine schon in der Kreidezeit aufgefaltete vindelizische Kette angenommen, doch steht diese ganze Auffassung auf sehr unsicherem Boden und ist heute fast allgemein aufgegeben, da sich keinerlei Beweise dafür erbringen lassen.

Der Vorgang der Deckenbildung würde sich hier demnach so darstellen: die zwei aktiven Deckenkomplexe sind der penninische und der ostalpine. Von diesen ist der ostalpine älter, zum Teil schon in der Kreide angelegt, dann im Tertiär gegen NW auf den penninischen aufgeschoben; seine Richtung hatte aber nach Arbenz (VI 3) auch auf den Verlauf der älteren helvetischen Decken einen Einfluß. Der penninische Deckenkomplex ist in seiner Gesamtheit etwas jünger, was an den Stellen hervortritt, wo er sich mit dem ostalpinen berührt; seine Schubrichtung ging in der Schweiz im wesentlichen nach Norden und entsprechende Bewegungen hat er nicht nur in den jüngeren helvetischen, sondern auch in einem Teil der auflastenden alpinen Decken ausgelöst. Nach Argand begann, wie gesagt, die Bewegung vielleicht schon in der Oberkreide im

Süden mit dem Vorschub der Decken, welche später am meisten nach Norden verfrachtet wurden und die oberen Voralpen lieferten. Dann erfolgte die Bewegung im wesentlichen in drei Phasen, welche den drei Hauptdecken des großen penninischen Gebietes entsprechen (Oligozän). In Graubünden verhielten sich die Deckenkomplexe nach Staub ganz ähnlich. Der Flyschmantel der penninischen Decken und die passiv verfrachteten medianen Voralpen wurden hierbei über das helvetische Gebiet gebreitet und unter ihnen fand in der dritten Phase auch die Bildung der helvetischen Decken statt. Zur Zeit der Bildung der miozänen Nagelfluh hatten die von Süden vordringenden Deckenpakete den heutigen Nordrand der Alpen noch nicht erreicht. Erst später, im oberen Miozän und Pliozän erfolgte nach Arn. Heim die Auffaltung der Nagelfluh zu einem selbständigen Gebirge und die Brandung der Decken an diesem (V 13). Zur selben Zeit wäre dann im Süden die Senkung der Adria und die Unterschiebung der Wurzelzonen durch das neuerdings nachdringende Hinterland entstanden (insubrische Phase).

Es ist bei der Gelegenheit darauf hinzuweisen, daß die schematischen Deckenprofile, welche über den Zentralmassiven die Decken zu einer ungeheuren, die heutige mehrfach überragenden Höhe auftürmen, wohl nie einem tatsächlichen Zustande entsprochen haben. Die sofort einsetzende Erosion hat wohl in den meisten Fällen die älteren Decken schon weitgehend zerschnitten, ehe die jüngeren sich gebildet haben. Die oft von oben nach unten fortschreitende Deckenbildung wäre nach Arbenz ein Hinweis auf die durch Erosion bewirkte Tieferlegung des Druckes in der helvetisch-penninischen Serie.

In den Ostalpen liegen die Verhältnisse anders; schon im Neokom dringt das Meer stellenweise (Niederösterreich, Salzkammergut) in Kanälen in das ältere Gebirge ein und liegt transgressiv auf älteren Schichten (VII 2, 10). Doch ist diese spätjurassische Gebirgsbildung jedenfalls von keiner großen Bedeutung. Dagegen muß man in der Kreide schon sehr bedeutende tektonische Bewegungen annehmen, in den nördlichen Kalkalpen sogar eine ausgesprochene Deckenbildung; denn die Gosaukreide, welche ebenfalls buchtenförmig in das Gebirge eindringt, überlagert ungestört einige Deckengrenzen. Kober nimmt an, daß die gesamte Überschiebung der ostalpinen Decken über das Tauerngebiet schon vorgosauisch ist (VII 12), und jedenfalls spricht nach Heritsch die Verteilung der Gerölle in der Molasse dafür, daß die Kalkalpen schon vor dem Oberoligozän ihre Stellung nördlich von der

Zentralzone innehatten (VII 10). Die enge Verknüpfung mit dem Flysch deutet schließlich darauf hin, daß sie auch schon vor dem Eozän an dieser Stelle lagen; sonst müßte nämlich auch die ganze Flyschbildungsstätte nach Süden verlegt werden, was kaum wahrscheinlich ist.

Dagegen ist die Überschiebung der Kalkalpen über die Flyschzone und die Faltung dieser, ferner auch die Faltung in der Etschbucht und den venetianischen Alpen (Dinariden) nacheozän erfolgt, wenn auch in den zu den Dinariden gehörenden lombardischen Alpen nach Rassmuss schon intensive senone Bewegungen anzunehmen sind (VIII 12, 13). Endlich muß man auch in den Ostalpen als jüngstes Stadium eine Anpressung und eine Aufschiebung der Flyschzone an und auf die miozäne Nagelfluh annehmen.

In diesem verschiedenen Alter der Faltungsvorgänge ist eine große prinzipielle Schwierigkeit für die Deckentheorie in den Ostalpen enthalten; denn wenn einerseits die Decke der Kalkalpen und ihre Überschiebung über das Tauernfenster kretazisch sein müssen, so ist doch andererseits die Überschiebung des ostalpinen Gebietes über das penninische in Graubünden jünger, denn in dem letzteren ist noch sicher Oberkreide, wahrscheinlich auch Tertiär vertreten. Es ist aber nicht verständlich, wie die gleiche Überschiebung im Osten kretazisch, im Westen tertiär sein kann.

Aus diesen zwei sich widersprechenden Schlußketten, die beide unanfechtbar sind, folgert Heritsch, daß die Kalkalpen niemals über das Tauernsystem geschoben worden sind, daß also der Deckenbau der Ostalpen in der von Termier, Uhlig und Kober angenommenen Form nicht bestehen kann. Auf weitere, in gleicher Richtung zielende Beobachtungen kommen wir noch ausführlich zu sprechen.

III. Die lokaltektonische Kritik.

Es ist nicht meine Absicht, im Rahmen dieser Arbeit eine Kritik der gesamten Deckentheorie vom lokalen Standpunkt zu geben. Zu einer solchen Kritik wäre überhaupt nur jemand berechtigt, der aus eigener jahrelanger Anschauung heraus alle Teile der Alpen genau kennt und über alle Einzelheiten der Tektonik und Stratigraphie, über alle möglichen Deutungen der lokalen Profile genau orientiert ist. Zudem würde eine solche Erörterung ein viel zu spezielles Eingehen auf das enorme behandelte Gebiet

verlangen, was keineswegs dem Zweck dieser Arbeit — einen großzügigen und möglichst unparteiischen Überblick zu geben — entspricht.

Doch läßt es sich andererseits nicht umgehen, wenigstens in allgemeinen Zügen darzulegen, welche Einwände gegen die Deckentheorie vom lokaltektonischen Standpunkt aus gemacht und welche Deutungen von guten Kennern der Alpen im Gegensatz zur Deckentheorie versucht worden sind. Das kann aber nur an einzelnen herausgegriffenen Beispielen geschehen, denn einen zusammenfassenden Überblick über die ganze Alpenkette im Gegensatz zur Deckentheorie hat bisher noch niemand aufgestellt. Das liegt auch in der Natur der Sache; denn der Gegensatz zwischen der Deckentheorie und ihren Gegnern liegt ja gerade darin, daß von den letzten das einheitliche, alles unter eine Grundformel zusammenfassende Prinzip der Deckentheorie bestritten wird.

Regional weitgreifende Deutungen, die in einem Gegensatz zur Deckentheorie stehen, sind in letzter Zeit eigentlich nur in den Ostalpen versucht worden. In den Westalpen beschränkte sich die Kritik auf kleinere Gebiete. Hier stammen die wichtigsten Versuche einer Umdeutung von Rothpletz, und auf seine Ansichten soll daher kurz eingegangen werden.

In den Westalpen konzentrieren sich die Untersuchungen von Rothpletz auf drei Einzelgebiete; es sind das sämtlich die eigentlich klassischen Gebiete der Deckentheorie, die Rothpletz in richtiger Erkenntnis ihrer Bedeutung herausgegriffen hat: 1. die Freiburger Alpen; 2. das Simplongebiet; 3. die Glarner Überschiebung.

1. Die Freiburger Alpen.

(Vergleiche Skizze Fig. 29.)

Die Freiburger Alpen, von denen die geniale Konzeption Schardt's und Lugeon's ausgegangen ist, können gleichsam als Kernproblem und wichtigstes Beweisstück der Deckentheorie angesehen werden; ist doch hier auf weite Erstreckung hin die eigentümliche Lagerungsform der Deckentheorie verwirklicht: die Berge bestehen aus gefaltetem Mesozoikum, in den tiefer eingeschnittenen Tälern tritt dagegen häufig der jüngere eozäne Flysch zutage.

Für die Freiburger Alpen und ihre Fortsetzung südlich vom Genfer See — das Chablais — ist eine Gliederung in mehrere stratigraphisch und tektonisch wohl unterscheidbare Zonen charakteristisch. Von Norden gegen Süden schreitend durchquert man nacheinander folgende Gebiete:

1. Die äußeren Voralpen (préalpes externes, Gurnigelzone); sie sind im Norden auf die Molasse aufgeschoben und bestehen aus mächtigen Flyschmassen, zwischen denen Schollen älterer Schichten schuppenartig auftreten. Dieses Sedimentpaket, dessen Einzelheiten noch nicht völlig geklärt sind, verdünnt sich gegen Süden und verschwindet unter Ausquetschungserscheinungen unter der

2. Zone der mittleren Voralpen (préalpes médianes, Klippendecke). Diese wird aufgebaut aus Trias (Rauhwacken und Dolomite), Jura (der Dogger zeigt eine doppelte Ausbildung als Zoophycos- und Mytilus-Dogger), Kreide (Oberkreide als rote Kalkmergel — couches rouges — entwickelt) und Flysch. Die Aus-

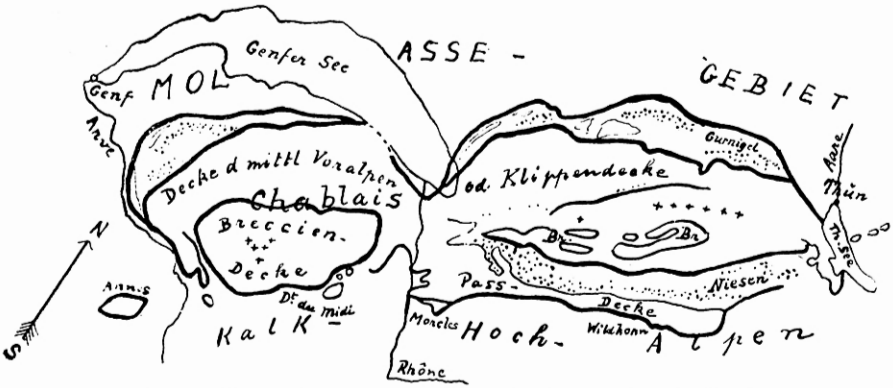


Fig. 29. Skizze der Freiburger Alpen und des Chablais (westlich der Rhone). Nach Schardt und Wilckens.

bildung der Schichten ist von der in der äußeren Zone teilweise beträchtlich verschieden und weicht auch von der des autochthonen Sedimentmantels des Aarmassivs erheblich ab. Die Tektonik erscheint auf den ersten Blick recht einfach — es herrscht regelmäßige Faltung nach Analogie des Jura. Eine breite Tertiärzone (Chateau d'Oex) teilt dieses Gebiet in zwei Teile, die durch die schon erwähnte verschiedene Ausbildung des Doggers charakterisiert sind.

3. Brecciendecke. Im südlichen Teil der mittleren Voralpen liegen, zum Teil deutlich ihren jüngsten Schichten aufgelagert, größere und kleinere Fetzen anders ausgebildeter Gesteine; es handelt sich auch hier um mesozoische Schichten, doch weichen sie wieder erheblich von den beiden geschilderten Zonen ab; besonders der Jura, der in Gestalt mächtiger Breccien entwickelt ist, zeigt eine ganz auffallende Fazies. Weiter im Südwesten, im Chablais, besitzt diese Breccienausbildung eine viel größere Verbreitung.

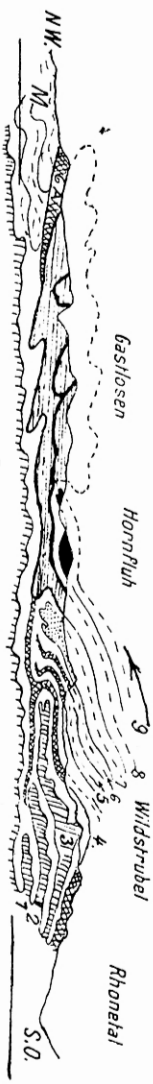


Fig. 30a. Profil durch die Freiburger Alpen. Nach Lugeon. 1—9: Decken; 1: Morcles; 2: Diablerets; 3: Wilddorn; 4—6: innere Voralpen; 6A: äußere Voralpen; 7: Niesenflysch; 8: mittlere Voralpen, Klippendecke; 9: Breceiendecke.

4. Niesenflysch. Weiter im Süden liegen die mittleren Voralpen einer mächtigen Masse von Flysch auf, zu der der Niesen am Thuner See gehört. Dieser Flysch weicht durch die massenhafte Führung von fremden, „exotischen" Blöcken, unter denen auch Granit vorkommt, erheblich von dem gewöhnlichen helvetischen Flysch ab und wird heute als besondere tektonische Einheit angesehen. Wir haben früher erwähnt, daß nach der Vorstellung von Arn. Heim die helvetischen Decken in diesen Flysch eingewickelt sein sollen (V 16).

5. Es folgt, wiederum unter den Niesenflysch einfallend, die Zone der inneren Voralpen (préalpes internes), auch Paßzone genannt, weil einige der bedeutendsten Pässe der Alpen in dieser Zone liegen. Die Ausbildung des Mesozoikums weicht in dieser Zone wieder sehr von der der mittleren Voralpen ab, nähert sich aber bis zu einem gewissen Grade der des autochthonen Sedimentmantels und zeigt eine auffällige Übereinstimmung mit der der äußeren Voralpen. Regelmäßiger Faltenbau ist hier nicht vorhanden — es herrscht Schuppenstruktur.

6. Südlich davon folgen die Kalkhochalpen und der autochthone Sedimentmantel der zentralen Massive, dessen kleinere Decken wir bereits erwähnt haben (Morcles, Diablerets, Wildhorn); auch diese Decken fallen unter die inneren Voralpen ein.

Die Deutung, welche die Deckentheorie dieser Zonenverteilung gibt, ist bekanntlich die großer Überfaltungen, welche sämtlich von Süden kommen (IV 4) (Fig. 30a). Von den Schuppen oder Teildecken der inneren Voralpen glaubt Lugeon die unterste (4) über die Hänge des Wildstrubels noch direkt mit ihrer Wurzel im Rhonetal verbinden zu können. Ihre Stratigraphie weist noch bemerkenswerte Ähnlichkeiten mit den autochthonen Deckfalten auf, die von ihr direkt überlagert werden und bildet also einen Übergang zwischen dem helvetischen und dem höheren Deckenkomplex. In ihrer Entstehung ist sie aber älter als die ersten; denn sie wurde bei dem

Vorschub der helvetischen Decken mitgefaltet und Teile von ihr liegen heute unter der Diablerets-Decke (2).

Die äußeren Voralpen (6A), stratigraphisch den inneren ähnlich, gehören zu ihnen und bilden einen Keil, der bei der Überfaltung der höheren Decken abgedrückt und nach vorne geschoben wurde. Der Niesenflysch bildet eine höhere Decke für sich (7), die als nach Norden ausgebreiteter Mantel einer der penninischen Decken des Wallis betrachtet wird. Die mittleren Voralpen (8) mit ihrer oberflächlich einfachen Lagerung schwimmen samt und sonders auf dem Flysch der tieferen Zonen und des helvetischen Vorlandes. Es ist nirgends gelungen nachzuweisen, daß sie im Untergrunde wurzeln. Im Sinne der einheitlichen Süd-Nord-Bewegung kann ihr Ablagerungsgebiet auch nur weiter im Süden gesucht werden. Über die Lage der Wurzel sind die Ansichten geteilt. Schmidt (III 5) vermutete sie noch im Rhonetal, nach Lugeon und Argand ist sie viel weiter im Süden, etwa in der Zone von Canavese zu suchen; auf dem Rücken der penninischen Decken wäre sie zum Teil passiv nach Norden verfrachtet worden. Die Breccienkomplexe (9) über den mittleren Voralpen schwimmen natürlich auch, und an ihrer Wurzellosigkeit dürfte heute kaum jemand mehr zweifeln. Lugeon glaubt auch liegende Antiklinalen — Stirnfalten dieser Decke — aufzeigen zu können, die sich in den Rücken der Klippendecke eingebohrt haben. Steinmann (VI 25) fand über der Brecciendecke noch Spuren eines höheren tektonischen Komplexes in vereinzelt auftretenden basischen Gesteinen (rhätische Decke).

Das gegenseitige Verhältnis dieser drei Decken ist übrigens noch nicht restlos geklärt. Zyndel (VI 31) und Staub (VI 22, 24) glauben sie dem höheren Komplex der unterostalpinen Decken Graubündens parallelisieren zu müssen; es würde sich daraus ergeben, daß die Brecciendecke, obwohl sie heute über der Klippendecke liegt, die primär tiefere ist, also gleichsam in die Klippendecke eingewickelt sein muß (vgl. S. 41).

Im allgemeinen gleichen die Freiburger Alpen nach dem treffenden Vergleich von Wilckens (I 20) einer Reihe aufeinandergelegter flacher Schüsseln, von denen jede tiefere beiderseits mit ihren Rändern über die höhere hinausgreift.

Nur in der tiefen Einsattelung zwischen den Zentralmassiven ist dieses ganze Deckenpaket erhalten; weiter im Osten geben lediglich die vereinzelten Klippen Zeugnis von der früheren, weit größeren Überdeckung.

Soweit das Bild der Voralpen nach der Deckentheorie. Die Deutung, welche Rothpletz (IV 5) zu geben versucht hat, weicht

vollkommen davon ab. Zunächst versucht Rothpletz nachzuweisen, daß die Faziesunterschiede, aus welchen man auf die weite Entfernung des Ablagerungsgebietes der höheren Decken geschlossen hat, durchaus nicht so beträchtlich sind. Die abweichenden Verhältnisse im Jura der Brecciendecke und an einigen anderen Stellen glaubt er durch die Annahme eines unregelmäßigen Meeresgrundes mit Inseln und Untiefen zur mesozoischen Zeit erklären zu können. Dem gleichen Gedankengang begegnen wir später bei Deecke und werden dann auf alle damit zusammenhängenden Fragen ausführlich zu sprechen kommen. Hier soll hauptsächlich die tektonische Seite des Problems erörtert werden.

Das prinzipiell Verschiedene in der Auffassung von Rothpletz liegt in der Frage der Bewegungsrichtung und der Deckenstruktur. Ziemlich weitgreifende Überschiebungen kann auch Rothpletz nicht leugnen; aber ihr Mechanismus ist nach ihm ein ganz anderer, als die Deckentheorie annimmt. Rothpletz unterscheidet zwei Arten von Bewegungsflächen: die ziemlich steil nach Süden einfallenden Überschiebungsklüfte und die flach nach Norden einschießenden Gleitflächen. Sie sind nach ihm nicht gleichartig und gehen auf räumlich und zeitlich verschiedene Bewegungen zurück. Die Grenzlinie der Molasse gegen den Flysch der Gurnigelzone, die Grenze dieser gegen die mittleren Voralpen, ferner noch ein Paar steile Bewegungsflächen innerhalb der medianen Zone und der helvetischen Kalkalpen gehören zu der ersten Kategorie der Störungen. Sie deuten eine Bewegung von Süden nach Norden an, sind aber nur die letzten Phasen der Gebirgsbildung. Die Schuppen der inneren Voralpen, ferner ihre Grenze gegen den Niesenflysch, die Grenze von diesem gegen die mittleren Voralpen und die Grenze der letzten gegen die Brecciendecke sind flache, nach Norden einfallende Klüfte, in denen Rothpletz die Äußerung einer Bewegung von Norden nach Süden sieht. Er leugnet die Existenz von Stirngewölben, er leugnet überhaupt die Entwicklung der Decken aus liegenden Falten und sieht in diesen Bewegungsflächen nur die trennenden Linien einer allerdings ins Riesenhafte gesteigerten Verschuppung, die durch Druck von Norden zustande gekommen ist. Wenn also die Deckentheorie die Nord und Süd fallenden Trennungslinien der einzelnen Zonen durch eine hypothetische Linie im Untergrund verbindet, sie als oberflächliche Ausstriche einer und derselben Bewegungsfläche betrachtet und auf ihren Fallwinkel keinen besonderen Wert legt, so statuiert Rothpletz einen prinzipiellen Gegensatz zwischen beiden und

betrachtet sie als gänzlich unabhängig voneinander. Sie sind nach ihm auch zeitlich zu trennen und die Reihenfolge der tektonischen Ereignisse wäre wie folgt festzulegen: 1. Faltung der nördlichen Ketten (Falten der nördlichen mittleren Voralpen), die also nach Rothpletz nicht schwimmen, sondern im Untergrunde wurzeln; 2. große flache nach Süden gerichtete Überschiebungen südlich davon (Hornfluh, Spielgerten, Niesen, innere Voralpen); 3. Faltung der autochthonen Ketten der Kalkhochalpen (Wildstrubel); 4. steile Überschiebungen nach Norden, auf denen zum Teil die heutige Zonenbildung beruht (Fig. 30b).

Um den riesengroßen Bewegungen aus Süden zu entgehen, wird hier also die Einheitlichkeit des faltenden Prinzips aufgegeben und die ganze Gebirgsbildung in eine Serie ziemlich wirr gegeneinandergerichteter Schubvorgänge aufgelöst.

Ob das Problem auf diese Weise mechanisch verständlicher wird, ist eine Frage für sich; die ganze Vorstellung vom Bau der Gebirge, die Suess entwickelt hat, wird dadurch jedenfalls über den Haufen geworfen. Die Kernfrage ist aber natürlich, ob die von Rothpletz in einer immerhin sehr kurzen Zeit gemachten Beobachtungen wirklich zu einer grundlegenden Umdeutung jahrelanger Arbeitsergebnisse berechtigen. Rothpletz hat eigentlich nur einige wenige Querprofile durch die Freiburger Alpen begangen; die Verbindung nach Osten und Westen suchte er an Hand älterer Kartierungsergebnisse festzustellen. Nun bringt aber in so einem verwickelten Gebiet, wie die Freiburger Alpen, fast jeder neue Aufschluß neue Probleme. So muß denn ein Versuch, die ganze Frage an Hand einiger Querprofile zu lösen, zum mindesten sehr schematisch ausfallen. Es kommt noch hinzu, daß in der Arbeit von Rothpletz eine Reihe tatsächlicher Irrtümer enthalten ist.

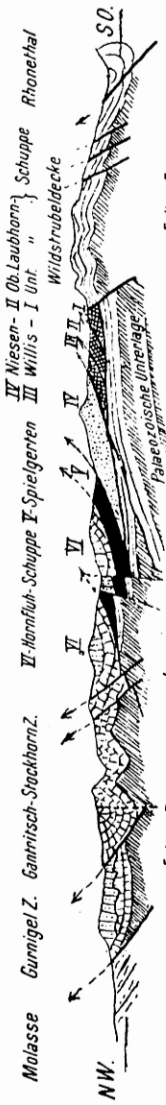


Fig. 30b. Profil durch die Freiburger Alpen. Nach Rothpletz, etwas schematisiert. Zwischen der nördlichen und südlichen Faltenregion (Gantritsch-Wildstrubel) liegen die nach Süden bewegten (Pfeile!) Schuppen: VI entspricht der Breccienedecke; V einem Teil der mittleren Voralpen; IV der Niesendecke; I—III den inneren Voralpen. Die Gurnigelzone entspricht den äußeren Voralpen. Die Existenz der Hochalpendecken (Morcles Wildhorn) wird bestritten. Die Gantritschzone entspricht dem nördlichen Teil der mittleren Voralpen. Statt einer Verbindung der Bewegungsflächen im Untergrund werden diese als getrennt nach Norden und Süden aufsteigend (Pfeile!) angenommen.

So scheint es in der Tat durchaus möglich zu sein, die untersten Schuppen der inneren Voralpen direkt über einige Erosionsreste auf den Kalkhochalpen bis zu ihrer Wurzel im Rhonetal zu verfolgen (Lugeon). Wenn aber diese innersten Schuppen von Süden abgeleitet werden müssen, verliert das Rothpletz'sche Schema den größten Teil seiner Wahrscheinlichkeit. Ferner konnte Sarasin Rothpletz eine Reihe tatsächlicher Fehler nachweisen (IV 6): Verwechslung von Flyschsandstein und mesozoischen Schichten, von Malm- und Kreidekalken u. a. m. Damit kommt aber auch die ganze Tektonik auf eine unsichere Grundlage und verlangt dringend eine Revision.

Wir könnnen also unmöglich anerkennen, daß in der Rothpletz'schen Kritik ein zwingender Grund zur Ablehnung der Deckentheorie liegt, oder daß seine Konzeption den Tatsachen irgendwie mehr gerecht wird. Vorläufig scheint hier in der Tat die Deckentheorie die einleuchtendste Lösung gebracht zu haben, mag diese auch in den Einzelheiten verbesserungsbedürftig sein.

2. Das Simplonproblem.

Durch die auch in weiteren Kreisen bekannt gewordenen Ergebnisse des Simplondurchstiches, welche eine wahre Revolution in unseren tektonischen Ansichten hervorgebracht haben, ist ein Problem aufgeworfen worden, welches zu den interessantesten und grundlegendsten Problemen der alpinen Geologie gehört. Hier, in den inneren Teilen der Alpen treten zu den Fragen der reinen Tektonik die außerordentlich wichtigen, aber ungemein komplizierten Fragen der Gesteinsmetamorphose hinzu, die man durchaus noch nicht als gelöst betrachten kann. Die ganze Untersuchung ist hier auch beträchtlich schwieriger, als in den nördlichen sedimentären Gebieten der Alpen. Denn, wenn schon dort die Fossilarmut einiger Gesteinskomplexe die Aufstellung exakter Profile oft beträchtlich erschwerte, so wird diese Fossilarmut in der penninischen Zone der Alpen zur Regel und damit zur wahren Kalamität. Bei der Aufstellung der stratigraphischen Folge ist man hier mit wenigen Ausnahmen allein auf die Lagerungsverhältnisse und auf die Petrographie angewiesen.

Die Vorstellungsweise der Deckentheorie in bezug auf das penninische Gebiet haben wir schon kurz skizziert. In besonderer Anwendung auf die Simplongegend muß hier nachgetragen werden, daß dieses Gebiet im wesentlichen aus drei übereinanderliegenden Deckfalten aufgebaut wird (Antigorio, Leone-Ofenhorn, Berisal), die aber mehrere sekundäre Verzweigungen oder Teildecken aufweisen. Diese drei Simplonfalten liegen nach Lugeon und Ar-

gand unter der ersten großen penninischen Decke des St. Bernhard (Fig. 31; vergleiche auch Fig. 21).

Diese ganze Auffassung, die besser, wie aus der Beschreibung, aus dem beigefügten Profil hervorgeht, steht und fällt mit der stratigraphischen Deutung, welche man den verschiedenen Schichtkomplexen dieser Gegend gibt. Im wesentlichen unterscheidet man hier vier Glieder:

1. Archäische Gneiße, die in Eruptiv- und Sedimentgneiße zerfallen;
2. Karbonische Schiefer, durch Graphitgehalt ausgezeichnet; für das engere Simplongebiet haben sie kaum eine Bedeutung;
3. Triasmarmor, Dolomit, Gips und Anhydrit;

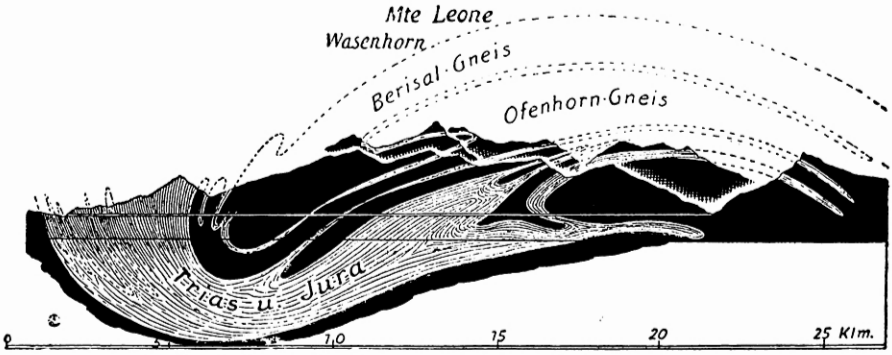


Fig. 31. Profil durch den Simplontunnel. Nach Schmidt und Preiswerk.

4. Kalkschiefer (Schistes lustrées), teils der oberen Trias, teils dem Jura angehörend; sie sind stark metamorph und haben an wenigen Stellen einige schlecht erhaltene Fossilien geliefert (Belemniten, Arieten).

Die sich aus dieser Stratigraphie ergebende tektonische Deutung ist ohne weiteres einleuchtend: die Gneiße bilden die Kerne der liegenden Antiklinalen; wo sie von den Schiefern und von Dolomit abgelöst werden, beginnt eine neue tektonische Einheit. Der Simplontunnel hat eine direkt verblüffende Mannigfaltigkeit in der Wechsellagerung dieser Gesteinsglieder offenbart, mit einer häufigen Überlagerung der Schiefer und Dolomite durch Gneiß. Ist die ausgeführte stratigraphische Deutung richtig, so bleibt allerdings kein anderer Weg, als die im Profil zum Ausdruck kommende tektonische Verknüpfung anzuerkennen. Hier sind aber noch keineswegs alle Zweifel behoben und hier setzte auch die Rothpletz'sche (III 5) Kritik ein, der noch kritische Bemerkungen von Klemm vorausgegangen waren.

Sind wirklich alle die Gneiße der Simplongegend archäisch? Kann es sich hier nicht zum Teil, soweit es die eruptiven Gneiße angeht, um nachjurassische Granite handeln, so daß die Wechsellagerung nicht auf tektonische Überfaltung, sondern auf weitgehende Intrusionsvorgänge zurückgeht?

Das eben haben Klemm und nach ihm Rothpletz mit aller Entschiedenheit behauptet. Eines der Hauptargumente für das höhere Alter der Gneiße — die Existenz von Gneißgeröllen in der unteren Trias —, wird von ihnen geleugnet; es handelt sich nach ihnen garnicht um Gerölle, sondern teils um zerdrückte aplitische Apophysen, teils um Einschlüsse, die mit den Eruptivgneißen nicht identifiziert werden können. Nach Rothpletz ist auch durchaus keine absolute Konkordanz der Gneiße mit ihrem ursprünglichen Hangenden zu

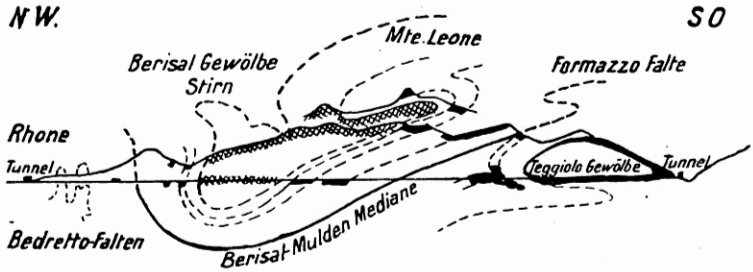


Fig. 32. Simplonprofil. Nach Rothpletz. Nur Beobachtetes ist eingezeichnet (Oberfläche, Tunnel). Schwarz — Gneiß; gestrichelt — Berisalschiefer; weiß — mesozoische Schiefer und Trias. Die hypothetischen Verbindungen sind durch Linien angedeutet.

beobachten; die Wechsellagerung soll oft den Charakter der Intrusion (Apophysen von Gneiß in Schiefer, Lagergänge) tragen. Einige Gneißvarietäten, wie der Lebendungneiß, die von den Verfassern der Simplonkarte (III 7) als Sedimentgneiße angesehen worden sind, glaubt Rothpletz mit Sicherheit als Eruptivgneiße mit Schiefereinschlüssen ansprechen zu können. Nur die Serie der Berisalgneiße ist nach ihm sicher paläozoisch.

Nach Rothpletz sind also die Eruptivgneiße (Antigorio, Lebendun, Monte Leone u. a.) jedenfalls nachjurassisch, aber wohl noch vor der Faltung in die Triasdolomite und Juraschiefer der Bedrettomulde eingedrungen.

Daß sich aus dieser Umdeutung der Stratigraphie auch eine vollständige Umdeutung der Tektonik ergibt, liegt auf der Hand (Fig. 32). Die Überlagerung der Juraschiefer durch die Eruptivgneiße verliert ihre tektonische Bedeutung und die mittlere liegende Falte des Leone-Ofenhorn-Gneißes mit ihren unteren Abzweigungen

(Valgrande-Lebendungneiß) fällt als tektonische Einheit fort; diese mittleren Gneißmassen hätten dann also die Bedeutung von Intrusivlagern in der großen Mulde der Bedrettoschiefer. Ebenso sind dann die zwei im nördlichen, steilgestellten Teil der Mulde eingeschalteten kleineren Gneißpartien von Ganter und Eisten nicht

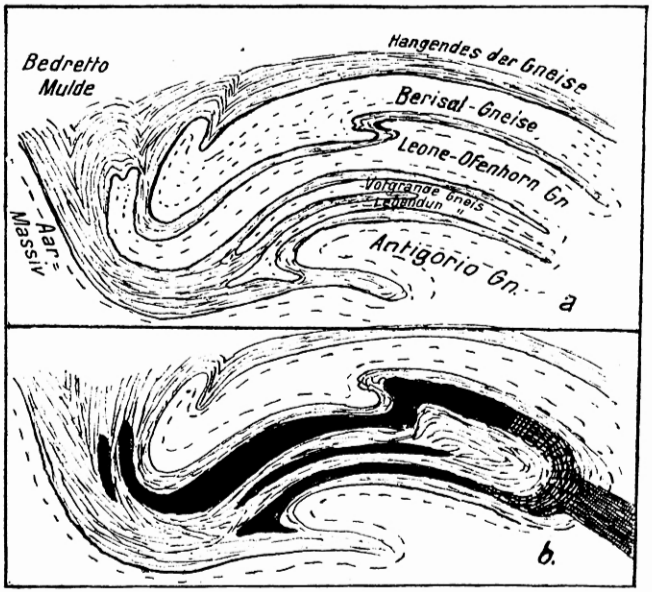


Fig. 33. Schema der Simplonfaltung nach a) der Deckentheorie und b) Rothpletz. Die Morphologie der Oberfläche ist nicht berücksichtigt. Die nach Rothpletz intrusive Natur der mittleren Gneißmasse kommt durch andere Signatur (schwarz) zum Ausdruck. Daß sich Leone- und Valgrande-Gneiß durch Muldenumbiegung zu einem Intrusivlager verbinden, ist durchaus hypothetisch und von Rothpletz nicht direkt behauptet worden. Es kann sich natürlich auch um zwei getrennte Lager handeln. Die Annahme wurde gemacht, um einen Vergleich mit a) zu ermöglichen. Auch der „Stiel" dieses Intrutivlagers ist hypothetisch und nur der Anschaulichkeit halber eingefügt.

als gedoppelte und zurückgebogene Stirn der Leonedecke, sondern als Intrusionen anzusehen (Fig. 33).

Bestehen bleibt allerdings auch bei dieser Auffassung die große Überfaltung der Juraschiefer durch die alten Berisalschiefer mit ihrer merkwürdigen Komplikation am Gipfel des Monte Leone (Rückfaltung) und, im Süden des Gebietes, das große liegende Teggiologewölbe mit seinem Kern aus Antigoriogneiß über Glanzschiefern. Von Norden nach Süden unterscheidet mithin Rothpletz drei tektonische Elemente: 1. die Bedrettomulde mit stehenden Falten von Jura und Trias; 2. die große Überfaltung der Berisalgneiße

über den südlichen, liegenden Teil der Bedrettomulde; 3. die Teggiolofalten im Süden des Gebietes. Das Streichen der drei Einheiten steht schiefwinkelig aufeinander, was ihre gegenseitige Unabhängigkeit beweisen soll.

Für das Prinzip der Deckentheorie ist diese Auffassung allerdings nicht entscheidend; muß doch auch Rothpletz hier große Überfaltungen aus Süden zugeben. Es handelt sich also nicht sowohl um das Prinzip, als um Einzelheiten, die aber in anderer Hinsicht von großer Bedeutung sind.

Die Akten über die großen inneralpinen Massive und ihr Alter sind noch keineswegs geschlossen. Zwar hat Preiswerk (III 4) in einer Erwiderung auf die Arbeiten von Klemm, Rothpletz und Arndt seine Auffassungsweise über das archäische Alter der Gneiße festgehalten. Auch Alb. Heim hält noch unbedingt daran fest (I 6) und bezieht sich auf das Fehlen typischer Kontaktmetamorphose zwischen Gneiß und Schiefer. Doch läßt sich nicht verhehlen, daß bisher keine Partei restlos überzeugende Gründe für ihre Auffassung ins Feld geführt hat. Es ist noch keineswegs sicher, daß den Eruptivgneißen der inneren Alpen nicht, wenigstens zum Teil, ein jüngeres Alter zukommt; man weiß ja heute, daß z. B. das Adamellomassiv sicher posttriadisch, der Disgraziagranit im Bergell sicher tertiär ist, da er mehrere Deckenkontakte durchbricht.

Eine Überlegung, die mir für diese Frage wichtig scheint, sei hier noch angeführt. Aus den Walliser Profilen von Argand, von denen die Schweizer Geologen zu betonen lieben, daß sie nicht auf Phantasie, sonden auf tatsächlichen Beobachtungen beruhen, kann man entnehmen, daß über den Simplonfalten noch ein ganzes Paket von Decken gelegen hat, deren Mächtigkeit auf 30 Kilometer zu veranschlagen ist (die Bündner Profile von Staub ergeben sogar mehr). Die Simplonfalten müssen also in großer Tiefe, bei einer Temperatur von gegen 1000° und bei einem Druck von etwa 8000 Atmosphären entstanden sein, da sie nach Argand in der letzten (Monte Rosa) Phase sich unter den übrigen penninischem Decken entwickelten. Damit rücken sie aber fast in den Bereich der magmatischen Zone (die z. B. Wolf schon bei 30 bis 40 Kilometer Tiefe annimmt). Nun ist eines von vornherein klar: über das Fehlen kontaktmetamorpher Erscheinungen an den Schiefern darf man sich bei dieser Tiefenlage, welche den ganzen Komplex in die Zone starker reginalmetamorpher Veränderungen rückt, nicht mehr wundern. Wenn nun auch bei dieser Tiefe der maximale Schmelz-

punkt der Silikate noch nicht erreicht ist, so liegt doch eine weitgehende Plastizität der beteiligten Gesteine schon durchaus im Bereich der Möglichkeit. In diesem Falle darf aber von einem gerichteten tektonischen Druck kaum mehr geredet werden; die Kompressionserscheinungen würden mehr hydrostatischen Gesetzen gehorchen und wir hätten Übergangserscheinungen zwischen starrer Tektonik und flüssigen Intrusionsvorgängen zu erwarten. Die Intrusion wäre hier gewissermaßen eine „Tektonik mit hochplastischem Material“ in dem vor kurzem von Cloos geprägten Sinne[1]), und so könnte sich der Widerspruch der verschiedenen Ansichten bis zu einem gewissen Grade auflösen.

Jedenfalls sind hier die Rothpletz'schen Einwände besser begründet als in den Freiburger Alpen. Das Prinzip der Deckentheorie bleibt von ihnen unberührt; nur wird durch die Komplizierung der Lagerungsverhältnisse eine Vereinfachung der Tektonik erreicht.

3. Das geotektonische Problem der Glarner Alpen.

Wohl kein anderes Gebiet der Alpen eignet sich so ausgezeichnet zur Demonstration der verschiedenen tektonischen Auffassungsmöglichkeiten in einem alpinen Gebirge, wie die Glarner Alpen. Liegt doch für diese Gegend eine ausführliche geologische Karte von Heim und Oberholzer (V 21) vor, über deren Genauigkeit zwischen allen Beobachtern vollkommene Übereinstimmung herrscht. Ja, man kann fast noch mehr sagen: schon vor dem Erscheinen dieser Karte standen die wichtigsten tatsächlichen Beobachtungen fest, so daß es hier lediglich Unterschiede in der Deutungsweise sind, welche zum Teil so ganz auseinandergehende Auffassungen gezeitigt haben.

Was ist nun der tatsächliche Befund, und worin divergieren die Ansichten? (Vergleiche auch Fig. 19, S. 33).

Längs der geschwungenen Linie des Rheintales zwischen Ilanz und Maienfeld grenzen die helvetische und die penninische Fazies aneinander. Nördlich und westlich von hier ist helvetisches Deckenland. Von Tamins gegen Norden ansteigend kommt man über Verrucano (Perm) in mächtige Jurakalke; diese biegen gegen Norden in eine große liegende Synklinale um und an der Ringelspitz liegt über ihrem allerdings durch Auswalzung stark verdünnten Komplex wieder Verrucano. Steigt man von hier gegen Norden, gegen das Calfeuser Tal ab, so kommt man über den verkehrten ausgewalzten

[1]) Zeitschr. d. geol. Ges. Bd. 70. 1918.

Malm in eozänen Flysch, welcher also die ganze verkehrte Serie Jura-Verrucano unterlagert. Dieser Flysch ist als breiter NO streichender Streifen durch das ganze Glarner Land vom oberen Linthtal bis Pfäffers im Rheintal zu verfolgen und bildet eine zentrale morphologische Depression im Massiv der Glarner Alpen. Verfolgt man das Profil weiter gegen Norden, so stößt man am Foostock wieder auf den ausgewalzten Malm und darüber auf Verrucano. Auch hier liegt also wieder eine anormale Überlagerung

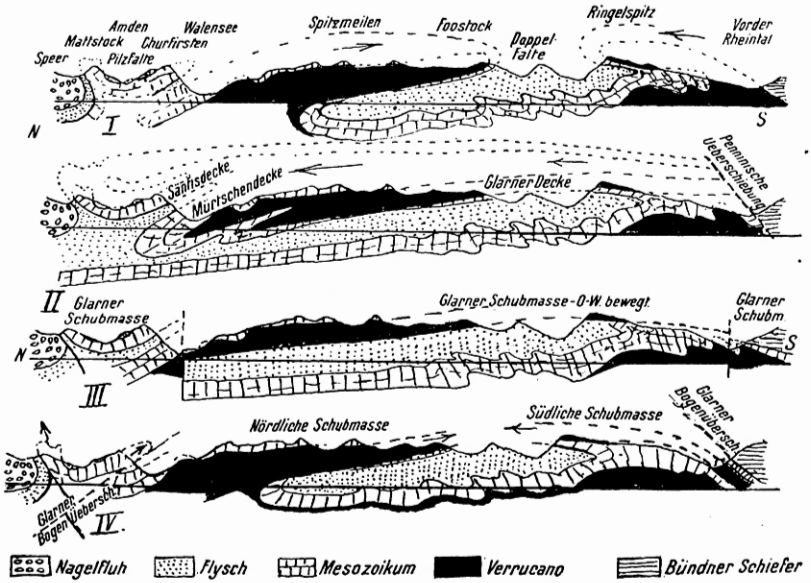


Fig. 34. Die vier Auffassungen vom Bau der Glarner Alpen. I: Die Doppelfalte; II: Die Überfaltungsdecke: III: Die O-W-bewegte Schubmasse (Rothpletz); IV: Die kurzen Schübe (Mylius).

vor. Am Mürtschenstock erreicht man dann wieder den normalen hangenden Malm des Verrucano und dieser senkt sich ziemlich steil gegen den Walensee herunter, hier von Kreide überlagert. Auf der Kreide liegt am Walensee Eozän, aber darüber erscheint in den Churfirsten wieder ein mächtiges Kreidepaket, welches sich gegen NW zu einer Mulde verbiegt (Amden) und von Eozän überdeckt wird, dann aber im Säntis und Mattstock wieder in die Höhe kommt. Weiter im Norden ist es einem neuen Flyschband und dann der Molasse aufgeschoben.

Soweit das tatsächliche Bild, welches sich in zahlreichen Querprofilen in großen Zügen wiederholt. Daß diese Lagerungsform ganz bedeutende Überschiebungen voraussetzt, hatte man schon

sehr frühzeitig erkannt. Die erste Deutung (Escher, Heim) ging von der Vorstellung der berühmten Doppelfalte aus: die südliche Malm-Verucanomasse (Rheintal-Ringelspitz im Profil) ist als liegende Falte von Süden gegen Norden geschoben worden, die nördliche (Walensee-Foostock) von Norden gegen Süden (Fig. 34 I). Die zentrale Flyschmasse bildet eine beiderseits überschobene, fächerförmig nach unten sich verbreiternde Mulde; die beiden überschobenen Flügel haben in einiger Entfernung voneinander halt gemacht und ihre frontalen Gewölbeumbiegungen sind heute durch die Erosion zerstört. Die Überschiebung am Walensee sollte auch von Norden ausgehen, die nördlich vom Säntis von Süden, so daß hier Säntis und Churfirsten als eine pilzförmige, nach oben verbreiterte Antiklinale über dem Untergrund liegen würden.

Diese Auffassung, die lange Zeit als eiserner Bestand der alpinen Geologie galt, wurde zuerst von M. Bertrand (V 4) und Suess bezweifelt, welche schon an eine einheitliche Überschiebungsmasse glaubten. Deutlich und klar ausgesprochen hat diese Auffassung zuerst Rothpletz (V 23). Er sah in dem Glarner Gebiet keinen Doppelmechanismus, sondern eine einheitliche Überschiebungsmasse, die ursprünglich auch den zentralen Flyschstreifen bedeckte; nicht die Antiklinalcharniere zweier Überfaltungsdecken, sondern eine einheitliche Verrucanomasse sei hier von der Erosion entfernt worden und der zentrale Flysch bildet ein Fenster (Fig. 34 III). Die Überschiebung des Flysch am Walensee ist die gleiche Schublinie, nur durch eine Verwerfung im See in ein höheres Niveau verstellt. Diese ganze Schubmasse kommt aber nach Rothpletz aus dem Osten und bildet keine Überfaltung, sondern eine Schollenüberschiebung; der sogenannte liegende ausgewalzte Mittelschenkel ist nichts weiter wie eine tektonische Breccie.

Als dann Lugeon die große Umdeutung der Alpen im Sinne der Deckentheorie unternahm, erfuhr auch die Glarner Tektonik eine ganz neue Deutung in dem Sinne, welchen M. Bertrand und Suess vorgezeichnet hatten. Gleich Rothpletz sieht auch die Deckentheorie in der Glarner Überschiebung eine einheitliche, nur in der Mitte durch Erosion zerstörte Schubmasse, die aber, im Gegensatz zu seiner Annahme, aus dem Süden kommt und sich aus einer liegenden Falte mit ausgequetschtem Mittelschenkel entwickelt haben soll. Die auf Flysch ruhende Masse Säntis-Churfirsten ist aber nicht die gleiche Decke, sondern eine höhere Deckfalte, oder besser eine Abzweigung der großen Glarner Decke, so daß am Walensee übereinander liegen müssen: 1. Autochthones Gebirge

und Flysch; 2. Jura und Kreide der Mürtschendecke (tieferer Teil der großen Glarner Decke); 3. Flysch und Kreide der Churfirsten (Säntisdecke). Die ganze Bewegung erfolgte durch Druck von Süden (Fig. 34 II).

Was verschaffte nun dieser neuen Theorie allgemeine Zustimmung und was veranlaßte sogar den eifrigsten Verfechter der Doppelfalte — Alb. Heim —, von der früheren Auffassung abzugehen? Zuerst waren es natürlich Gründe allgemeiner Natur. Nahm man für die gesamten Alpen eine einheitliche Bewegung aus Süden an, so lag gar kein Grund vor, für die Glarner Alpen eine Ausnahme zu machen, sofern die neue Auffassung den tatsächlichen Verhältnissen keinen Zwang antat. Bestimmend im einzelnen kam hinzu, daß man ja nie auch nur Andeutungen der Antiklinalenumbiegungen der „Doppelfalte" finden konnte, daß also dieser Angelpunkt der alten Theorie eigentlich immer unbewiesen bleiben mußte. Ferner wies Heim selber darauf hin, daß man in den Flyschfalten unter der Glarner Decke wohl stets Anzeichen einer Bewegung nach Norden gesehen hat, aber nie solche in umgekehrter Richtung. So sprach vieles für die neue Theorie und kaum etwas dagegen.

Freilich, einige wichtige Punkte werden von den Alluvionen der Linth, des Rheins, von den Wässern des Walensees verdeckt; andere hat die Erosion zerstört. So ist es zu erklären, daß die „Doppelfalte" in den Arbeiten von Mylius eine Art Auferstehung gefeiert hat. Für das Zentrum der Glarner Alpen nimmt Mylius wiederum zwei Überschiebungen — eine von Süden, die andere von Norden an. Der Unterschied gegen die Doppelfalte liegt nur darin, daß es sich hier eher um Schollen- als um Faltenüberschiebungen handelt. Die Säntis-Churfirstengruppe erscheint auf seinem Profil wieder als eine Art Pilzfalte, von zwei nach oben divergierenden Überschiebungsklüften umsäumt. Um verschiedene Einzelheiten des Baues deuten zu können, zieht Mylius eine von diesen bogenförmig um die ganze Osthälfte der Glarner Alpen bis in das vordere Rheintal herum (Glarner Bogenüberschiebung), muß aber überdies noch einige weitere, sich zum Teil in komplizierter Weise kreuzende Störungslinien annehmen, um allen Erscheinungen gerecht zu werden. Die entscheidenden Punkte liegen dann leider immer in den Talalluvionen, so daß eine direkte Kontrolle unmöglich erscheint (Fig. 33 IV).

Wie Mylius diesen ganzen komplizierten Bewegungsapparat erklärt, der notwendig wird, um der Deckentheorie zu entgehen,

werde ich an einer späteren Stelle auseinandersetzen. Hier sei zunächst festgestellt, daß die Tatsachen im wesentlichen die gleichen sind, die Deutung aber anscheinend eine verschiedene sein kann. Welcher ist nun der Vorzug zu geben, wenn die Lokaltektonik allein keine sichere Entscheidung zuläßt? Hier scheint mir in den faziellen Verhältnissen, die Arn. Heim studiert und betont hat, ein wichtiger, wenn nicht entscheidender Gesichtspunkt zu liegen (V 15, 17).

Die Ausbildung der Kreide in den einzelnen Decken zeigt große Unterschiede der Fazies und der Mächtigkeit, Unterschiede, die unerklärlich wären, wenn die Schichtpakete ursprünglich ebenso aneinander gegrenzt hätten, wie heute. Wickelt man aber die Decken ab, d. h. versetzt man jede an den ihr nach der Theorie zukommenden Ausgangspunkt, so erhält man ein ganz allmählich und stetig sich veränderndes Faziesprofil. Wir kommen auf diesen wichtigen Gedankengang noch später zurück.

Arn. Heim hat wohl recht, wenn er betont, daß die Gegner der Deckentheorie vor allem diese Verhältnisse befriedigend deuten müssen, wenn sie eine andere Auffassung des Gebirges vorschlagen (IX 12). Das hat Mylius nicht getan und dasselbe ist gegen Rothpletz einzuwenden. An dem Übereinander mehrerer weit verfrachteter Decken im Glarner Land ist nicht mehr zu zweifeln.

Dagegen hat Rothpletz in einer Frage wenigstens zum Teil recht behalten: Die Bewegung der Decken ist nicht rein von Süden nach Norden erfolgt, sondern ihre Richtung weicht ziemlich stark gegen Westen ab. Das äußert sich nach Arbenz besonders in den tieferen helvetischen Decken und damit kommen wir auf eines der wichtigsten Probleme der alpinen Geologie, auf die Bedeutung der longitudinalen Schübe an der Grenze der Ost- und Westalpen, deren Vorhandensein heute kaum mehr zu leugnen ist.

4. Die ostalpine Grenze und die Ost-West-Bewegungen.

a) Allgemeines.

Als Hauptvorzug der Deckentheorie gegenüber anderen Erklärungsversuchen haben wir die Möglichkeit gesehen, alle tektonischen Erscheinungen auf eine einheitliche, von Süden nach Norden gerichtete Bewegung zurückzuführen. Gegenüber allen bisher betrachteten Deutungsversuchen hat diese Möglichkeit schließlich einen deutlichen Ausschlag zugunsten der Deckentheorie gegeben. Wir wenden uns jetzt einem Gebiete zu, wo diese Einheitlichkeit an-

scheinend nicht mehr streng durchzuführen ist, wo wir die deutlichen Spuren auch anders gerichteter Bewegungen nicht verkennen können und wo notgedrungen die Frage auftaucht, ob die Deckentheorie diesen neuen Tatsachen gegenüber als einheitliches Erklärungsprinzip versagt, oder ob sie sich diesen in irgend einer Form anpassen kann.

Die Bedeutung des Rheintales als wichtiger Strukturgrenze innerhalb der Alpen mußte frühzeitig auffallen; sie tritt auch auf

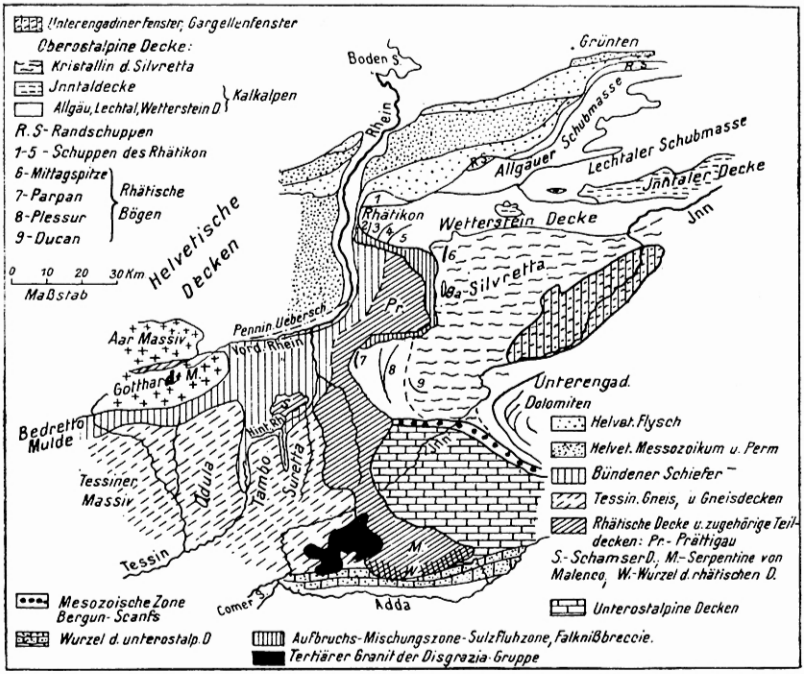


Fig. 35. Kartenskizze der Grenze von Ost- und Westalpen.

jeder geologischen Karte deutlich hervor. In orographischer Hinsicht hat schon Mojsisovics auf die Erniedrigung des Gebirges längs dieser Linie hingewiesen (Fig. 35).

Von den helvetischen Decken findet höchstens die nördliche — das Säntisgebirge — eine deutliche Fortsetzung jenseits des Rheins in den Kreideketten des Vorarlbergs und des Bregenzer Waldes; doch ist auch hier eine Knickung im Streichen (Sigmoide des Rheins) zu beobachten. Alle südlicheren Zonen, insbesondere die Glarner Decken, verschwinden im Rheintal. Auf seiner öst-

lichen Seite breitet sich zunächst die eintönige Kalkschieferlandschaft des Prättigaus aus, die als eine Verbreiterung der penninischen Zone anzusehen ist. In dem NO gerichteten Stück des Rheintales ruht sie vermittelst einer Überschiebung den helvetischen Wurzeln auf.

Doch die eintönige Landschaft des Prättigau hält nicht weit gegen Osten an; mauerartig erheben sich bald darüber die steilen Wände des Rhätikon, Mittagspitz, Parpan und Plessurgebirges. Damit taucht ein neues tektonisches Element auf — die westlichsten Ausläufer der nördlichen Kalkzone und der kristallinen Zentralzone der Ostalpen.

Es unterliegt nun keinem Zweifel, daß die Bündner Schiefer des Prättigaus unter die Kalk- und Gneißmassen von Rhätikon und Silvretta einfallen. Wichtig ist ferner die schon in der Übersicht festgestellte Tatsache, daß etwa 35 Kilometer östlicher, im Unterinntal, die Bündner Schiefer wieder auftauchen; sie erscheinen dort zu einem großen Gewölbe aufgestaut und fallen allseits deutlich unter die Gneiße ein. Dieses Unterengadiner Fenster, welches unter einer allseitigen ostalpinen Bedeckung heraustritt, wurde für die Auffassung dieses Alpenteiles als Deckenland entscheidend. Da nun auch längs dem Nordrand die nördliche Flyschzone mehrfach unter die Kalkalpen einfällt, so mußte man folgerichtig zu der Anschauung gelangen, daß wenigstens im Westen die Ostalpen auf einer fremden Unterlage schwimmen. An der Grenze der Bündner Schiefer und der oberostalpinen Decke tritt ferner eine Zone ganz eigentümlicher Art zutage — ein ziemlich regelloses Gemisch von Schollen verschiedenen Alters und verschiedener Ausbildung. Diese „Mischungszone“ wurde mit ähnlichen Vorkommen am Südrande des Flyschstreifens zusammengestellt und ferner mit ganz analogen Gesteinen verglichen, die am Rande des Engadiner Fensters die Bündner Schiefer umrahmen. Zunächst versuchte nun die Deckentheorie in die verschiedenen Gesteine dieser Mischungszone eine Gesetzmäßigkeit hineinzubringen und darin Äquivalente der höheren Decken der Mittelschweiz und der Freiburger Alpen zu finden. Wenn nämlich die ostalpine Masse auf einer Bündner Schiefer-Unterlage schwimmt, so mußte folgerichtig angenommen werden, daß dieser Überschiebungsvorgang auch von Süden nach Norden stattgefunden hat (Fig. 22, S. 39). Die ostalpine Decke wäre also das höchste Element des gesamten Deckenkomplexes und ihre auffallende Westgrenze wäre demnach nur durch Erosion bedingt. Eine genauere Erforschung Graubündens zeigte jedoch bald, daß

diese Deutung auf einige bedeutende Schwierigkeiten stieß. Wohl ließen sich Äquivalente der rhätischen Decke in weiter Verbreitung nachweisen, die Identifizierung der anderen „lepontinischen" Decken erschien aber kaum möglich. Die eigentümliche Mischungszone an der Unterkante der ostalpinen Decke erschien vielfach nur als eine tektonische Reibungsbreccie, als ein Gemisch von Schollen verschiedener Herkunft, welche dem Vorschub höherer Decken ihre heutige Lage verdanken. Staub und Zyndel glauben neuerdings darin die verdrückten Stirnteile einiger unterostalpiner Decken des Engadin wiederzufinden und auf dieser Basis die Parallelisierung mit den Westalpen wieder durchführen zu können. Dann wären auch die Decken der Freiburger Alpen unterostalpin und der Name lepontinisch wäre ganz fallen zu lassen.

Doch war das alles schließlich für die Beurteilung und die prinzipielle Bewertung der Deckentheorie nicht maßgebend; denn alle diese neueren Untersuchungen von Staub, Zyndel, Trümpy und Cornelius stehen im Prinzip auch auf dem Boden der Deckentheorie und die Differenzen drehen sich um lokale Fragen der Aufeinanderfolge, Verbreitung und Gestalt der Decken. Der Deckentheorie fremde Gesichtspunkte wurden zuerst von Rothpletz, dann von Mylius in das Bündner Gebiet hineingetragen und schließlich haben Ampferer und Hammer einerseits, Spitz und Dyhrenfurth andererseits eine Fülle von Beobachtungen gesammelt, die zum mindesten eine starke Revision der deckentheoretischen Auffassung verlangen.

Es ist ein bleibendes Verdienst von Rothpletz (VI 10), zuerst auf eine Erscheinung hingewiesen zu haben, deren Bedeutung für die Geologie von Graubünden erst jetzt nach und nach in Erscheinung tritt. Es sind das die Bewegungen von Osten nach Westen, deren Spuren Rothpletz sowohl in der nördlichen Kalkzone als auch besonders vielfach am Westrand der ostalpinen Masse, im Rhätikon und bei Tiefenkastel entdeckt hat. Gewaltige Überschiebungen leugnet auch Rothpletz keineswegs; auch das Unterengadiner Gebiet wird von ihm als Fenster gedeutet. Man kann sogar vielleicht sagen, daß Rothpletz als erster die überragende Bedeutung großer flacher Massenüberschiebungen in den Alpen erkannt und betont hat. Der Unterschied liegt aber erstens darin, daß es nach ihm nicht aus Falten entstandene Decken sind, die den Gebirgsbau beherrschen, sondern flache Schubschollen, riesige Schuppen, längs einer flachen Kluft vom Untergrunde abgespalten und über große Entfernungen horizontal verfrachtet. Der zweite

Unterschied ist eben der, daß diese Bewegung nicht von Süden nach Norden, sondern von Osten nach Westen stattgefunden haben soll. Die ganzen Ostalpen wären zwischen zwei seitlichen Klüften im Norden und Süden wie ein Riegel nach Westen, auf die Bündner Schiefer aufgeschoben worden. Auf die allgemeine regionale Kritik der Rothpletz'schen Auffassung werde ich erst später eingehen; vom lokaltektonischen Standpunkt ist zunächst zu sagen, daß im südlichen Graubünden und im Engadin durch die neuesten Aufnahmen doch eine Übereinanderlagerung von mehreren Decken mit deutlichem Süd-Nordschub festgestellt worden ist, was sich nicht mit dem einheitlichen Schub einer großen Masse von Ost nach West verträgt. Anders steht es mit dem Nachweis von Ost-Westschüben weiter im Norden. Das Vorhandensein solcher wurde in neuester Zeit mehrfach behauptet. In Kürze seien einige der wichtigsten Ergebnisse dieser Untersuchungen zusammengestellt.

Im Räthikon, d. h. im nördlichsten Teil der ostalpinen, aus mesozoischen Kalken und kristallinen Schiefern bestehenden Masse, beobachtete und kartierte Mylius eine Reihe von Schuppen triadischer und jurassischer Kalke, welche durch eigentümliche Quetschzonen, erfüllt mit jüngeren Schiefersedimenten (Flysch) getrennt werden (VI 8). Diese Quetschzonen streichen im nördlichen Teil des Rhätikon NO—SW, im mittleren Nord-Süd, bilden mithin eine Reihe von gegen NW konvexen Bögen. Die innerste östliche Schuppe besteht aus kristallinen Schiefern. Die Schuppen überlagern sich also dachziegelartig von Westen nach Osten und lassen so unverkennbar einen nach Westen gerichteten Bewegungsmechanismus erkennen. Die westlichsten liegen sicher dem basalen Gebirge (helvetische Kreide, Prättigauflysch) auf. Für die östlichen wird das von Mylius bestritten; absolut gültige Beweise für oder gegen sind ja kaum je zu erbringen. Betrachtet man aber die Mylius'schen Profile, so sieht man, daß diese Schuppenreihe, um ein anderweitig angewandtes Kriterium von Ampferer anzuwenden, durch eine Bewegungsfläche oder ein Netz von solchen vom Untergrunde abgelöst sein muß; wie weit diese Ablösung geht, wie weit die Deckscholle über das basale Gebirge vorgetrieben worden ist, läßt sich in einem begrenzten Gebiet kaum entscheiden. Und hier liegt ein grundlegender Fehler von Mylius, auf den schon Lachmann (X 10) aufmerksam gemacht hat: indem Mylius vom Rhätikon gegen Süden fortschreitet, findet er überall, im Gargellengebiet, im Plessurgebirge und bis Tiefenkastel, Anzeichen einer Schuppenstruktur. Bei Gargellen muß er sogar ausdrücklich zugeben, daß hier ein

echtes Fenster, ein Hervorschauen von Flysch und Tithon unter kristallinen Schiefern vorliegt. Er glaubt aber auch hier mit kleinen Bewegungen bis zu 6 Kilometer auskommen zu können. So wird das ganze Gebiet in eine Reihe von kleinen Schollen zerlegt, in denen die verschiedensten Bewegungen, sei es von Süd nach Nord, oder von Ost nach West, ja sogar von Nord nach Süd stattgefunden haben müssen. Jede Teilscholle für sich bekommt dadurch eine brauchbare mechanische Erklärung, die regionale Zusammenfassung offenbart aber ein ungeheuer kompliziertes Bild, zu dessen Erklärung Mylius eine immerhin sehr gezwungene Theorie aufbaut, die wir erst später zu besprechen haben werden. Man gewinnt den Eindruck, daß jedes neue Teilgebiet, welches in die Untersuchung einbezogen wird, nicht eine Ergänzung des aufgestellten Gesamtbildes liefert, sondern immer wieder einer neuen, lokalen Erklärung bedarf, die mit den vorhergehenden erst mühsam in Einklang gebracht werden muß.

Doch wie dem auch sei — einen wichtigen Nachweis verdanken wir Mylius — das ist der ziemlich sichere Beweis, daß im ganzen Gebiet der ostalpinen Westgrenze neben der Süd-Nordbewegung auch Schübe gegen Westen vorgekommen sind. Zu einem ähnlichen Ergebnis, zu der Feststellung, daß die Ostwestschübe an der Grenze stark vernachlässigt worden sind, kommt auch Ampferer in seinem noch zu besprechenden Profil durch die Ostalpen. Aber besonders scharfe Beweise dafür haben in neuester Zeit Spitz und Dyhrenfurth gebracht (VI 14). In den westlichen Teilen der großen Silvrettamasse liegen nach ihnen eingefaltet die Triaskomplexe des Ducan- und Plessurgebirges und der Parpaner Scholle. Sie haben einen auffälligen bogenförmigen Verlauf mit nach Westen gekehrter Konvexseite und mit einem längeren nordöstlichen und kürzeren südöstlichen Ast. Es sind das eine Reihe von Faltenbögen, zu denen als vorderster die Schuppen des Rhätikons gehören und die sich deutlich von Westen gegen Osten aufgestaut haben. An diese rhätischen Bögen schließt sich weiter im Südosten, südlich vom Engadiner Fenster, das Gebiet der Unterengadiner Dolomiten an, welche nach Spitz und Dyhrenfurth (VI 15) einen ganz ähnlichen Bau besitzen: auf der kristallinen Unterlage der Münstertäler Gneißmasse liegen nach Osten gekehrte Bogenfalten von Trias (Unterbau), darüber, durch Abscherungsflächen getrennt und die unteren Falten gleichsam niederdrückend und ausbügelnd, ein Oberbau von höheren Triashorizonten und endlich, als höchster Rest eine kristalline Decke, deren Ur-

sprung auch im Osten zu suchen ist (Ötztalermasse) (vergleiche Fig. 26 s).

Neuerdings hat dann auch Staub eine Reihe von Nord bis Süd streichenden Querfalten aus den unterostalpinen Decken beschrieben (VI 23).

Eines geht aus allen diesen Arbeiten mit vollkommener Deutlichkeit hervor: an der Existenz ausgedehnter Ost-West-Bewegungen am Rande der Ostalpen ist garnicht mehr zu zweifeln. Damit gewinnt aber auch die Ansicht an Wahrscheinlichkeit, daß es sich bei der auffallenden Rheingrenze nicht um einen zufälligen Erosionsrand handelt, wie das die Deckentheorie annahm, sondern um einen wichtigen Zug im tektonischen Gesamtbild des Gebirges.

Ferner geht aus alledem ein mechanisch wichtiger Schluß klar hervor: mit der alleinigen Annahme von Süd-Nord-Bewegungen, mit dem starren Festhalten an diesem einheitlichem Schema, kommt man hier nicht durch. Damit gerät aber auch das Prinzip der Einheitlichkeit der Bewegung, eines der Hauptargumente der Deckentheorie, ins Wanken; es ist das unleugbar eine der schwierigsten Klippen, welche die Deckentheorie zu umsegeln hat.

Das ist denn auch von den Schweizer Geologen in neuester Zeit mit aller Schärfe erkannt worden und insbesondere haben Arbenz und Staub zu dieser Frage Stellung genommen.

Staub (VI 23) versucht noch durchaus, an der Einheitlichkeit der Süd-Nord-Bewegung festzuhalten. Ein Teil der von Spitz und Dyhrenfurth beobachteten Erscheinungen wird von ihm geleugnet bzw. in seiner Bedeutung stark herabgesetzt; für einen anderen Teil wird aber das abweichende Streichen bestätigt, ja es werden noch eine Anzahl weiterer Belege dafür gebracht. Um nun einer Ost-West-Bewegung aus dem Wege zu gehen und an dem einheitlichen Schub festzuhalten, muß Staub zu einer recht komplizierten Hilfshypothese Zuflucht nehmen. Zunächst stellt er in der Fortsetzung der Untersuchungen von Arbenz (V 2) eine weit gespannte Querwellung in Graubünden fest, einen regelmäßigen Wechsel von Kulminationen und Depressionen; in dieser wechselnd starken Aufstauung der Decken im Streichen können auch die Querfalten begründet sein. Ferner stellt er sich vor, daß der Bogen der ostalpinen Decken beim Vorschub gegen Norden eine immer stärkere Krümmung erhielt; dadurch traten am Außenrande Zerrungen und Erscheinungen der Längszerreißung ein (wie z. B. am Vierwaldstätter See), während in den inneren Teilen umgekehrt eine Stauung in der Richtung des Streichens herrschen mußte, die sich eben in

der Querfaltung äußerte; diese zeigt auch nach Staub recht häufig nach Osten übergelegte Falten, also Bewegungen nach Osten, im Gegensatz zu den früher diskutierten Ansichten.

Dieser Hypothese haftet denn doch viel Gezwungenes an. Es ist zunächst nicht recht einzusehen, wie die Querfaltung des Rhätikon und der nördlichen Kalkzone auf dieser Basis erklärt werden soll — hier müßte doch die übertriebene Krümmung gerade eine Zerrung der äußeren Deckenteile hervorgerufen haben! Auch die Sigmoide des Rheins wird dadurch kaum verständlich. Endlich ist der ganze Prozeß der verstärkten Krümmung beim Vorrücken durchaus hypothetisch und nicht unbedingt einleuchtend. Die ganze Erklärungsweise ist methodologisch und logisch ungemein bezeichnend: um die Einheitlichkeit des Grundprinzips zu wahren, muß zu immer komplizierteren Hilfshypothesen und zu Umdeutungen des Tatsachenbefundes geschritten werden, welcher in diesem Falle doch zunächst unbedingt für Querbewegungen spricht, die nicht aus einem Süd-Nordschub abgeleitet werden können. Darin liegt ja eben die Gefahr eines starren Schematismus, daß er einer Theorie zuliebe auch widersprechende Tatsachen in einen festen Rahmen zwängen will. Sofern es sich um das von Staub im speziellen bewundernswert genau untersuchte unterostalpine Gebiet und überhaupt um die gründlich erforschten Westalpen handelt, sind seine Ausführungen unbedingt überzeugend. Wenn er aber dasselbe Prinzip ohne weiteres auf die Ostalpen überträgt, die noch weniger genau bekannt sind und eine Fülle widersprechenden Materials geliefert haben, überzeugen seine Ausführungen nicht und lassen auch die Möglichkeit einer anderen Erklärung offen.[1])

Eine solche liegt in dem auch von Staub angedeuteten Zurückschwenken der ostalpinen Falten gegen Südwesten, deren Ursache Staub in einer hemmenden Wirkung des Aarmassivs sieht und auf deren Bedeutung besonders Arbenz eindringlich hingewiesen hat (VI 3).

Arbenz versucht zu zeigen, daß in den oberen ostalpinen

---

[1]) Es scheint mir daher auch zum mindesten verfrüht, wenn Staub neuerdings (VI 24) behauptet, die Theorie des Ost-West-Schubes hätte ein gründliches Fiasko erlitten. Mag auch nach den neuesten Forschungen das Gebiet der Unterengadiner Dolomiten in die Unterlage der Silvretta zu stellen sein, was auf m. E. noch nicht restlos überzeugenden stratigraphischen Beweisen beruht, so ist damit über das Prinzip der Bewegung der Silvretta-Decke das letzte Wort noch nicht gesprochen. Verdächtig bleibt ihr von Staub betontes starkes „axiales Gefälle" gegen Osten. Man hat zuweilen den Eindruck, daß von den Deckentheoretikern alles als „axiales Gefälle", d. h. als Falten längs dem Verlauf der Deckenaxe, dekretiert wird, was zum Prinzip der einheitlichen Süd-Nord-Bewegung nicht recht paßt.

Decken Bündens (Silvretta-Rhätikon) ein selbständiger, gegen Nordwest schauender Bogen vorliegt; die unteren ostalpinen Decken streichen dagegen in ihren Einzelfalten mehr ONO; sie bilden einen Winkel von 60° mit dem Streichen der Silvretta. In ihnen reproduziert sich also die Richtung der penninischen Schübe, deren Bogen erst im westlichen Rhonetal gegen Südwesten abschwenkt. Die Grenze beider Deckengebiete in Graubünden (Bergün-Albula-Scanfs) ist eine sehr kompliziert gebaute Region mit Einwickelungen höherer Decken unter tiefere und mit Unterschiebungen. Aus diesen geht deutlich hervor, daß die ostalpinen Schübe etwas älter als die penninischen und zum mindesten älter als ihre endgültige Ausgestaltung sind. Zum gleichen Resultat kommt Arbenz auch bei Betrachtung der helvetischen Decken der mittleren Schweiz. Er weist nach, daß die Glarner und Mürtschendecke, also die tiefsten helvetischen Decken, gegen Westen zu eine Ablenkung des Streichens nach Süden aufweisen, also eine Bogenanlage zeigen, die dem ostalpinen Bogen konform ist. Die höchsten und jüngsten helvetischen Decken dagegen, wie die dem Aarmassiv vorgelagerte Drusbergdecke, reproduzieren wieder den penninischen Schub. So sehen wir auch im östlichen Teile der Zentralschweiz zwei Bögen ineinandergreifen, wobei der ostalpine der ältere sein soll. Bis zu einem gewissen Grade behält also Rothpletz auch für das Glarner Gebiet mit der Annahme eines Ost-West-Schubes recht.

Die Existenz eines ostalpinen Bogens ist auch schon etwas früher von Ampferer und Hammer (VI 1) betont worden. Seine morphologische Bedeutung hat bereits Mojsisovics erkannt. Wenn ich mich an die Darstellung von Arbenz halte, so geschieht das, um besser zeigen zu können, wie sich die Doppelbogen-Anlage dem Deckenschema der Westschweiz einfügen könnte. Im Gegensatz zu Arbenz nehmen die beiden Genannten an, daß die Ost-West-Bewegungen jünger sind, wie die Süd-Nord-Schübe. Was das Richtigere ist, können wohl erst weitere Untersuchungen zeigen; es wäre immerhin möglich, daß bei der Interferenz beider Bögen ein mehrfacher Wechsel der zwei Bewegungsrichtungen stattgefunden hat.

Damit kommen wir aber zu folgender Deutung: Die Ostalpen sind bogenförmig auf ihr nördliches (Flysch) und westliches Vorland (penninische Zone) aufgeschoben. Entsprechend erfolgte der Schub in dem nördlichen Teile gegen Norden, in dem westlichen gegen Nordwesten oder sogar direkt gegen Westen. Das ganze Gebiet Silvretta-Rhätikon schwimmt auf seinem früheren nordwest-

lichen und westlichen Vorland bis mindestens zum Engadiner Fenster. Damit brauchen aber noch durchaus nicht die gesamten Ostalpen auf fremder Unterlage zu liegen; es könnte sich hier nur um bis zu 40 Kilometer betragende randliche Überschiebungen des ostalpinen Bogens handeln, der in seiner Gesamtheit dem französisch-schweizerischen gleichwertig gegenüberstehen würde. Die unterostalpinen Decken gehören in tektonischer Hinsicht noch zum penninischen Komplex, der hier gegen Norden bewegt wurde und erst weiter im Westen abschwenkt. Sie liegen aber an der Stelle, wo sich die penninische und die oberostalpine, gegen Westen gerichtete Anlage schneiden, und aus dieser Interferenz erklären sich ihre oft betonten Komplikationen (Querfaltung, Einwickelung u. a. m.).

Natürlich ist auch diese Auffassung vorläufig hypothetisch; bedenkt man aber, daß die einfache Übertragung der westalpinen Theorie nach dem Osten auf noch weiter zu behandelnde große Schwierigkeiten stößt, so ist ihr eine gewisse Wahrscheinlichkeit nicht abzuerkennen. Denn sowohl das Bewegungsbild als das Alter der Ostalpen stehen den Westalpen fremd gegenüber und der Gedanke, hier ein anderes Erklärungsprinzip walten zu lassen, liegt nahe.

Auf ein ganz allgemeines Problem, welches sich aus diesen Erörterungen ergibt, möchte ich hier noch kurz hinweisen. Das Ineinandergreifen von zwei senkrecht oder schief aufeinander stehenden Faltungsrichtungen ist eine Erscheinung, welche innerhalb der asiatischen Altaiden weit verbreitet ist. Die Arbeiten Muschketov's und Gröber's haben uns damit bekannt gemacht. Ob wir dabei an die Interferenz freier Bogenenden zweier Bögen (Suess), an die erzwungene Umgehung eines älteren Hindernisses (Muschketow) oder an zwei senkrecht aufeinander wirkende Kraftäußerungen (Gröber) zu denken haben, bleibe dahingestellt. Wichtig ist, daß nun ähnliche Erscheinungen auch im Alpidensystem wahrscheinlich werden (vergleiche Spitz und Dyhrenfurth VI 15, S. 233, Anmerkung 5). Hier hat die weiter fortgeschrittene Forschung vielleicht eher die Möglichkeit, diese Probleme einer Lösung näher zu bringen.

b) Die Rothpletz'sche Theorie des Ost-West-Schubes.

Mit kurzen Worten sei hier der Auffassung gedacht, die Rothpletz aus den von ihm zuerst scharf betonten Ost-West-Schüben abgeleitet hat (VI 10). Er sieht in ihnen eine Erscheinung von ganz umfassender regionaler Bedeutung und versucht nach-

zuweisen, daß die gesamten Ostalpen als großer Block auf flacher, sehr langsam gegen Osten einfallender Bewegungsfläche nach Westen vorgeschoben und über ihr Vorland gelegt wurden. Die Trennungslinie im Westen wäre darnach der flache Ausstrich dieser Bewegungsfläche. Der steilgestellte Nordrand der Kalkalpen gegen den Flysch wäre die nördliche Randspalte, die den bewegten Alpenkörper vom ruhenden nördlichen Vorland trennt. Die komplizierte Einzeltektonik dieser Randzone beruht auf Verkeilungserscheinungen und auf dem Reibungswiderstand des nach Westen vorgetriebenen Keiles. Zu der nördlichen Randspalte gehört auch eine analoge im Süden der Alpen, und Rothpletz hat sich viel Mühe gegeben, dieselbe nachzuweisen. Doch ließ sich hier eine ebenso deutliche Grenze wie im Norden nicht finden, wodurch die ganze Erklärung etwas Gezwungenes erhielt.

Aus dieser Auffassung heraus wird auch die Rothpletz'sche Auffassung der Glarner Alpen begreiflich: Die Glarner Decke ist gleichsam nur ein Vorposten der großen rhätischen Überschiebungsmasse.

Daß man auf diese Weise die Klippen der Mittelschweiz und die Freiburger Alpen nicht erklären kann, ohne zu Bewegungen zu greifen, die noch viel größer sind, wie die von der Deckentheorie angenommenen, hat schon Lugeon betont. Hier mußte Rothpletz also außer den Süd-Nord- und den Ost-West-Schüben noch Nord-Süd-Schübe annehmen, und damit auf jede Einheitlichkeit im Bau der Alpen verzichten.

Mechanisch dachte er sich den Vorgang so, daß infolge der Kontraktion Spannungen in allen Richtungen existierten, daß aber nach erfolgtem Zusammenschub mit Ost-West-Streichen in dieser Richtung keine Faltung mehr möglich war (wie ein Wellblech sich nicht in der Richtung der Wellen falten läßt) und daß daher die Spannungen in dieser Richtung durch eine Bewegung im Block ausgelöst wurden. Eine Modifikation dieser Vorstellung, beruhend auf einer Zerlegung der Bewegung in kurze Schübe, stellt die Theorie von Mylius dar, die wir später noch behandeln werden.

c) Das Ampferer'sche Querprofil durch die Ostalpen (VI 1).

(Vergleiche auch Fig. 25, S. 45.)

Das Ampferer'sche Querprofil, welches vom Allgäu über die Lechtaler Alpen, Silvretta, Unterengadin, Ortlergruppe, Tonale, Adamello gegen den Gardasee verläuft, bildet gewissermaßen eine epochale Erscheinung in der Erforschung der Ostalpen und muß

deshalb auch hier kurz für sich besprochen werden, wenn auch die allgemeinen Folgerungen geophysikalischer Art erst im letzten Abschnitt eingehend erörtert werden können. Was dieses Profil für unseren Zweck, den Wert und die Brauchbarkeit der Deckentheorie zu prüfen, besonders wichtig erscheinen läßt, ist die Tatsache, daß hier zwei ostalpine Geologen von anerkanntem Wert als Beobachter und Aufnehmer, welche a priori der Deckentheorie eher ablehnend gegenüberstanden, doch durch den Zwang der Beobachtungen dazu geführt worden sind, einen allgemeinen Bewegungsmechanismus anzunehmen, welcher von den Auffassungen der Deckentheorie nicht allzuweit entfernt ist. Es ist dabei von besonderem Wert festzustellen, daß die Verfasser im ersten beschreibenden Teil stets versucht haben, die Verknüpfung der Einzelerscheinungen auf lokaltektonischem Wege, ohne Zuhilfenahme großer Horizontalbewegungen zu suchen, daß aber die spätere regionale Zusammenfassung sie doch zu einem anderen, großzügigeren Bilde geführt hat. Der Weg, den sie dabei gegangen sind und die Unterschiede, welche sich gegenüber der Deckentheorie ergeben, sind für uns von besonderem Interesse. Ein Kriterium, um die unsichtbare Tiefentektonik einer ausgedehnten Scholle oder eines Faltenbündels zu beurteilen, suchen die Verfasser in dem oberflächlichen tektonischen Gesamtbilde dieser Scholle, in der Gestalt und dem Charakter ihrer tektonischen Erscheinungsformen. Eine ausschlaggebende Rolle spielt dabei der Gegensatz der nach unten geschlossenen oder offenen Strukturformen; ein enggegreßtes Faltenbündel, an dessen Zusammensetzung nur jüngere Schichten beteiligt sind, wo in den Sätteln oder an den Überschiebungslinien keine älteren Schichten auftreten, insbesondere aber fächerförmig sich nach oben verbreiternde Gewölbe, können nicht in unbekannte Tiefen mit gleicher Struktur fortsetzen (vergleiche Einleitung S. 16). Sie müssen gegen unten abgeschlossen sein, abgeschlossen durch eine Bewegungsfläche, welche sie von einem vielleicht auch bewegten, aber anders gestalteten Untergrunde trennt. In der Abscherungsdecke des Faltenjura, dessen Faltung nirgends tiefer als bis zum unteren Muschelkalk verfolgt werden kann, haben wir ein Beispiel dieser Art. Auch in den Kreideketten des Allgäu, die gegen Westen im Säntis fortsetzen, begegnen wir keinen älteren Schichten. Es ist daher außerordentlich wahrscheinlich, daß dieses Kreidegebirge vom Untergrunde losgelöst ist und selbständige Bewegungen ausgeführt hat.

Das Maß horizontaler Verschiebung, die Möglichkeit eines Schubes aus großer Ferne ist dagegen hier, wo der Zusammenhang

nach Süden durch die nächsthöhere tektonische Scholle der Kalkalpen verdeckt erscheint, nicht genau festzustellen. Immerhin muß man am Grünten nach Ampferer mit horizontalen Bewegungen bis zu 10 Kilometer rechnen. Die im Süden anschließende Überschiebung der Kalkalpen über Flysch (Allgäuer Überschiebung von Rothpletz) ist „der Ausstrich einer Bewegungsfläche ersten Ranges, die mit monumentaler Gebärde zwei Gesteinswelten scheidet". In den Kalkalpen tritt die Faltung zurück und flache Überschiebungen herrschen vor. „Eine gewaltige Steintreppe ohne Anstieg" sieht Ampferer in dem Bau der Kalkalpen von Norden nach Süden, ja zum Teil auch von Westen nach Osten, denn auch in dieser Richtung greifen die Schollen übereinander, als Zeichen eines auch hier wirksamen Ost-West-Schubes. Auch hier beschränken sich die Bausteine auf mesozoische Kalke; ältere Gesteine erscheinen erst am Südrande. Es ist aber zu bemerken, daß die älteren Triasschichten in den südlichen Schollen vorherrschen, ein Tiefergreifen der Bewegungsflächen andeutend. Diese allgemeine Struktur weist auch darauf hin, daß wir es hier mit einem ziemlich dünnen Schichtpaket zu tun haben, welches in sich in grandioser Weise geschuppt ist und vom Untergrunde durch eine Bewegungsfläche oder durch ein Netz von solchen getrennt wird. Für einen Teil dieser Zone ist ein Schwimmen auf jüngeren Schichten direkt nachweisbar (Wetterstein-Mimingergebirge). „Die Anschauung von der Deckennatur Nordtirols ist nach dem heutigen Stand der geologischen Erforschung nicht mehr als unmöglich oder auch nur als unbegründet von der Hand zu weisen." Freilich unterscheidet sich der Bewegungsmechanismus dieser Decken in manchen wesentlichen Zügen von den Tauchdecken der Schweiz. Die inversen Bestandteile dieser, das heißt die Mittelschenkel der Überfalten fehlen überall und für ein Hereinkonstruieren derselben in ein Profil hätte man gar keine tatsächliche Unterlage. Ferner besteht ein grundlegender Unterschied darin, daß in den Faltendecken der Schweiz die jüngste gewöhnlich am meisten über die anderen übergreift und mithin den größten Transport erlitten hat. In der „Steintreppe ohne Anstieg" ist gerade das Entgegengesetze der Fall. Ferner bedürfen diese Schollenüberschiebungen keiner Wurzeln, da sie nicht aus Falten hervorgegangen sind und an der Unterseite durchgehend vom Untergrunde losgelöst erscheinen. Heritsch (VII 8) hat darauf hingewiesen, daß die Decken der Kalkalpen im Osten zum Teil ausklingen, indem sie in steilstehende Verwerfungen übergehen; sie besitzen gleichsam Aufhängepunkte und das unterscheidet sie

erheblich von den Faltendecken der Westschweiz. Gegen Süden erscheinen sie mit der anschließenden kristallinen Zone in intensivster, an einen Augengneiß im Großen erinnernder Weise verfaltet; auch das spricht dagegen, daß sie eine selbständige Decke bilden, die für sich über die ganze kristalline Zone hinübergewandert ist.

Dieses kristalline Gebiet zeigt auch einen nach unten abgeschlossenen Bau; seine enggepreßten zum Teil fächerförmigen Falten kann man sich nicht beliebig nach unten fortgesetzt denken. Wenn sie aber auch vom Untergrunde losgelöst sind und selbständige Bewegungen aufweisen, so braucht man zunächst noch nicht anzunehmen, daß diese eine weite horizontale Verfrachtung erfordern. Diese wird erst durch folgende Überlegung wahrscheinlich. Eine stark zusammengeschobene Oberfläche setzt doch, bei der Annahme fehlender horizontaler Verfrachtungen, einen wenn auch auf andere Weise, so doch ebenfalls intensiv zusammengeschobenen Untergrund voraus. Anzeichen dafür fehlen aber sowohl im Westen und Südwesten als auch im Unterengadiner Fenster, wo wir die flache Struktur eines nach unten offenen, autochthonen Faltenbündels vor uns sehen. Es kommt hinzu, daß die Bündner Schiefer des Engadiner Fensters kaum auf so engem Raume abgelagert sein können, sondern Sedimente eines weiteren Meeresbezirkes darstellen. Hierin sieht Ampferer die Gründe, welche mehr für eine großzügige regionaltektonische Bewegung, als für lokale, gegeneinander gerichtete Schübe sprechen. Dasselbe kann man auch gegen die Mylius'sche Auffassung einwenden.

Silvretta und Kalkalpen gehören also auch nach Ampferer einer großen Schubdecke an, die auf fremder Unterlage schwimmt. Es handelt sich aber nur um eine Decke (Obere ostalpine Decke); die fremdartigen Schuppen an ihrer Basis im Unterengadin und die „penninischen" Klippen im Flysch des Nordrandes sind nach ihm keine Reste tieferer Decken, sondern wirr gelagerte Schubfetzen, teils von der Unterlage, teils von der Basis der Decke abgeschürft und regellos durcheinandergemischt.

Weiter im Süden sieht Ampferer in der Gneißscholle über den Engadiner Dolomiten ebenfalls schon Reste einer höheren, von Osten hergeschobenen Decke (vergleiche voriger Abschnitt). So erhält auch er in den Ostalpen einen großzügigen Plan mit ganz erheblichen horizontalen Verfrachtungen, die aber auf Überschiebungen, nicht auf Überfaltungen beruhen, bei denen also auch ein Suchen nach Wurzeln zwecklos wäre. Die Bedeutung der Ost-West-

schübe für diese Gegend hat auch er deutlich erkannt und weist auf den Parallelismus des ostalpinen Nordwestrandes mit der Judikarienlinie hin. Daraus deduziert er aber im Gegensatz zu Rothpletz keine schlittenförmige Bewegung der ostalpinen Masse im Block gegen Westen, sondern ein verschiedenes Verhalten der Randspalten im Norden und Nordwesten (flache Bewegungsflächen) und im Süden (steile Grenzklüfte). Es folgt daraus eine Heraushebung des Alpenkörpers mit einseitiger Verfrachtung nach Norden bzw. nach Westen. Der Unterschied gegenüber der Auffassung vom ostalpinen Bogen ist hier im Prinzip nicht mehr groß. Das Bewegungsbild der Ostalpen erscheint aber nach Ampferer einfacher und für diesen Teil der Alpen tatsachengetreuer, als das der Deckentheorie.

5. Das Problem des Tauernfensters.

Solange man das System der ostalpinen Decken im Sinne der Deckentheorie als von Süden hergewandert ansah und in der Rheintalgrenze einen Erosionsrand, den lateralen Ausstrich der ostalpinen Bewegungsfläche erblickte, konnte man der Konsequenz des Schwimmens der gesamten Ostalpen kaum entgehen. In der Tat zeigen die nördlichen Kalkalpen einen einheitlichen Aufbau bis zum Rande des Wiener Beckens; die kristalline Zentralzone besitzt auch keine Unterbrechung, in der man das Wiederauftauchen des autochthonen Gebirges sehen könnte. Wo war da die Grenze des riesenhaften Überfaltungsvorganges möglich? Es erschien ganz folgerichtig, alles aus dem Süden abzuleiten und die Ausdehnung des Bewegungsmechanismus nach Osten ad infinitum fortgesetzt zu denken — über den Alpenrand hinüber, bis in die Karpathen. Aus diesem Gedankenkreis heraus ist auch die Deutung des Tauernmassivs als riesiges „lepontinisches“ Fenster unter ostalpiner Bedeckung hervorgegangen, konnte auch folgerichtig nicht anders hervorgehen.

Wenn sich nun aber allmählich herausstellt, daß die Bewegung der ostalpinen Decke über das westliche Gebiet vorwiegend vom Ost nach West gegangen ist, daß wir hier eine Art großer Bogenüberschiebung vor uns haben, so ist lediglich daraus das „Schwimmen“ der gesamten Ostalpen nicht abzuleiten; dann wird das Problem des Tauernfensters aus einer notwendigen Folgerung zu dem Hauptstützpunkt der Theorie, mit dessen Lösung diese steht und fällt. Wie steht es nun aber mit diesem wichtigsten Beweispunkt? Die Untersuchungen Sander's (VII 1/3—1/6) und Heritsch's Versuch einer Synthese (VII 5, 9, 10) lassen erkennen, daß hier noch mancherlei

Unklarheiten vorliegen, ja daß einige Beobachtungen direkt gegen die Deutung der Deckentheorie sprechen.

Die Beweisführung der Deckentheorie mit Rücksicht auf das Tauernfenster ist kurz gefaßt die folgende: Im Zentrum des Tauernmassivs liegen die sogenannten Zentralgneiße, umwallt von einer Hülle unten kalkarmer, oben kalkreicher Schiefer unbestimmten Alters; dieser Komplex zeigt eine Anordnung in liegende, nach Norden übergelegte Falten (Simplonschema). Nördlich und westlich davon liegen, der Schieferhülle mit diskordantem tektonischem Kontakt auflagernd, mesozoische Sedimente in lückenhafter, inneralpiner Ausbildung (Ratstädter Tauern, Tribulaun, Brenner). Ein Saum ähnlicher Sedimente scheint in schmalem Zug auch im Süden die Zentralzone zu begleiten. Im Norden liegen kristalline Gesteine den deckenartig zusammengestauten inneralpinen mesozoischen Schichten auf. Mit anormalem Kontakt verschwinden dann diese unter der Grauwackenzone und den nördlichen Kalkalpen (VII 11, 18—21).

Die Gesteine der Tauern- und des inneralpinen Mesozoikums stehen den übrigen Gesteinen der Ostalpen fremdartig gegenüber. Die Zentralgneiße mit ihrer Schieferhülle besitzen weitgehende Anklänge an die Gneiß- und Glanzschieferregion der penninischen Zone. Es ist interessant, daß das gleiche Problem, wie im Simplon, auch hier weitgehend erörtert wird. Es scheint bis heute noch nicht festgestellt, ob die Lagerungsverhältnisse der Zentralgneiße und ihrer Hülle nur auf tektonischen Verlagerungen oder auch auf Intrusion beruhen (VII 1, 5, 10). Das inneralpine Mesozoikum besitzt mannigfache Anklänge an die lückenhafte penninische Serie und steht der viel vollständigeren Schichtenfolge der nördlichen Kalkalpen und der Gailtaler Alpen, die untereinander viel Ähnlichkeit haben, fremdartig gegenüber. Das Untertauchen der Tauerngesteine unter das Kristalline im Norden deutet an, daß hier ein selbständiges Element der Gebirgsbildung unter fremder Umhüllung verschwindet. Die stratigraphisch-petrographische Analogie mit der penninischen Zone zeigt an, daß es wohl dasselbe Element ist, welches im Rhätikon und Unterengadiner Fenster unter ostalpiner Überdeckung auftauchte.

Daraus ist die Deutung der Deckentheorie klar: die Tauern sind ein penninisches Fenster, in dem nach Norden übergelegte Deckfalten vom Simplonschema zutage treten; das inneralpine Mesozoikum der Ratstädter Tauern wurzelt südlich davon (Zone Windischmatrei-Sprechenstein). Das ihnen auflagernde Kristalline der Schlad-

minger Masse noch weiter im Süden; die nördliche Kalkzone in den ihr verwandten Gailtaler Alpen (vergleiche Fig. 28). Dieser Auffassung erwachsen aber bedeutende stratigraphische und tektonische Schwierigkeiten, die in zahlreichen Einzelbeobachtungen liegen. Ich kann hier natürlich nur die allgemeine Linie andeuten, in der sich die Kritik, insbesondere die Sander's und Heritsch's bewegt. Zunächst ist die Tatsache zu betonen, daß sehr viele Gesteine des Tauern-„Fensters" der ostalpinen Fazies nicht so fremdartig gegenüberstehen, wie das die Deckentheorie gewöhnlich annimmt. So scheinen die Zentralgneiße identisch zu sein mit den südlich vom „Fenster" lagernden Maulser Gneißen, die schon zum ostalpinen System gerechnet werden. Die Phyllite der unteren Schieferhülle haben nahe Beziehungen zu den Quarzphylliten südlich von Innsbruck, die wieder deutlich mit der ostalpinen Serie der Stubaier und Ötztaler Alpen verknüpft sind. Einige Grauwacken der Zentralzone (Tuxer-Grauwacken) sind von den paläozoischen Gesteinen der ostalpinen Grauwackenzone nicht zu unterscheiden. Auch im sogenannten inneralpinen Mesozoikum sind vielfache Beziehungen zum ostalpinen System vorhanden: die mesozoischen Gesteine am Brenner bilden direkt einen faziellen Übergang zwischen beiden Serien; die Trias von Mauls, die angebliche Wurzelzone der nördlichen Kalkalpen, hat Beziehungen zur Trias der Tarntaler Köpfe, welche zur penninischen Serie gerechnet wird, und auch zur Trias vom Semmering, welche ja gleichfalls ein Fenster darstellen soll; die Tarntaler Serie ist in mancher Beziehung der ostalpinen Ortlertrias verwandt.

Ein wichtiger Fund, der in letzter Zeit in der Schieferhülle der Tauern gemacht wurde, muß hier noch kurz erwähnt werden. Innerhalb dieser Schieferhülle tritt ein ziemlich mächtiger Kalkkomplex auf — der Hochstegenkalk. Von Termier als Trias, von Steinmann später als Tithon gedeutet, spielt er eine wichtige Rolle bei der Parallelisierung der Schieferhülle mit den penninisch-unterostalpinen Gesteinen Graubündens. Nun ist es neuerdings Heritsch (VII 11) gelungen, Korallen darin nachzuweisen, die er mit ziemlicher Sicherheit als Favosites bestimmen konnte. Damit rückt aber der Hochstegenkalk und ein Teil der Schieferhülle in das Paläozoikum; die Parallelen mit Graubünden und die Schlüsse auf die Fensternatur der Tauern geraten dadurch immer mehr ins Wanken.

So verwischen sich, wie Heritsch betont, die faziellen Unterschiede zwischen Ostalpin und Penninisch, womit eine der stärksten

Stützen der Deckentheorie verschwindet. Dazu kommen tektonische Schwierigkeiten. Die Zone von Sprechenstein, die angebliche Wurzel der Tauerndecken, hat nicht den Charakter einer solchen, sondern stellt nach Sander eine Synklinale zwischen den Zentralgneißen und den mit ihnen identischen Maulser Gneißen dar. Gänzlich unverständlich werden die tektonischen Verhältnisse am Westrand der Tauern, wo die zentralalpine Trias des Tribulaun und einige Gesteine der Schieferhülle auf eine kristalline Serie aufgeschoben sind, welche nachweislich zur ostalpinen Stubaier Masse gehört – das Gegenteil müßte der Fall sein. Die von Suess verfochtene Hilfshypothese des nachträglichen Übertretens der Fenstergesteine über den Rahmen — also eine Art Einwickelung — behält viel Gezwungenes (VII 18). Besser entspricht der Deckentheorie das Ostende des Tauernfensters; hier scheinen in der Tat die Fenstergesteine unter das weite kristalline Schiefergebiet der östlichen Ostalpen einzusinken. Aber dieser Bezirk für sich bietet wiederum keine Stütze für die Deckentheorie. Die flache Transgression des Oberkarbons (Stangalpe) und wenig gestörte Einschaltungen von Trias und Kreide erwecken nicht den Eindruck ausgedehnter Deckenschübe und machen es vor allem unwahrscheinlich, daß riesenhafte Decken (nördliche Kalkalpen) über dieses Gebiet hinübergewandert sind.

So erscheint der Fenstercharakter des Tauernmassivs sowohl vom regionalen, als auch vom lokalen Standpunkt unbewiesen. Unklar bleibt allerdings die Überlagerung der Radstädter Tauern durch das ostalpine Kristallin (Schladminger Masse) und bei Ablehnung der Deckentheorie kommt man hier um Bewegungen von Norden nach Süden nicht herum.

Der Tektonik der Tauern wird man nach Sander besser gerecht, wenn man das Gebiet als komplizierte Synklinalregion auffaßt; wohl herrscht im Kleinen ein Teildeckenbau, doch brauchen nicht alle Elemente desselben im Norden der Zentralgneiße von einer Wurzel im Süden herzustammen. Teilsynklinalen im Süden der Zentralgneiße geben Deckfalten ab, deren Material der Schieferhülle ähnlich ist, und legen sich über diese, ihre Serie wiederholend; die Schieferhülle bildet wieder Teilsynklinalen zwischen den Gneißen und entsendet Deckfalten nach Norden. So kann ein und dieselbe Teilsynklinale heute Tauchdeckenreste einer südlicheren Zone und Wurzeln nördlicher Decken enthalten. Die Schieferhülle erscheint relativ autochthon und der Mechanismus löst sich in eine Reihe differenzieller Bewegungen auf. Die kristallinen Zonen im Norden

und Süden der Tauern bilden dann nach Heritsch ein älteres Gebirge, kein schwebendes Vorland; sie sind nur im Ganzen gegeneinandergeschoben worden und haben in der sie trennenden Synklinale (Tauernmassiv) Anlaß zu einem Deckfaltenbau im kleineren Maßstabe gegeben. Ost-West-Bewegungen am Westrande der Tauern sind in beiden Fällen nicht zu vermeiden; das Übertreten der inneralpinen Trias über ostalpines Kristallin und die angedeuteten faziellen Verknüpfungen erscheinen aber so verständlicher. Mag auch der Vorgang im Einzelnen komplizierter aussehen, in der Gesamtheit ergibt sich ein Bewegungsmechanismus, der den Tatsachen gerecht wird, zumal die angedeuteten Schwierigkeiten das Schema der Deckentheorie ins Wanken bringen und auch ein regionaler Zwang für dieses kaum besteht.

Wie sich eine Synthese der Ostalpen unter diesem Gesichtspunkt darstellt, soll später gezeigt werden; vorher muß aber auf eine andere, allgemeine Schwierigkeit für die Deckentheorie hingewiesen werden, die in dem bis jetzt ungelösten Problem der Lage der Wurzeln enthalten ist.

6. Das Wurzelproblem und die alpino-dinarische Grenze.

Mit dem Wurzelproblem gelangen wir an eine der schwierigsten und am meisten umstrittenen Fragengruppen der Deckentheorie. Bekanntlich nimmt diese an, daß sich die Überfaltungsdecken aus liegenden Falten entwickeln, deren Stirnen (= Gewölbeumbiegungen) weit nach vorne geschoben sind, während die Schenkel in flacher Lagerung weite Areale eines fremden Untergrundes bedecken, deren innere Teile — die Wurzeln — aber noch mit dem autochthonen Untergrunde verbunden sein müssen und die, im Gegensatz zu den mittleren Teilen, ein steil- und enggefaltetes Gebiet darstellen. In diesem ist wohl ein Abschluß der Synklinalen nach unten (= Muldenumbiegungen) zu erwarten, nicht aber die Gewölbeumbiegungen nach oben, denn diese liegen ja in den Stirnen, weit nach Norden verfrachtet.

Es ist natürlich, daß die Untersuchung des Deckenbaues zunächst von den vorderen und mittleren Teilen der großen Überfaltungen ausging, wo sich dieselben am anschaulichsten der Beobachtung darbieten. Aber ein eifriges Suchen nach den Wurzeln der Decken begann schon sehr früh. Freilich hatte man zunächst damit wenig Erfolg und das war ja auch nicht weiter verwunderlich; denn wo die Verbindungsstrecken auf viele Kilometer durch Erosion

zerstört sind, wo diese im autochthonen Ursprungsgebiet nur noch kristalline Gesteine mit gelegentlichen, noch dazu stark veränderten Sedimentkeilen verschont hat, kann man wohl elegante Luftsättel in beliebiger Höhe über dem Profil konstruieren, darf aber für diese keine zwingende Beweiskraft verlangen. Es gehört dieses Suchen nach Wurzeln zu einem der methodologisch interessantesten Kapitel der Alpengeologie. Dort wo man sie suchte und zu erwarten hatte, waren sie gewöhnlich unauffindbar — andere Gesteine in anderer Lagerung waren dort; man mußte daher zu Hilfshypothesen greifen, etwa ein nachträgliches Ausquetschen der Wurzeln, eine nachträgliche Überschiebung derselben durch das autochthone Hinterland oder durch weiter zurückliegende Decken — die sogenannte Narbenbildung — annehmen, endlich eine Metamorphose der Wurzelgesteine durch die Lage in großer Tiefe und durch den starken Druck postulieren. Es ist klar, daß auf diese Weise immer mehr hypothetische Elemente in das Gebäude der Deckentheorie eindrangen und daß bei der Annahme dieser zweifellos möglichen, aber nur selten beweisbaren Vorgänge eine absolute Lösung des Problems jedenfalls für die höheren und am weitesten transportierten Deckenkomplexe überhaupt nicht möglich erschien.

Das spiegelt sich in der großen Unsicherheit und in der Divergenz der Meinungen während des ersten Jahrzehntes der Deckentheorie wieder. Über den Ursprungsort der nächsten helvetischen Decken war man sich ja ziemlich früh im klaren und es herrschte bald Übereinstimmung darin, daß er am Südrande des Aarmassivs, etwa der Rhein-Rhone-Linie entlang zu suchen ist. Auch die Zone der inneren Voralpen hat Lugeon (VIII 9) rückwärts bis in diese Gegend verfolgen können. Freilich, eine deutliche Wurzelzone lag hier nicht vor; man mußte also auch hier eine Ausquetschung der Wurzeln — eine Narbe — annehmen. In der „penninischen Überschiebung“ der helvetischen Gesteine durch Bündner Schiefer im Rheintal lag eine analoge nachträgliche „Verheilung“ und Verdeckung der Wurzelregion vor (VIII 1). Von den Höhen des Aarmassivs mußten die Wurzelteile längst durch Erosion entfernt gewesen sein.

Noch viel schwieriger gestalten sich die Verhältnisse für die höheren penninischen und ostalpinen Decken. Schmidt suchte diese (Klippen- und Brecciendecke) auch aus der „Rhonetalnarbe“ abzuleiten und versuchte eine Analogie dieser Gesteine mit dem Mesozoikum südöstlich vom Montblanc nachzuweisen (VIII 17). Steinmann und seine Schule unternahm eine Parallelisierung dieser Decken mit den

Decken Graubündens und glaubte ihre Reste noch südlich vom Rheintal zu finden, wodurch die Schmidt'sche Annahme ja hinfällig geworden wäre. Die Steinmann'sche Gliederung erwies sich zwar als unrichtig, aber über die Lage der Wurzeln war damit das letzte Wort noch nicht gesprochen.

Nachdem Argand und Lugeon den Deckenbau der Walliser Alpen nachgewiesen hatten und die Wurzeln dieser riesigen Tauchfalten in der unmittelbar südlich anschließenden Zone der Sesiagneiße zu finden glaubten, kamen sie dazu, auch die höheren Decken der Zentralschweiz, insbesondere die mittlere Voralpendecke und die rhätische Decke viel weiter aus dem Süden abzuleiten und mithin die Decken in solche mit äußerer (helvetisch-innere Voralpen) und innerer (Klippen, Breccien, rhätische Decke) Wurzel zu gliedern (VIII 9). Die letzten würden dann südlich der Sesiagneiße wurzeln, und zwar sehen die genannten Forscher in der sogenannten Zone von Canavese das Wurzelland dieser Decken (VIII 2, 11). Hier sollen in einem allgemein synklinalen Verband mit Gneißen, aber von einzelnen gepreßten Antiklinalen durchsetzt, Gesteine liegen, die den mittleren Voralpen und der rhätischen Decke nahestehen. Südlich der Zone von Canavese liegen die grünen basischen Gesteine von Ivrea, in denen dann die Wurzeln der ostalpinen Decken zu suchen wären, sofern sie nicht noch in der Zone von Canavese stecken (Henny). Weiter südlich beginnen die südwärts bewegten Dinariden. Damit kommen wir schon zu riesigen Überschiebungsbeträgen.

Diese Lage der Wurzeln durfte aber noch keineswegs als feststehend betrachtet werden. Haug hat ungefähr zu gleicher Zeit (1909) die Wurzeln weiter im Norden angenommen (VIII 5). Wichtiger sind aber die Betrachtungen von Staub und von Cornelius im Engadin und im Tessin, denn infolge der Senkung der Deckenaxen gegen Osten kommen wir dort in Gegenden, wo die Erosion noch weniger Material entfernt hat und haben daher die Möglichkeit, dort einen unmittelbaren Verband von Decke und Wurzel zu finden (VIII 4, 19). Aus diesen Überlegungen heraus kommt Staub zu der Überzeugung, daß die rhätische Decke mit der Dent Blanchedecke des Wallis zu identifizieren ist, und daher in den Sesiagneißen wurzeln muß. Wir sehen aber auch eine Entwicklung exakterer Methoden, die an Stelle genialischer Postulate und kühner Luftsättel eine peinliche Einzelarbeit setzt. Weiter im Osten wird die Verbindung noch schwieriger. Henny und Lugeon haben in der Zone von Canavese auch sogenannte „dinarische

Elemente“ gefunden (permische Konglomerate, Porphyrite usw.); damit rückt aber diese Zone hart an die Grenze des dinarischen Gebirges (VIII 10, 11). Sie bildet nach Henny die Nordflanke eines die Alpen und Dinariden trennenden Gewölbes, in dessen Kern die grünen Ivreagesteine liegen (insubrische Antiklinale). Dann müßten natürlich auch die ostalpinen Decken der Zone von Canavese entstammen. Wenn es schon an und für sich schwierig ist, so enorme Gesteinsmassen aus einer so schmalen Zone (2—3 Kilometer) abzuleiten und wenn besonders weiter im Osten die nachgewiesenen Ost-West-Bewegungen der ostalpinen Decken nicht zu diesen Wurzeln stimmen wollen, so begegnet der Versuch einer Parallesierung der Zonen im Osten und im Westen noch einigen anderen Schwierigkeiten.

Salomon hat nachzuweisen versucht, daß die Zone von Ivrea in den Tonaleschiefern nördlich vom Adamello fortsetzt; dann wäre hier die Zone von Canavese noch weiter im Norden zu suchen (VIII 15, 16). Statt dessen bestreiten Lugeon und Henny (wie schon vor ihnen Hammer und Trener) die Existenz der Tonalelinie und wollen die alpino-dinarische Trennungslinie weiter im Süden, quer durch den Adamello verfolgt haben (VIII 7, 10). Dann können aber die Tonaleschiefer nicht der Ivreazone entsprechen, denn diese liegt südlich von Canavese und die Tonaleschiefer nach Henny nördlich davon. Auch Cornelius kam zu einem ähnlichen Ergebnis. Es bestehen also hier noch Widersprüche und Unstimmigkeiten, welche nur durch eine Einzeluntersuchung behoben werden können. Die kurzen Angaben von Lugeon und Henny können noch nicht als endgültiger Beweis gelten und man sieht, daß die Frage nach den Wurzeln der oberen Decken noch keineswegs gelöst ist und immer schwieriger wird, je weiter man nach Osten vordringt. So bestreitet denn auch Staub (Zur tektonischen Deutung der Catena orobica, Ecl. geol. helv. XVI Nr. 1, 1920) die Henny'sche Deutung auf das Entschiedenste und sieht nach wie vor in den Tonaleschiefern die Fortsetzung der Ivreazone und in den nördlichen steil gefalteten Teilen der Catena orobica, d. h. der Gebirgskette zwischen Veltlin und Bergamasker Kalkalpen die Wurzelzone seiner oberostalpinen Decke (Silvretta, Ötzmasse). Auf die Schwierigkeiten dieser Auffassung, die in einer nicht restlosen Identität der vorpermischen Gesteine beruht, und die Spitz betont hat, will ich, wie auf die Entgegnungen von Staub, nicht näher eingehen. Man sieht, daß hier die Meinungen noch stark auseinandergehen. Natürlich hängt das auch mit der Eintönigkeit

und der etwas zurückgebliebenen Erforschung dieser südöstlichen Gebiete zusammen, doch läßt sich auch weiterhin zeigen, daß hier, wie auch sonst in den Ostalpen, die Deckentheorie auf fast unüberwindliche Schwierigkeiten stößt.

Um den Charakter dieses Problems in den Ostalpen zu zeigen, müssen wir jedoch etwas näher auf eine andere Frage, auf das Verhältnis der Alpen zu den Dinariden eingehen.

Die Trennungslinie zwischen den nordwärtsbewegten Alpen und den nach Süden geschobenen Dinariden ist zuerst von Suess (I 17, Bd. I und III) mit großer Schärfe betont worden, zunächst ohne Rücksicht auf die Deckentheorie. Es kommt ihr wohl auch sicher eine große Bedeutung zu, wenigstens als einer Grenze zweier verschieden bewegter Gesteinskörper. Nach der Deckentheorie ist sie aber mehr; als Wurzelgebiet der nordalpinen Decken trennt sie auch faziell ganz verschiedene Gebiete, deren Ablagerungsräume ursprünglich weit getrennt waren. Diese letzte Auffassung ist aber kaum zu beweisen. Den Verlauf der alpino-dinarischen Grenze haben wir schon bei der allgemeinen Übersicht kurz skizziert. Von der Tonaleline Salomon's oder von der weiter südlich angenommenen Grenze Lugeon's zieht man sie zur Judikarienlinie, deren Umbeugung gegen Osten bei Bozen sie folgt, um dann über die Tonalitmasse vom Iffinger und von Brixen gegen Sillian und gegen den Beginn der südlichen Kalkzone bei Lienz zu verlaufen. Im Gailbruch und an dem südlich anschließenden kristallinen Streifen, der die südliche Kalkzone von dem älteren Paläozoikum der karnischen Kette trennt, wird die weitere Fortsetzung gesucht; in den Karawanken wäre der Tonalit von Eisenkappel, der die Nordkarawanken mit ihrer ostalpinen Fazies von den dinarischen Südkarawanken trennt, die Grenze. Granitisch-körnige Gesteine jüngeren Alters (periadriatische Massen Salomon's) begleiten diese Grenze.

Schon aus dieser kurzen Zusammenstellung ist zu ersehen, daß der alpino-dinarischen Grenze an verschiedenen Stellen eine ganz verschiedene Bedeutung zukommt; sie erscheint teils als Wurzel antiklinalen Charakters (Ivrea), teils als Bruch (Judikarien, Gailbruch), teils als kristalliner Aufbruch (Gailtaler Alpen), teils als junger Erguß (Eisenkappel), teils als altes Gebirge (Karnische Alpen). Stellenweise ist ein Einfallen der Schichten nach Norden, unter das Kristallin der Ostalpen, zu beobachten. Zuweilen ist überhaupt jegliche Grenze verwischt; so weist Heritsch darauf hin, daß die Phyllite des Pustertales, welche den Sockel der Dinariden darstellen, von den ostalpinen Phylliten nicht zu trennen sind; die südliche

Kalkzone bildet im allgemeinen eine deutliche Synklinale im ostalpinen Kristallin, dem wieder das karnische Paläozoikum normal auflagert. Für die tektonische Auffassung der Deckentheorie ist es ferner fast vernichtend, daß große Teile der südlichen Kalkzone, insbesondere der Gailtaler Alpen den Charakter eines nicht mal sehr komplizierten Faltengebirges und keineswegs den einer Wurzel tragen. Gelegentliche Beugungen des Streichens in diesem Gebiet sind nach Heritsch auch mit der Auffasung als Wurzel schwer zu vereinigen. Wohl schließt sich die südliche Kalkzone faziell den Nordalpen nahe an, aber die Unterschiede gegen die Dinariden sind vielfach nicht größer, als innerhalb der einzelnen Teile der letzteren. Aus der Struktur und der Fazies dieses Gebietes ist also eine Grenze im Sinne der Deckentheorie, sei es als Wurzelzone, sei es als Narbe, kaum zu beweisen, ja diese Auffassung begegnet fast unüberwindlichen Schwierigkeiten.

Diese Schwierigkeiten sind auch von den Verfechtern der Deckentheorie sehr wohl empfunden worden und spiegeln sich in einer bedeutenden Unsicherheit über das Wesen der alpino-dinarischen Grenze wider. Der erste Versuch einer Synthese der Ostalpen ging von Termier aus und wurzelte in der Vorstellung eines Zermalmungsschlittens (traineau écraseur), unter dessen ungeheurem Druck bei riesenhafter Belastung sich die alpinen Decken gebildet haben sollen (VIII 21). Die Rolle dieses Schlittens sollten die Dinariden spielen, welche von Süden her in ungeheurer Breite das gesamte nordalpine Gebiet überfahren haben, die Bildung der penninischen und ostalpinen Decken unter ihrer Last hervorrufend. Nach vollbrachter Arbeit muß aber dieser „Schlitten“ ganz zerstört worden, oder zurückgeglitten sein, denn heute findet man nirgends mehr eine Spur von ihm. Außerdem zeigen die deutlichen Südbewegungen innerhalb der Dinariden, daß wenigstens nachträglich ein Rückgleiten, Rückfalten der Dinariden über ihr Hinterland stattgefunden haben muß. Man wird bei dieser ungeheuerlichen mechanischen Vorstellung den Eindruck eines Deus ex machina nicht los; sie erscheint als eine ganz abstrakte Hypothese, nur dazu aufgestellt, um andere Hypothesen zu erklären. Es sind das ganz tatsachenferne Schlüsse oder, wie Schwinner (VIII 18) richtig bemerkt, Rastvorstellungen, dazu bestimmt, der Synthese einen vorläufigen Abschluß zu geben. Sie wurzeln nicht in Tatsachen, sondern in allgemeinen Überlegungen; ja die Tatsachen, wie das häufige Einfallen der Dinariden unter die Alpen sprechen gewiß nicht für sie.

Was wäre denn nun die alpino-dinarische Grenze nach dieser

Theorie? 1. Muß sie der horizontale Ausstrich einer Bewegungsfläche sein, längs der die Dinariden nach Norden geschoben worden sind; da Reste von ihnen weiter im Norden fehlen, ist sie in mancher Hinsicht eine Erosionsgrenze; 2. ist sie das Wurzelgebiet der ostalpinen Decke; 3. eine Bruchregion, längs der die Dinariden nach Süden und nach unten zurückgesackt sind. Wenn es auch zunächst ganz allgemein befremdlich erscheinen mag, warum diese drei Erscheinungsformen auf dem schmalen Landstrich zusammenfallen, so stimmen weiterhin die Erscheinungen der Lokaltektonik mit keiner dieser Forderungen recht überein. Die mechanische Ungeheuerlichkeit dieser Riesendecke, welche entweder aus unbekannter Ferne hergewandert ist oder eine ganz unverständliche Pendelbewegung nach vorn und nach rückwärts ausgeführt haben muß, bildet wohl auch den Grund, warum man sich mit dieser Endvorstellung wenig beschäftigt hat und sie stillschweigend als Voraussetzung hinnahm. Die ziemlich ungestörte Auflagerung der Dinariden auf ihrer kristallinen Unterlage, welche zugleich die Unterlage der südlichen Kalkzone (Wurzelgebiet!) war, erschien ja auch nicht gerade ermutigend.

So fing man an, nach anderen „Rastvorstellungen" zu suchen. Kober versuchte, einen nach Süden gerichteten Deckenbau der gesamten Dinariden nachzuweisen, so daß die alpino-dinarische Grenze zu dem gänzlich ausgedrückten „Stiel" einer ins Unermeßliche übertriebenen Pilzfalte wurde, von der nach beiden Seiten die Decken abgeflossen waren (VIII 8). Nun schwebt aber die ganze Vorstellung vom Deckenbau der Dinariden vollkommen in der Luft und man kann nicht sagen, daß es Kober gelungen sei, einigermaßen überzeugende Argumente dafür vorzutragen. In einem sehr lesenswerten Aufsatz hat Schwinner (VIII 18) gezeigt, welche unmögliche mechanische Vorstellungen sich mit dieser Auffassung verbinden: Die „alpino-dinarische Narbe" wäre zugleich 1. eine Linie starker Zusammenpressung; 2. eine Linie des Aufklaffens, längs der Stücke der Oberfläche verschwinden, also eine Zerrungszone, ferner eine Verschluckungszone, also eine Linie vertikal absteigender Massenbewegung und endlich eine Intrusionszone (periadriatische Massen), also eine Linie vertikal aufsteigender Massenbewegung; sie müßte also einer Reihe diametral entgegengesetzter Ansprüche genügen. Alles das läßt die Kober'sche Auffassung nicht plausibler erscheinen, wie die alte Hypothese Termier's.

Zu eigentlich ganz entgegengesetzten Ergebnissen gelangt Henny (VIII 7), der von dem Lugeon-Argand'schen Vor-

stellungskreis über den Wurzelbau ausgeht. Er sucht die Zone von Canavese nach Osten zu verfolgen und glaubt, daß diese synklinale Zone sich gegen Osten verflacht und vereinfacht, indem die hier noch erhaltenen höheren Decken nicht mehr das tief abgetragene komplizierte Wurzelbild der Westalpen aufzuweisen brauchen. Die Wurzelzone könnte hier, in den oberflächlichen Teilen des Deckenpaketes, wesentlich einfacher gebaut sein. Das Einfallen der Dinariden unter die Alpen hat auch Henny gesehen und muß daher die alte Schlittenhypothese Termier's ablehnen. Er modifiziert sie in der Form, daß er annimmt, die erste sich bildende oberflächliche Decke wäre eine Schubdecke gewesen (Vorgosau-Faltung), hätte aber nicht das ganze nordalpine Gebiet überdeckt; später hätten sich die tieferen Decken in großer Tiefe unter der Belastung der oberen gebildet, hätten diese vielleicht auch noch weiter nach Norden vorgeschoben und der andauernde Druck hätte schließlich zur Umstülpung der Wurzelgebiete und zu einem Rückstau der Dinariden geführt.

Ich habe nicht die Absicht, diese Hypothesen, die meist nur die Gestalt kurzer Mitteilungen tragen und keineswegs auf eingehenden Einzeluntersuchungen beruhen, weiter zu besprechen. Man wird die Vorstellung nicht los, daß alle die Verfasser mit fertigen Schemata in das Gebirge kommen und daß nun alle Tatsachen gewaltsam in diese Schemata hineingepreßt werden müssen. Es kam mir darauf an zu zeigen, zu wie grundverschiedenen Ansichten der Bau der alpino-dinarischen Grenze Anlaß geben kann. Die Tatsachen — die Stratigraphie und die Lokaltektonik — verlangen diese Hypothesen durchaus nicht. Nur wenn man von vorneherein den Deckenbau der gesamten Ostalpen voraussetzt, ist man gezwungen, in der alpino-dinarischen Grenze Zeugnisse ganz besonders großer Massenverfrachtungen zu suchen. Wenn aber dieser Bau selber noch ganz zur Diskussion steht — in dem Tauernproblem haben wir einen seiner Kernpunkte kennen gelernt —, so wird die Unstimmigkeit zwischen regionaler und lokaler Tektonik nicht zu einem durch neue Hypothesen zu lösenden Problem, sondern zu einem Gegenzeugnis, welches der Theorie vieles von ihrer Wahrscheinlichkeit nimmt. Ein objektiver Beobachter wird heute notgedrungen zu dieser skeptischen Stellungnahme gezwungen; mit um so größerem Bedauern, als eine befriedigende Synthese der Ostalpen bis heute noch nicht gegeben worden ist, denn die skizzenhafte Bauformel Heritsch's (siehe weiter) ist vorläufig auch nur als Rastvorstellung zu betrachten.

Zusammenfassend kann auch hier gesagt werden, daß über die Wurzeln der helvetischen Decken kaum noch eine Meinungsverschiedenheit besteht, daß die Herkunft der penninischen und unterostalpinen Decken heute dank den Untersuchungen von Argand, Cornelius und Staub wesentlich klarer erscheint, daß aber die Frage nach den Wurzeln der höheren Decken der Ostalpen noch vollkommen ungelöst ist und daß ihre Ableitung aus der alpino-dinarischen Grenze bisher nicht zu erweisen war. Auch diese Überlegungen legen den Schluß nahe, daß diese Decken in der von der Deckentheorie postulierten Form gar nicht existieren.

7. Das Problem der exotischen Blöcke.

In kurzen Worten sei hier noch eines wichtigen, zur Zeit aber noch ganz dunklen Problems gedacht, welches für die helvetischen Alpen und auch für die nördliche Zone der Ostalpen eine gewisse Rolle spielt — der sogenannten „exotischen" Blöcke im Flysch. Einen Überblick über das Problem und über seine verschiedenen Deutungsweisen hat kürzlich Arn. Heim gegeben und da er alle wesentlichen Punkte eingehend behandelt, folge ich seiner Darstellung (IX 11).

Stellenweise sind im Flysch ungeheure Mengen von Blöcken verschiedenartiger Gesteine enthalten, die an Größe und Zahl ungemein stark wechseln, bald direkte Konglomerate bilden, bald vereinzelt in die Schiefer eingestreut sind; sie stellen manchmal fast hausgroße Massen dar und sinken dann wieder bis zur Größe gewöhnlicher Gerölle herab. Ihre Umrisse sind teils abgerollt, teils scharfkantig; selten beobachtet man eine Kritzung. Man unterscheidet heute einen Flysch ohne Gerölle, der als zu den helvetischen Gesteinen zugehörig gilt und einen Flysch mit Geröllen, der höheren Decken zugeordnet wird (Wildflysch, Niesen-Habkern-Flysch). Da der letztere auch unter den helvetischen Decken vorkommt, so folgert man, daß diese sich bei ihrer Bildung in die höhere Decke des Wildflysch eingewickelt haben (V 16).

Unter den Gesteinen, welche im Flysch vorkommen, kann man zwei Arten unterscheiden: 1. Solche, die tektonisch in den Flysch hineingepreßt worden sind, gleichsam also kleine Klippen darstellen; sie entstammen höheren oder tieferen Decken, von denen sie bei der Bewegung abgeschürft worden sind. Ihre Gesteine lassen sich oft mit den in der Nachbarschaft anstehenden vergleichen; 2. die echten exotischen Blöcke, welche nirgends in der Nähe an-

stehen, in den Flysch aber in ungeheurer Menge eingestreut sind. Neben spärlichen feinkörnigen Sedimenten (Sandstein, Ölquarzit, Kalk), die in der Nähe unbekannt sind, kommen Arkosen, Breccien und Konglomerate vor und schließlich saure kristalline Gesteine (Granit, Porphyr, Gneiß, Glimmerschiefer). Ihre Herkunft ist recht unsicher. Von den Zentralmassiven (Aar, Gotthard) soll man sie nicht ableiten können. Die früher angenommene Herkunft von Norden, aus dem verschwundenen vindelizischen Gebirge, wird heute mit diesem zusammen ganz abgelehnt. Doch scheint in den Ostalpen teilweise eine Identität mit Gesteinen der böhmischen Masse festgestellt zu sein. In der Schweiz glaubt Heim eine Reihe von Gesteinen mit der Falknisbreccie Graubündens identifizieren zu können; Sarasin sucht die Herkunft der kristallinen Gerölle in den Südalpen, bei Baveno-Lugano.

Noch schwieriger, wie die Frage nach der Herkunft ist die nach dem Transport zu lösen. Daß diese hausgroßen Blöcke durch Wassertransport in das Flyschmeer gelangt sind, erscheint bei der großen Entfernung der südlichen Küste unmöglich. Die Vorstellung, daß sie von den Stirnen der vordringenden Decken abgespülte und im Flyschmeer zum Absatz gekommene Teile darstellen, mußte darum aufgegeben werden, weil 1. typische Gesteine dieser Decken fehlen und 2. weil die Deckenbildung jünger ist, als die Lager dieser Blöcke. Nach Heim bleiben nur zwei Hypothesen übrig:

1. Die exotischen Blöcke sind auf Eisschollen verdriftet worden, wofür ihre Regellosigkeit und verschiedene Größe sprechen würde. Sehr einleuchtend ist diese Eisdrift nicht, besonders, weil die Gesteine von Süden stammen sollen. Nimmt man außerdem mit Zuber an, daß die Bedingungen der Flyschbildung denen des Orinokodeltas glichen, also ein tropisches, regenreiches Klima voraussetzen, so ist die Eisdrift schon ganz unwahrscheinlich;
2. Die Blöcke sind primär auf dem Flyschfestland abgelagert worden und sekundär tektonisch eingewickelt. Auch diese Erklärung erscheint gezwungen. Wo lag denn dieses Festland? Woher und wie sind die großen Blöcke auf der Oberfläche abgeladen worden? Wie hat die Einwicklung stattgefunden?

Heim selbst sieht wohl die Schwächen beider Erklärungsversuche ein und läßt die Frage offen. Doch wie dieses schwierige Problem auch endgültig gelöst werden sollte — es ist kaum zu

erwarten, daß sich aus demselben ein durchschlagender Grund für oder gegen die Deckentheorie ergeben wird, und es genügt daher, hier diese Frage kurz gestreift zu haben.

IV. Die fazielle Kritik und die Theorie der Geosynklinale.

I.

Die bisher betrachteten Einzelfälle, an denen die Stärken und Schwächen der Deckentheorie geprüft wurden, bilden nur eine Seite der Problemreihe, welche diese Auffassung zu lösen bestrebt ist. Neben dem tektonischen steht, allerdings eng mit ihm verbunden, das stratigraphische Problem des Alpengebietes, insbesondere das schroffe Nebeneinander und Übereinander gleichaltriger, aber faziell verschiedener oder heteropischer Gesteine. Als besonders deutliche Beispiele sei an die Verschiedenheit der Trias im helvetischen Gebiet (Roetidolomit, Quartenschiefer-Seichtwassersedimente) und in den Klippen (mächtige Dolomitmassen) erinnert, an die eigentümliche Doggerfazies der Freiburger Alpen, an die großen Verschiedenheiten der Ausbildung der Kreide im helvetischen Gebiet und in den Klippen.

Wären alle diese Schichten noch heute an der Stelle, wo sie abgelagert wurden — so argumentiert die Deckentheorie —, so müßten wir vor der alpinen Gebirgsbildung eine ganz eigentümliche, schachbrettartige Verteilung der Sedimente in diesem Raum annehmen, ein schroffes, kaum durch Übergänge verbundenes Nebeneinander von Sedimenten ganz verschiedener Tiefenlagen, kurz einen vertikal und horizontal durch keinerlei Gesetzmäßigkeit bedingten Wechsel der Ablagerungsbedingungen.

Das widerspricht aber dem von Walther aufgestellten und ziemlich allgemein geltenden Gesetz von der Korrelation der Fazies, wonach ein bestimmter Wechsel in den Ablagerungsbedingungen ganz bestimmte, gesetzmäßig verknüpfte Faziesänderungen hervorruft, und wonach insbesondere in vertikaler Richtung nur solche Faziesänderungen vorkommen, wie sie auch in horizontaler naturgemäß angetroffen werden. Will man also dieser Schachbretttheorie entgehen, so bleibt nur der Ausweg, anzunehmen, daß die heteropischen Sedimente nicht übereinander abgelagert worden sind, sondern durch nachträgliche Horizontalverschiebungen in die gegen-

seitige Nachbarschaft oder übereinandergeschoben wurden. Als Postulat tritt dann noch hinzu, daß die Faziesgebiete sich regelmäßig, in dem heutigen Gebirge mehr oder weniger parallelen Streifen von Norden nach Süden ablösten.

Es ergibt sich mithin aus der Betrachtung des alpinen Bildes vom stratigraphischen Standpunkt die Alternative: 1. Einheitlichkeit des Ablagerungsbildes, Einheitlichkeit der Bewegung und große Horizontalverfrachtungen (Deckentheorie); 2. unregelmäßiges Faziesbild vor der Faltung, verschieden gerichtete Bewegung, kurze Förderweite. Allerdings scheint auch im ersten Fall die Einheitlichkeit nur bedingt, wie die fortschreitende Einzeluntersuchung lehrt.

Zu der ganzen Behandlungsweise des stratigraphischen Problems sei aber bemerkt, daß es eigentlich nicht angängig ist, dieses von den tektonischen Fragen abzutrennen und gesondert für sich zu betrachten. Wenn man, von allgemeinen Gesichtspunkten ausgehend, ohne eigene Einzelarbeiten in den Alpen vorgenommen zu haben, an die Lösung der alpinen Probleme herangeht, verfällt man leicht in den Fehler, nur eine Seite der Fragestellung zu sehen, für diese eine unter Umständen einleuchtende Antwort zu finden, den Zusammenhang mit anderen Fragen aber außer acht zu lassen. Es ist nun wohl schon aus dem Vorhergehenden klar geworden, daß Tektonik und Stratigraphie hier so eng verknüpft sind, daß man sie kaum trennen kann, ohne den Tatsachen Zwang anzutun.

Die oben gestellte Alternative bedarf insofern einer Einschränkung, als man versuchen kann, nachzuweisen, daß die scheinbaren Faziesdifferenzen in Wirklichkeit gar nicht so groß sind. Deecke und Mylius haben bis zu einem gewissen Grade diesen Weg eingeschlagen (vergleiche Hummel). Doch ist das nur ein bedingter Ausweg; einige große Unterschiede bleiben bestehen und vor allem ist auch dann ohne verschieden gerichtete Bewegungen nicht auszukommen.

An einigen Beispielen werde ich nun zu zeigen versuchen, in welcher Richtung sich diese fazielle Kritik der Deckentheorie bewegt. Deecke hat der vergleichenden Stratigraphie der westalpinen Trias eine kleine Studie gewidmet, deren Kern in dem Versuch einer Parallelisierung dieser Schichten mit der germanischen Trias liegt (IX 6). Sein Gedankengang ist natürlich der, daß, wenn diese Trias, insbesondere die der Klippen der Zentralschweiz, mit nördlicheren Gegenden mehr, oder wenigstens ebensoviel Berührungspunkte besitzt, als mit den Südalpen, der Zwang zur Annahme großer horizontaler Verfrachtungen wegfällt.

Deecke versucht nun nachzuweisen, daß die Klippenserie der Trias in ein Schema: unterer Muschelkalk, — Gipse und Rauchwacken = Anhydritgruppe, — Dolomite mit Diploporen = unterer Keuper, — Rhät gebracht werden kann. Die südalpine Entwicklung wäre: Verrucano, Cervino mit Gips = Buntsandstein, Muschelkalk (alpin!), Esinodolomit. Somit vermittele die Klippentrias zwischen der germanischen und der südalpinen Fazies, indem sie sich im unteren Teil der ersten, im oberen der letzten näher anschließt. Die sogenannte autochthone Trias der Schweizer Alpen mit der Serie Verrucano-Roetidolomit-Quartenschiefer deutet Deecke so, daß er den Roetidolomit als Rhät ansieht und also in den zentralen Alpenteilen die terrestrische Entwicklung (Verrucano) bis in den Keuper andauern läßt. Da er den Roetidolomit als stratigraphisch höchstes Niveau der Trias auch in den Iberger Klippen zu finden glaubt, so wäre nach anfänglich ähnlicher Entwicklung bis zur Anhydritgruppe eine Verschiedenheit im Keuper eingetreten (terrestrisch-marin), bis dann die Rhättransgression wieder gleichmäßige Bedingungen geschaffen hätte. Der marine „Keuper" der Klippen (Dolomite mit Diploporen) entspräche einer Ingression eines Meeresarmes von Osten, die bis zum Zentralplateau reichte, wo Keuper auf Kristallin liegt. Die stellenweise große Mächtigkeit der Diploporendolomite wäre nicht verwunderlich, da solche „Riffbildungen" schnell an Mächtigkeit wechseln können.

Soweit die Trias nach Deecke. Es ist hier zu bemerken, daß infolge der Fossilarmut der westalpinen Triassedimente keine Parallelisierung unbedingte Beweiskraft haben kann. Insbesondere kann die Verlegung des Roetidolomits in das Rhät einigen Zweifeln begegnen. Paulcke hat darin Versteinerungen nachgewiesen, die, obwohl sehr schlecht erhalten, doch ebensogut zu der üblichen Deutung als Muschelkalk paßten. So gelangt auch Arbenz zu der Auffassung, daß die Gliederung der helvetischen Trias dem germanischen Zyklus Buntsandstein-Muschelkalk-Keuper vollkommen entspricht (IX 1); dann ist aber nördlich davon für den „alpinen" Muschelkalk und die mächtigen Diploporendolomite kein rechter Platz. Da nun die Stellung des Roetidolomits mit die Grundlage von Deecke's Auffassung bildet, so hat wohl Hummel (IX 13) recht, wenn er sagt, hier stände im Grunde Ansicht gegen Ansicht, ohne absolute Beweiskraft von irgend einer Seite.

Zu ähnlichen Ergebnissen kommt dann Deecke auch für die jüngeren mesozoischen Gesteine der Klippen; doch behandelt er sie kürzer und so will ich nur zusammenfassend andeuten, daß es

sich um das gleiche Problem handelt: teils wird die Ähnlichkeit mit den autochthonen Sedimenten betont, teils die Möglichkeit schnellen Fazieswechsels aus bekannten Gebieten abgeleitet. Diesem letzten Gedankengang folgt auch Hummel, der an der Hand von Vergleichen mit wenig gefalteten Gegenden (skandinavisches Silur, französischer Jura u. a.) die Möglichkeit raschen Fazieswechsels und fast unvermittelter Übergänge nachzuweisen versucht. Auch hier läßt sich bestenfalls nur sagen, daß Ansicht gegen Ansicht steht, denn durch Analogien und allgemeine Überlegungen kann man höchstens die Wahrscheinlichkeit einer Auffassung stützen, sie aber nicht beweisen. Dieses bleibt einer alle Einzelheiten berücksichtigenden Einzeluntersuchung vorbehalten.

Der Kernpunkt der Frage ist ja im Grunde der, ob der Verlauf der Faziesgrenzen in irgend einer gesetzmäßigen Beziehung zu dem Streichen des später aufgefalteten Gebirges steht oder nicht, denn den stellenweise recht schnellen und bedeutenden Wechsel in der Art der Sedimentation kann und will ja auch kein Vertreter der Deckentheorie heute mehr leugnen. Wenn Deecke sich hier allgemein auf einen eher ablehnenden Standpunkt stellt, so ist zunächst dazu zu bemerken, daß er ja selbst eine Verteilung der Sedimente im Triasmeere betont, die mit der späteren Verteilung im Molassemeer sehr genau übereinstimmt und auch sonst auf ein Wiederaufleben immer der gleichen Grundlinien großes Gewicht legt. Das schließt aber schon die Möglichkeit einer Faziesverteilung nach alten und immer neu hervortretenden Anlagen ein und, auf was auch Hummel hinweist, die Wahrscheinlichkeit einer späteren besonders starken tektonischen Beanspruchung der Faziesgrenzen.

Doch sind das alles zunächst nur allgemeine Erwägungen. Sichere Entscheidungen könnte hier nur eine peinlichst genaue Verfolgung einzelner stratigraphischer Horizonte in allen Richtungen bringen. Für die höheren, nur in Fetzen erhaltenen Decken ist dieser Weg ja leider fast ganz verschlossen, im helvetischen Gebiet ist aber in dieser Richtung in den letzten Jahren viel wertvolle Arbeit geleistet worden, die wohl als Beweis für die Deckentheorie und als Antwort auf die Frage nach der Änderung der Fazies wenigstens in kleinerem Umfange gelten muß. Ich denke dabei besonders an die vortrefflichen stratigraphischen Untersuchungen Arnold Heim's in den Churfirsten und in den Glarner Alpen (IX 10, 11). Indem Heim für dieses ganze Gebiet die Isopen, oder Linien gleicher Fazies und die isometrischen Linien, oder Linien gleicher Mächtigkeit festgestellt hat, konnte er nachweisen,

daß besonders in der Kreide, aber bis zu hohem Grade auch im Tertiär, die schnellsten Faziesänderungen von NNW gegen SSO, d. h. quer zum Streichen der Ketten stattfinden. Die Isopen laufen mit kleinen Abweichungen (in der Kreide gegen Westen, im Flysch gegen Süden) den Alpenketten parallel, womit wenigstens für dieses Gebiet eine präzise Antwort auf die oben aufgeworfene Frage erteilt ist. Dazu kommt aber noch eine andere ungeheuer wichtige Erscheinung. Heim konnte feststellen, daß in der unteren Kreide die geringsten Mächtigkeiten, verbunden mit einer vorwiegend kal-

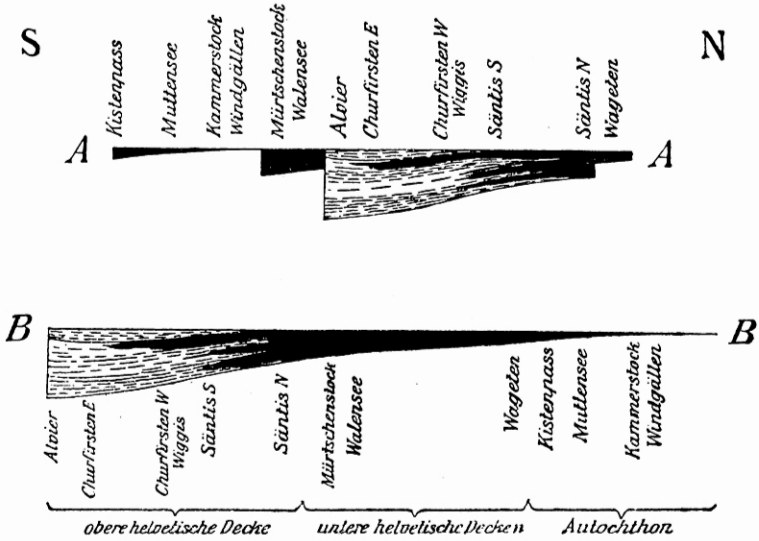


Fig. 36. Faziesverstellung in den Glarner Alpen. Nach Arn. Heim. a. heutige Lage; b. ursprüngliche Aufeinanderfolge.

kigen Ausbildung in dem autochthonen Gebiet (Kistenpaß) zu beobachten sind, die größten aber, verbunden mit einer vorwiegend tonigen Fazies, in den südlichen Teilen der höchsten Decke dieser Gegend, der Säntisdecke. Innerhalb der Säntisdecke nimmt die Mächtigkeit und der tonige Charakter gegen Norden ab. Die nächsttiefere und südlichere Mürtschendecke hat in ihrem nördlichen Teil eine ganz geringe Mächtigkeit der kalkigen Unterkreide, die keineswegs zu der mächtigen Ausbildung der unmittelbar auflagernden Säntisdecke paßt; innerhalb der Mürtschendecke wird aber die Kreide wiederum gegen Süden mächtiger. Wenn wir diese einzelnen Stücke in der heutigen Lage nebeneinander stellen, so erhalten wir ein ganz unmögliches Bild (Fig. 36 A). Wohl aber paßt der Nordrand

der Mürtschendecke mit kleinen Besonderheiten[1]) zu dem Südrand des Autochthonen, der Südrand der Mürtschendecke zum Nordrand der Säntisdecke. Das ist aber gerade die Lage, welche auch die tektonische Auffassung fordert. Wickeln wir die Decken ab, d. h. versetzen wir jede Scholle zurück in den ihr nach der Deckentheorie zukommenden Raum südlich des autochthonen Aarmassivs, so erhalten wir ein ganz kontinuierlich quer zum Streichen sich veränderndes Faziesprofil, ohne die schroffen, gänzlich unverständlichen Sprünge der heutigen Lagerungsform. Ich gestehe, daß ich in dem Ergebnis dieser peinlich genauen Untersuchungen einen kaum zu widerlegenden Beweis für die Existenz der helvetischen Decken sehe (Fig. 36B). Wenn Deecke dagegen einwendet, daß man Säntis und Kistenpaß nicht mit einer Linie verbinden kann, da auch nach der Deckentheorie der erstere viel weiter östlich gelegen hat, so ist darauf zu sagen, daß das ja auch gar nicht verlangt wird; aber die östliche Fortsetzung der Isopen vom Kistenpaß läßt sich durch die Lage der autochthonen Kreide der Calanda im Osten fixieren. Die stärkere Zunahme der Mächtigkeit gegen Süd oder Südost als gegen Ost ist ja auch von Heim betont und läßt sich innerhalb der einheitlichen Scholle Säntis-Churfirsten schon gut feststellen; es bleibt also keine andere Möglichkeit, als die Heimat des Säntis südlich oder südöstlich von der Linie Kistenpaß-Calanda su suchen. Zudem würde selbst die von Heim widerlegte schnelle Faziesänderung gegen Osten oder die, prinzipiell nicht unwahrscheinliche Bewegung aus mehr östlich-südöstlicher Richtung die Tatsache der Faziesverstellung keineswegs aufheben und eine Deckenabwickelung doch notwendig machen[2]).

An der Tatsache der helvetischen Decken zweifelt denn auch Hummel nicht mehr. Seine Kritik richtet sich vorwiegend gegen die schlecht erhaltenen und von viel weiter herzuleitenden Decken der Klippen. Hier ist natürlich wegen der fragmentarischen Erhaltung der exakte Beweis Heim's kaum zu führen und daher herrscht auch in bezug auf Gliederung und Zusammengehörigkeit dieser Stücke eine gewisse Unsicherheit. Insofern muß auch zugegeben werden, daß die Frage nicht streng empirisch gelöst werden kann, sondern daß der Faktor der Wahrscheinlichkeit hier eine gewisse Rolle spielt. Dieser spricht aber doch mehr für die

---

[1]) Diese sind durch die abgeschürfte und weit nach Norden verfrachtete, tektonisch tiefe Wagetenkette erklärlich, welche einen Übergang vermittelt.

[2]) Es kommt noch hinzu, daß die Zunahme der Tone gegen Süden sehr gut zu dem Übergang in die schiefrige Bündner Fazies paßt.

Deckentheorie, als dagegen. Die kontinuierlich wechselnde Kreidefazies des helvetischen Gebietes läßt die Ableitung der Klippenfazies aus dem Norden kaum verständlich erscheinen. Daß die Klippen schwimmen, muß wohl allgemein zugegeben werden. Wenn sie also auch am Nordrand gelegen haben sollten, müßten sie nach Süden, entgegen der Richtung der helvetischen Decken bewegt sein. Beweise dafür sind kaum zu erbringen; die Wahrscheinlichkeit spricht dagegen. Wo lag denn dieser Nordrand der Alpen, wo der tiefe Flyschgraben der helvetischen Zone, auf die er übergelegt sein sollte? Ich glaube, man brauchte bloß zu versuchen, an Hand der vorzüglichen neueren Spezialkarten eine Serie von Profilen mit dieser mechanischen Deutung zu zeichnen, um ihre Unmöglichkeit einzusehen. Was hier in Worten möglich erscheint, würde durch die bildliche Darstellung widerlegt werden.

Auf ein wichtiges Ergebnis von Heim's sorgfältigen stratigraphischen Untersuchungen sei hier noch hingewiesen. Wenn wir einfach im Profil die Decken zurück und hintereinander verstellen würden, so kämen wir zu einem ganz falschen Ergebnis über die Stärke des Zusammenschubes in dem betreffenden Geländestreifen. (Tektonische Abwickelung.) Außer der Auswalzung der Schichten durch Druck ist zu berücksichtigen, daß die verschiedenen Schichtkomplexe verschieden weit vorgeschoben sind, so daß z. B. der zu der Kreide einer Decke gehörende Jura heute in einer tieferen Decke liegen kann. Man kann also die Beträge der Überschiebungen nicht einfach summieren, sondern muß die Stratigraphie und die Faziesverstellungen mitberücksichtigen (fazielle Abwickelung). Dadurch ergeben sich viel kleinere Überschiebungsbeträge (IX 12, vergleiche auch Fig. 8).

II.

Bisher haben wir die einzelnen Probleme betrachtet, welche die alpine Stratigraphie der Deckentheorie aufgibt. Es bleibt nun noch zu untersuchen, was für ein Gesamtbild der Meeresverteilung vor der Faltung im Alpengebiet daraus abzuleiten ist und wie dieses Gebiet in mesozoischer und frühtertiärer Zeit oberflächlich ausgesehen hat. Man pflegt die alpinen und außeralpinen Gebiete auch nach der Art der sie bildenden Sedimente in zwei scharf getrennte Gruppen zu scheiden, und nimmt an, die alpinen Gebiete — wie auch die der übrigen großen Faltengebirge — wären früher besonderen Ablagerungsbedingungen unterworfen gewesen.

So ist die Vorstellung recht verbreitet, das alpine Gebiet hätte eine Art großen Troges gebildet, von tiefem Meer erfüllt

und sich stetig vertiefend, so daß Sedimente in außergewöhnlich großer Mächtigkeit sich darin ansammeln konnten. Diese zunächst von Hall (IX 7) formulierte Ansicht ist später von Haug (IX 8, 9) mehr ausgebaut worden. Nach ihm wären es hauptsächlich 3 Merkmale, welche die Geosynklinalen von ihrer Umgebung unterscheiden (vergl. Dacqué, Palaeogeographie): 1. die Mächtigkeit der Sedimente; 2. die vorwiegend hochpelagische Ausbildung und entsprechende Fauna; 3. die Einheitlichkeit und Lückenlosigkeit.

Diese Auffassung hat einer eingehenden Kritik nicht recht standgehalten; es zeigte sich — insbesondere haben Deecke (IX 4) und nach ihm Dacqué (IX 3) darauf hingewiesen —, daß die Definition in dieser Form nicht stimmt und daß, wenn man von einem Gegensatz der Geosynklinalen zu ihrer Umgebung reden kann, dieser Gegensatz anders zu formulieren ist. Deecke wies besonders auf die zahlreichen Transgressionen und Lücken in der mesozoischen Serie hin, auf die häufigen Breccien und Konglomerate, die gegen eine durchweg hochpelagische Natur der Sedimente sprechen, auf den keineswegs seltenen und oft sehr raschen Fazieswechsel. Er folgerte daraus, daß die Alpen während des Mesozoikums ein unruhiger Streifen gewesen sind, mit Rinnen, Untiefen und Inseln, eine seit dem Paläozoikum schwache Stelle der Erdkruste.

Zu einem ähnlichen Ergebnis kommt Dacqué. Die Art der Sedimentation ist nach ihm nicht entscheidend; sie hängt von der Gestalt und Entfernung vom Ufer ab; die Materialzufuhr wird von außerhalb der Geosynklinale liegenden Faktoren geregelt. Das gleiche betont auch Arbenz (IX 1), wenn er die mesozoischen Gesteine der penninischen Zone und einiger Teile der Ostalpen vergleicht. In beiden Gebieten herrschte während des Mesozoikums die Senkung bei weitem vor und eine dauernde Vertiefung des Troges war die Folge; in beiden Gebieten wurden mächtige Sedimente abgelagert. Doch sind in den Ostalpen vorwiegend Kalke, in der penninischen Zone mächtige fossilleere Schiefer vertreten. Nicht die Tiefe des Beckens oder die Mächtigkeit der Sedimente unterscheidet beide Meeresteile, sondern die stärkere Schlammzufuhr im Westen.

Neben diesen Ablagerungen tieferen Wassers treten dann aber unvermittelt Seichtwasserbildungen, Konglomerate und Breccien auf; mächtige Serien keilen auf kurze Entfernung ganz aus, und dieser Erscheinungskomplex, dieser häufige Wechsel, kurzum, diese „Labilität“ ist es, welche die Geosynklinalgebiete von den starren,

nur vom langsamen Auf — und — Ab großer Areale bewegten Umrandungsschollen auszeichnen soll. Dabei braucht es nach Dacqué in den Geosynklinalgebieten keineswegs immer zu einer starken Faltung zu kommen; es gibt Gebiete von ausgesprochenem Geosynklinalcharakter, in denen nie eine stärkere Faltung stattgefunden hat. Die Faltung ist nur der extremste Ausdruck der „Mobilität" einer Geosynklinalzone. Andererseits ist auch nicht jede gefaltete Zone eine Geosynklinale. Im Gegensatz zu Stille rechnet Dacqué zu den Geosynklinalen nur Zonen eigener Mobilität, nicht Faltungen infolge von Pressungsbewegungen der „Rahmenschollen".

Wenn somit aus dem Vorhergehenden die mechanische Definition einer Geosynklinale als eines Gebietes dauernder Kleinbewegungen und keineswegs nur einer langsamen stetigen Senkung hervorgeht, so hat Arbenz versucht, die Definition des Sedimentationscharakter der Geosynklinalen zu geben (IX 1).

In einem Epikontinentalmeer, dessen Boden von keinen dauernden kleinen Schwankungen, sondern nur von den räumlich weitverbreiteten und zeitlich sehr langsamen epirogenetischen Bewegungen betroffen wird, ist stets eine bestimmte Sedimentationsfolge, ein Zyklus der Sedimentation festzustellen, charakterisiert durch die Hauptphasen Transgression-Innundation-Regression-Emersion. Die Korrelation der Fazies, d. h. die Tatsache, daß stets nur solche Sedimente übereinanderliegen, die heute nebeneinander vorkommen können, bedingt einen regelmäßigen Sedimentationswechsel innerhalb eines Zyklus. Die Zyklen wiederholen sich oft regelmäßig und lösen einander ab; Arbenz unterscheidet z. B. innerhalb der helvetischen Kreide 9 Zyklen, die aber stellenweise durch Faziesänderungen verwischt werden oder verschmelzen. Die Änderung vollzieht sich in der Richtung von Norden nach Süden mit regelmäßigem Übergang der neritischen zur bathyalen Zone. Diese zyklische Gliederung ist charakteristisch für Epikontinentalmeere; es ist der Typus der epirogenen Sedimentation.

Ganz anders verhalten sich die inneren Teile der Westalpen. Es sind hier mehrere Wege der Veränderung möglich:

1. Die zyklische Gliederung verschwindet; die Sedimente werden einheitlich, fossilarm, und behalten den Charakter der trostlosen Monotonie vom Karbon bis zur Kreide bei (Casannaschiefer, Glanzschiefer). Es sind die „zusammengefaßten Serien" (séries compréhensives) Termiers, für die eine Gliederung kaum möglich erscheint, die man sogar schwer in eine bestimmte Tiefenzone einreihen kann. Auf kleine zyklische Änderungen reagieren

sie überhaupt nicht; nur die ganz großen Zyklen sind zum Teil verfolgbar und folgen dann dem allgemeinen Schema.

2. Ohne ausgesprochene zyklische Gliederung pendelt die Sedimentation dauernd zwischen neritisch und bathyal hin und her (Flysch).

3. Eine gewisse zyklische Gliederung bleibt zunächst erhalten, aber überall zwischen den Horizonten finden sich Einstreuungen von Sand, Geröllen und Blöcken, die stellenweise so stark zunehmen, daß ganze Formationen in brecciöser Fazies entwickelt sind. Teile des Rhätikon und der ostalpinen Decken Graubündens zeigen diese Entwicklung. Es gibt schließlich Gebiete, wo fast die ganze Schichtenfolge vom Verrucano bis zum Flysch durch Breccien und Konglomerate vertreten ist. Dann ist auch die zyklische Gliederung verschwunden, aber im Gegensatz zum ersten Fall nicht durch stetige Senkung, sondern durch ein stetiges Wiederauftauchen. Das ist der Fall der Geantiklinale im Gegensatz zur Geosynklinale. Es ist dabei zu bemerken, daß der Ausdruck Geosynklinale und Geantiklinale für diese Teilgebiete innerhalb des gesamten Geosynklinalstreifens nicht glücklich ist; man könnte vielleicht für sie die Ausdrücke Merosynklinale und Merantiklinale (μέρος = Teil) gebrauchen.

Typisch für die Geosynklinalgebiete ist demnach das Verschwinden der kleinen Sedimentationszyklen, sei es durch ständige Senkung (Merosynklinale), oder durch ständige Hebung (Merantiklinale), oder endlich durch ständiges Pendeln zwischen neritisch und bathyal, wie in einigen Flyschgebieten. Nur die ganz großen, ganze Formationen umfassenden Zyklen kommen auch in der Geosynklinale zum Ausdruck; die differenziellen Bewegungen verlaufen anders, und zum Teil entgegengesetzt, wie in einem Epikontinentalmeer. Dadurch gelangen wir auch zu der Vorstellung eines unruhigen Streifens mit raschem Wechsel der Fazies in horizontaler Richtung, also zu der Vorstellung eines Meeres mit schmalen tiefen Senken und dazwischenliegenden Untiefen und Inseln. Diese Vorstellung stimmt mit dem von Deecke entwickelten Bild überein. Der Unterschied liegt nur darin, daß die Deckentheorie einen mehr oder weniger regelmäßigen Wechsel in der Anordnung der Tiefen und Untiefen annimmt, also eine Analogie zu den Inselkränzen Ostasiens mit ihrem Wechsel von Tiefseegräben und Inseln parallel zum Streichen des späteren Gebirges. Diese Auffassung gründet sich auf den Übergang der Kreide zur Tiefenfazies im Süden der Glarner Alpen, auf ähnliche Übergänge des Doggers im Aarmassiv,

auf analoge Erscheinungen in den Freiburger und in den französischen Alpen.

Argand (IX 2) hat zu beweisen versucht, daß die Untiefen des mesozoischen Meeres (Merantiklinalen) Resten des karbonischen Gebirges entsprächen und zugleich die Embryonen der tertiären Faltung darstellten, aus denen sich dann, während des tertiären Paroxysmus, die Decken entwickelten (vergleiche Fig. 44a). Durch dieses immer neue Aufleben der alten Linien erklärt sich auch nach der Deckentheorie der Parallelismus zwischen Faziesverteilung und Tektonik. Argand wies im penninischen Gebiet zwei ausgesprochene Merantiklinalen nach (Briançonnais und Dolin), welche den heutigen Stirnen der St. Bernhard- und Dent Blanche-Decke

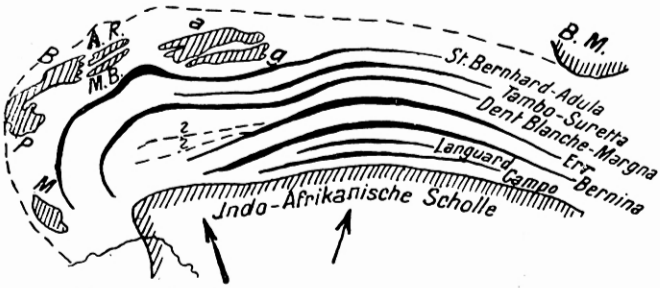


Fig. 37. Verteilung der Faltenembryonen im mesozoischen Meer (dicke Striche) nach Staub; gestrichelt-autochthone Massive: M. = Mercantour; P. = Pelvoux; B. = Belledonne; A. R. = Aiguilles rouges; M. B. = Mont Blanc; A. = Aarmassiv; G. = Gotthard; B. M. = böhmische Masse.

entsprechen. Eine ähnliche regelmäßige Folge von Merosynklinalen und Merantiklinalen glaubt Staub (VI 22) nach Abwickelung der Engadiner Decken für das Bündner mesozoische Meer nachweisen zu können und gelangt zu dem gleichen Schluß in Bezug auf den Zusammenhang zwischen Emryonaltektonik und Deckenbildung (Fig. 37).

Es drängt sich bei den Untersuchungen Argand's und Staub's immerhin zuweilen die Frage auf, ob hier nicht ein Zirkelschluß vorliegen könnte. Denn es ist ja nicht zu verkennen, daß in diesen komplizierten penninischen Gebieten die Tektonik des Deckenbaus vielfach aus der Faziesverteilung abgeleitet wurde (gewöhnlich auch noch, da Fossilien fehlen, auf rein petrographischem Wege). Was gleiche Fazies hat, wird zur gleichen Decke gestellt. Wickelt man nun die so erhaltenen Decken ab, so ist es schließlich nicht wunderbar, daß man zu einer regelmäßigen Faziesverteilung vor der Faltung gelangt. Ich möchte damit nur sagen, daß hier

von Fall zu Fall sorgfältig geprüft werden muß, inwiefern die tektonische Deutung des „abzuwickelnden“ Komplexes sichersteht. Das wird nur bei sehr sorgfältigen Einzeluntersuchungen der Fall sein, welche Tektonik und Faziesgeologie gleich stark berücksichtigen. Prinzipiell bedeutet ja der Argand'sche Gedanke der Embryonaltektonik in Geosynklinalen eine wertvolle Bereicherung unserer Vorstellungen.

So gelangt die Deckentheorie, auf Grund dieses modifizierten Bildes der Geosynklinale, auch auf faziellem Gebiet zu einer recht einheitlichen Darstellung. Was die Regelmäßigkeit der Verteilung angeht, so sind hier exakte Beweise schwer und manchmal gar nicht zu erbringen; insofern steht hier noch Ansicht gegen Ansicht, wenn auch einige Ergebnisse, wie die in den Glarner Alpen, entschieden für die Deckentheorie sprechen. Darin, daß es natürlich nicht angängig ist, allein auf Grund der Faziesverhältnisse Tektonik zu machen, hat Deecke zweifellos Recht und es steht wohl fest, daß gerade in der ersten Zeit in dieser Beziehung viel gesündigt worden ist und bis zu einem gewissen Grade heute noch gesündigt wird. Auf die peinlich genauen Faziesuntersuchungen der jüngeren Zeit (Heim, Argand, Staub) trifft das nicht mehr zu.

V. Die geophysikalische Kritik.

Wenn wir uns nun der Frage nach der theoretischen Möglichkeit solcher Erdrindengestaltungen zuwenden, welche uns die Deckentheorie aufgezeigt zu haben glaubt und nach den allgemeinen geophysikalischen Gründen fragen, welche dieselben veranlaßt haben könnten, so sehen wir darin noch eine ziemlich große Unklarheit herrschen. Die meisten Alpenforscher begnügen sich damit, das empirische Bild, welches ihnen ihr mehr oder weniger ausgedehntes Arbeitsgebiet geliefert hat, festzulegen, und fragen nicht nach den allgemeinen geophysikalischen Ursachen.

Es ist ja nun zweifellos wahr, daß Tatsachen in möglichst großer Fülle zu den unbedingt notwendigen Voraussetzungen unserer Forschungsart gehören; doch ein allgemeiner Gesichtspunkt, nach dem ihre Zusammenfassung vorgenommen wird, darf nicht fehlen, sofern wir nicht in einem ganz unübersichtlichen Wust von Einzelbeobachtungen ersticken wollen. Diesen allgemeinen Gesichtspunkt soll nun die Deckentheorie zunächst nur als Arbeitshypothese liefern. Liegt uns aber eine solche vor, so haben wir immerhin das Recht

zu prüfen, ob die Vorstellungen, auf denen sie beruht, restlos durchdacht sind.

Es erscheint uns oft wunderbar, wie sich Forscher früherer Zeiten mit Vorstellungen und Theorien begnügen konnten, die uns heute unerträglich verschwommen und unklar vorkommen (vergleiche Semper, die geologischen Studien Goethes); aber wenn wir einigen der neueren Theorien auf den Leib rücken, so sehen wir, daß auch hier noch oft große Unklarheiten der Begriffsbildung vorliegen, die spätere Generationen vielleicht mit demselben Staunen erfüllen werden, wie uns die Konzeptionen mittelalterlicher Gelehrter. Auch bei der Deckentheorie liegen solche Unklarheiten vor: Unklarheiten des Raumes, d. h. der Vorstellung von der Fortsetzung der Oberflächengestaltungen nach der Tiefe, und Unklarheiten der Zeit, d. h. der Entstehungsfolge dieser Gebilde — ihres Mechanismus.

1. Ampferer's Kritik der Kontraktionstheorie und der Überfaltungsdecken.

Viele Alpenforscher stehen heute noch in bezug auf die Frage nach der Entstehung der Decken auf dem Standpunkt der Kontraktionslehre, des durch die Schrumpfung der Erde bedingten oberflächlichen Schubes, welcher durch einen intensiven Seitendruck zustande kam und die Ursache zur Erzeugung der Decken lieferte. Eine große, von mächtigen Sedimenten erfüllte Senke — die Geosynklinale — wäre von einem starken seitlichen Druck erfaßt und durch mehrfache tektonische Übereinanderschichtung ihres Inhaltes ausgepreßt und zu einem Gebirge emporgestaut worden — das wäre in Kürze die landläufige Vorstellung. Dem Inhalt der Geosynklinale käme dabei im wesentlichen eine passive Rolle zu; er faltet sich unter dem Einfluß des Druckes vom Rande her, die erzeugende Kraft, die erzeugenden Massen liegen außerhalb des heutigen Gebirges. Diese Auffassung kommt auch in der neuesten Synthese Argand's (X 5) zum Ausdruck, wenn er auch über die Ursachen, sei es Kontraktion oder etwas anderes, nicht Direktes aussagt. Im Prinzip stellt sich auch ganz neuerdings Alb. Heim (I 6) durchaus auf den Standpunkt der Kontraktionstheorie, mit der Begründung, daß alle anderen Theorien einer ernsthaften Kritik nicht standgehalten haben, die Kontraktionslehre aber alle kritischen Entgegnungen überwunden hat. Wenn man auch durchaus die vielen Unklarheiten der anderen Theorien und ihre vielfach sehr hypotetischen Voraussetzungen zugeben muß, so kann doch der Ansicht

Heim's über das vollkommene Zurechtbestehen der Kontraktionslehre nicht beigepflichtet werden; im Gegenteil, es scheint mir, daß die Einwände dagegen so schwerwiegend sind, daß ihre Beibehaltung heute kaum mehr möglich erscheint.

Von vorneherein müssen zwei Sachen betont werden. Erstens ist die Grundlage der Kontraktionslehre — die Annahme einer fortschreitenden Abkühlung der Erde noch keineswegs ganz sichergestellt; es ist durchaus denkbar, daß ein großer Teil der durch Strahlung der Erde verloren gehender Wärme durch den Zerfall radioaktiver Substanzen wieder ersetzt werden kann. Zweitens muß bemerkt werden, daß bei der Annahme einer allgemeinen Kontraktion eigentlich von einem einseitigen Schub, wie er für die meisten Faltengebirge angenommen wird und angenommen werden muß, kaum geredet werden kann; das hat Andrée (X 4) mit Recht betont. Aber wie steht es überhaupt mit der Ableitung der Faltung aus der Schrumpfung der Erde und mit der Möglichkeit, die Deckenbildung aus einem Schub benachbarter, starrer Schollen zu erklären? Zu dieser Frage hat sich am eingehendsten Ampferer (X 2) geäußert und es ist eigentümlich, daß seine in höchstem Grade beherzigenswerte Kritik bis heute noch oft ganz übergangen wird. Und doch sind in ihr Momente enthalten, die für die landläufige Auffassung direkt vernichtend erscheinen. In Kürze seien die wichtigsten Gedankengänge Ampferer's hier wiedergegeben.

Ampferer's Kritik kann in zwei Teile zerlegt werden: der eine richtet sich gegen die Theorie von der allgemeinen Kontraktion und der dadurch bedingten Gebirgsbildung, der zweite gegen die Ableitung der Deckengebirge aus Überfaltungen.

Die Kernfrage des ersten Problems ist die folgende: Vermag das Gewölbe der Erdrinde einen durch Schrumpfung des Inneren erzeugten seitlichen Druck weiterzuleiten und an bestimmten Stellen zu summieren, um an diesen Stellen, mit Ausschluß der übrigen Teile der Rinde, Gebirge aufzufalten? Das Ergebnis ist nach Ampferer ein entschiedenes Nein und sein Gedankengang erscheint ganz einwandfrei. Zunächst ist festzustellen, daß bei den meisten Versuchen, sich an vorhandenen oder gedachten Modellen den Vorgang der Deckenbildung klarzumachen, die Verkleinerung meist nicht richtig in Betracht gezogen wird; mit der Verkleinerung der Dimension geht eine proportionale Verkleinerung aller anderen Konstanten Hand in Hand, was man oft zu übersehen pflegt. Außerdem ist zu beachten, daß das Erdgewölbe in einem zentrischen Kraftfelde liegt, während alle uns zugänglichen Gewölbe

in parallelen Kraftfeldern angeordnet sind; über das zentrische Kraftfeld fehlt uns also die Erfahrung.

Es kann einwandfrei festgestellt werden, daß der Gewölbedruck der freien (hohlen) Erdschale 1720mal größer ist, als die Druckfestigkeit des Granites. Daraus ist ersichtlich, daß die Kohäsionskraft des Erdgewölbes nicht im entferntesten dem Druck die Stange hält, den es tragen müßte. Ein freies Erdgewölbe kann für sich nicht bestehen. Es ist ein Gewölbe von einer im Verhältnis zu seiner Festigkeit und Dicke ungeheuren Spannung, welches frei und schwebend zusammenbrechen müßte. Mit anderen Worten, es ist durchaus auf die Stütze seiner Unterlage — des Erdinnern — angewiesen, von dem es ganz abhängig ist; die Erdrinde schwimmt auf dem Erdinnern. Bei ihrer sehr geringen Mächtigkeit gegenüber dem Kerne erscheint daher Ampferer's Bezeichnung Erdhaut sehr treffend.

Wenn nun das Erdgewölbe sich nicht selber zu tragen vermag, so würde eine allgemeine gleichzeitige Kontraktion nichts anderes bewirken können, als eine allgemeine Zermalmung der Erdhaut, eine Verdickung derselben in Verbindung mit einer allgemeinen Runzelung. Eine Übertragung des Druckes, eine Summierung desselben längs einem Streifen, unter Bestehenbleiben der Ungestörtheit der übrigen Erdoberfläche ist bei der geringen Festigkeit der Erdhaut ganz ausgeschlossen, ja diese Vorstellung ist eine Ungeheuerlichkeit. Das Verhältnis wird auch nicht besser, wenn wir eine ungleichmäßige oder ungleichzeitige Kontraktion annehmen. Denn die Verschiedenheit und Festigkeit der Oberflächengesteine kommt gegenüber diesem ungeheuren Drucke gar nicht in Betracht und eine lokale Entziehung der Unterlage wird immer an Ort und Stelle ausgeglichen werden und kann sich, wiederum wegen der geringen Druckfestigkeit, unmöglich über weite Räume oder gar um den ganzen Erdball herum fortpflanzen.

Dieses Ergebnis gewinnt Ampferer zunächst an einem Erdring, d. h. an einem großen Kreise des Geoidgewölbes; es läßt sich aber ohne weiteres auf das ganze Erdgewölbe übertragen. Ist nun auch hier eine Weiterleitung des Druckes über weite Räume nicht denkbar, so wäre das Ergebnis einer allgemeinen Kontraktion, die auf eine in bezug auf ihre Druckfestigkeit ungleichmäßige Oberfläche wirkt, eine Zerlegung der Erdhaut in ein Mosaik von härteren ungefalteten Schollen, zwischen denen wie Kanäle die weichen gefalteten Regionen liegen. Jede härtere Scholle müßte von einem ringsum geschlossenen Strang von Falten umgeben sein (Fig. 38).

Die „Geschlossenheit der Druckreihen“ ist eine natürliche Forderung der Ableitung der Faltung aus der allgemeinen Erdkontraktion. Es ist aber nicht zu verkennen, daß sie dem tatsächlichen Faltenbild der Erdhaut nicht entspricht. Aus diesem allgemeinen Bild der Kontraktionsfaltung deduziert nun Ampferer eine Reihe von Postulaten, die sämtlich im Widerspruch zu dem tatsächlich bestehenden tektonischen Bild der Erdoberfläche stehen. Das Wichtigste sei hier erwähnt:

1. Da die Erde in eine Anzahl von Schollen zerfällt, so muß jeder aus der allgemeinen Kontraktion hervorgehende Faltenstrang zweiteilig sein, d. h. aus zwei Faltungsfäden bestehen, deren jeder einer der erzeugenden Schollen zugeordnet ist. Das muß sich besonders deutlich dort zeigen, wo zwei benachbarte Schollen am Rande einer dritten auseinandertreten. Ein solches Bild ist in Wirklichkeit kaum je anzutreffen.

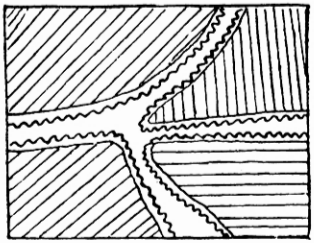


Fig. 38. Doppelte Faltenstränge (gewellte Linien) in den weicheren Zwischenräumen zwischen starren Schollen (gestrichelt). Nach Ampferer.

2. Aus diesem Schollenbild ist ferner abzuleiten, daß der innere Faltenring einer Scholle geschlossen sein muß, der äußere dagegen gezackt und zusammengesetzt verlaufen muß, da er zahlreiche Anschlüsse an die benachbarten Schollen besitzt. Das widerspricht nun auch allen Erfahrungen an Faltengebirgen, deren äußerer Rand gerade immer eine große Geschlossenheit aufweist.

3. Enge Faltenumbeugungen — Faltenschlingen, wie sie in Wirklichkeit oft vorkommen, sind bei der Ableitung aus einem einseitigen Druck nicht erklärlich.

4. Der oft beobachtete Gegensatz eines äußeren Druck- und eines inneren Zerrungsrandes ist ebenfalls aus einer allgemeinen Kontraktion nicht zu erklären.

5. Bei einem unregelmäßigen Umrisse einer Scholle muß die Falte senkrecht auf der Verbindungslinie des Randes mit dem Schwerpunkt stehen; dann wird sie aber zuweilen schief zum Rande der Scholle verlaufen. Das ist ein wichtiges Kriterium bei scharfen Umbiegungen der Schollen. Es trifft vielfach in den Gebirgen nicht zu, wo oft der Innen- und Außenrand der Umbiegungen parallel verlaufen. Allerdings nicht immer; so beobachtet man an der Balkanumbiegung zwischen dem Eisernen Tor und der bulgarischen Grenze ein schiefes Auseinandergehen der inneren und äußeren Kulissen.

Ein Parallelismus derselben wäre bei einem Schub aus der Ferne ganz undenkbar.

Es läßt sich nicht leugnen, daß diese Punkte zum Teil sehr schwerwiegend gegen die Kontraktionstheorie ins Gewicht fallen. Gewölbedruck, allgemeine Kontraktion, passiver Fernschub sind Begriffe, welche uns tatsächlich dem Verständnis der Faltungsvorgänge kaum näher bringen. Dann bleibt aber nur der Ausweg übrig, die Faltengebirge nicht als passiv geschoben, sondern als Streifen eigener Entstehung, als „Kraftlinien im Antlitz der Erde" zu betrachten. Die Faltengebirge und Decken aus der allgemeinen Erdkontraktion, aus einem Zusammenschub durch außerhalb von ihnen liegende, von ferne geschobene starre Schollen zu erklären, erscheint gänzlich ausgeschlossen.

—

Wenn somit der erste Teil der Ampferer'schen Beweisführung die Unmöglichkeit einer Ableitung der Faltung aus der allgemeinen Kontraktion erweist, so ist der zweite einer Kritik der Deckenbildung durch Überfaltung gewidmet. Wohlverstanden: Ampferer leugnet nicht eine Deckenbildung als solche; seine Opposition richtet sich nur gegen die Auffassung der Decken als „Überfalten", d. h. als riesige liegende Falten mit verkehrtem Mittelschenkel.

Seine Beweisführung geht von der Voraussetzung aus, daß jede intensive Faltung notwendig mit einer Loslösung der Oberschicht vom Untergrunde im Zusammenhang steht, d. h. mit einer oder zwei Überschiebungen unter der gefalteten Serie. Denn keine Faltung setzt in die unendliche Tiefe fort; in dem Gewölbekern haben wir sogar selten archäische Schichten. Das beweist, daß die Faltung der Oberfläche gewöhnlich vom Untergrunde unabhängig ist, und durch eine Bewegungsfläche, eine „Scherungsfläche" von ihm getrennt wird.

In diesem Falle sind in der Lage des oberflächlichen Schichtpaketes zu seinem Untergrund zwei Möglichkeiten gegeben: 1. Das oberflächliche Paket steht weder vorne, noch hinten im Zusammenhang mit seiner ursprünglichen Umgebung — es ist wurzellos. Das ist nur möglich, wenn die gefaltete Serie ein Streifen eigener Kraft ist und nicht passiv durch den Schub angrenzender erzeugender Schollen entstand. 2. Die gefaltete Serie besitzt eine oder zwei „Wurzeln" — dieser Ausdruck nicht im Sinne der Deckentheorie als Fußpunkt der Deckfalte verstanden, sondern nur in dem Sinne,

daß vorne oder hinten der Zusammenhang mit der benachbarten Scholle gewahrt blieb. Wenn eine solche Überschiebung durch den Druck benachbarter Schollen zustandekommt, so ist auch klar, daß man außer der eigentlichen Überschiebung, die sich in der Deckenbildung äußert, noch eine Bewegung der benachbarten erzeugenden Scholle über ihren Untergrund annehmen muß, und zwischen der „Förderlänge", oder dem Betrag der oberflächlich sichtbaren Verschiebung innerhalb des Faltengebirges und der „Schublänge", oder dem Gesamtbetrag der Verschiebung des oberflächlichen Paketes mit Einschluß der erzeugenden Scholle, über seinen Untergrund zu unterscheiden hat. Z. B., wenn man die Alpen durch Summierung der Kontraktionsschübe eines ganzen Erdringes entstehen lassen will, so hätte man zwei Überschiebungen mit einer

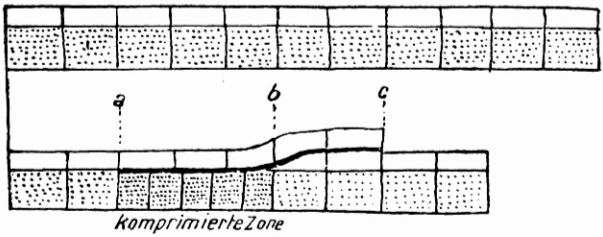


Fig. 39. Förderlänge b—c; Schublänge a—c. Der dicke schwarze Strich zeigt die Bewegungsfläche, längs der die geschobene Masse vom Untergrund losgelöst ist. Nach Ampferer, verändert.

Schublänge von etwa 20000 Kilometer bei einer Förderlänge von 120 Kilometer (Betrag des Zusammenschubes in den Alpen) anzunehmen (Fig. 39).

Wie würde nun bei der Annahme einer solchen Entstehung von Überfalten der Prozeß ihrer Bildung zu verstehen sein? Nehmen wir an, daß eine weichere, leichter zu faltende Zone zwischen zwei starren Massen liegt, die sich gegeneinander bewegen (Fig. 40a). Eine Gesamtauffaltung dieser ganzen „Geosynklinale" zu einem großen Gewölbe (Fig. 40b), welches durch weiteren Zusammenschub dann zu einer liegenden Falte zusammenklappt (Fig. 40c), ist aus Gründen der Gesteinsfestigkeit nicht anzunehmen. Dann aber bleibt nur die Möglichkeit, daß sich kleinere Falten ausbilden, die später, bei fortgesetztem Zusammenschub, übergelegt werden. Am leichtesten wird das an der Grenze beider Schollen der Fall sein (Fig. 40d); die beiden anderen Möglichkeiten haben weniger Aussicht auf Verwirklichung (Fig. 40e, f). Soll hierbei eine große liegende Falte entstehen, so ist das nur durch Aneinanderreihung und Umstülpung

kleinerer Falten möglich, dadurch, daß nacheinander immer jeder weiter zurückliegende Punkt zum Scheitel des liegenden Gewölbes wird (Fig. 40g). An diesem Scheitel hätten wir dann die ganze Zeit gleichsam sich überstürzende gewaltige Bergstürze. Es wäre also undenkbar, daß der Zusammenhang der Schichten gewahrt bleibt. Diese Vorstellung wird nach Ampferer auch dann nicht einleuchtender, wenn man den Vorgang als unter einer mächtigen Sedimentdecke entstanden denkt.

Aber auch ein anderer Weg kann zeigen, daß wir hierbei zu ganz ungeheuerlichen Vorstellungen kommen. Nehmen wir eine liegende Falte von 100 Kilometer Länge an, die dann einem ursprünglichen Streifen von 200 Kilometer entspricht. Ist die Mächtigkeit der gefalteten Schichten 5 Kilometer, so ist der Gesamtbetrag der oberflächlichen Verkürzung 190 Kilometer. Um diesen Betrag muß also auch die anschließende erzeugende Scholle über ihren Untergrund hinübergeglitten sein. Das ist nur auf zweierlei Art denkbar: entweder verschwindet die ganze sie unterlagernde Masse[1]) — was ungeheuere Volumschwankungen voraussetzt, die sich doch vor allem in Einbrüchen kenntlich machen würden, oder die erzeugende Scholle ist beträchtlich größer, als der Betrag des Schubes; das setzt aber wieder eine Fernleitung des Druckes voraus, die wir im Vorhergehenden als ganz undenkbar abgelehnt haben. Insbesondere wären auch die oft beobachteten engen Faltenschlingen bei einer solchen Ableitung aus der Ferne unmöglich. Nur die zweite Möglichkeit erscheint mir absolut unwahrscheinlich; zu der ersten, d. h. zu Volumschwankungen des Untergrundes, mußte Ampferer später selber Zuflucht nehmen (siehe unten).

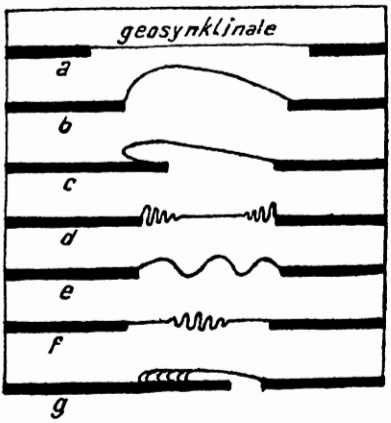


Fig. 40 a—g. Verschiedene Möglichkeiten der Faltenbildung in einer Geosynklinale. Nach Ampferer.

Man sieht also; theoretisch stößt die Annahme von weiten Deckfalten und ihre Ableitung aus dem Seitendruck benachbarter, selber eng gefalteter Schollen auf schroffe Unmöglichkeiten. Aber ist damit die Deckentheorie auch erledigt? Verfallen wir nicht

[1]) Wenn nämlich die bewegte Scholle selbst nur 190 Kilometer lang ist.

bei diesen Überlegungen dem Trugschluß, zu erklären, daß etwas „nicht sein kann, weil es nicht sein darf", unter Mißachtung des gesamten gesicherten Tatsachenmaterials, welches uns die Deckentheorie geliefert hat? Wir haben im Vorhergehenden einen flüchtigen Überblick über dieses Tatsachenmaterial gewonnen; wir haben festgestellt, daß es uns in den Westalpen zu einem harmonischen Bilde führen kann; wir haben aber auch gesehen, wie riesengroß die Schwierigkeiten sind, wenn man dieses Schema auf die Ostalpen anwenden will.

Daß riesige Deckenschübe in den Alpen vorliegen, bestreitet heute wohl kein Mensch mehr; daß sie aber samt und sonders auf liegende Überfalten mit verkehrtem Mittelschenkel zurückzuführen sind, wird nicht mit der gleichen Sicherheit behauptet werden können. Noch weniger kann man daraus beweisen, daß aus ihnen ein Schub aus der Ferne, eine passive Verfrachtung durch den Druck benachbarter starrer Schollen abzuleiten ist. Diese Vorstellung war ja nur ein Postulat, um sich den Faltenvorgang überhaupt verständlich zu machen. Daß sie für die Verfrachtungsformen alpiner Gebirge versagt, beweist nicht das Nichtvorhandensein dieser, sondern bloß die Notwendigkeit, eine andere Theorie der Gebirgsbildung an Stelle der Kontraktion- und Seitenschublehre zu setzen.

Inwiefern Ampferer's Behauptung von der Unmöglichkeit der Überfaltungsdecken zu Recht besteht, ist eine andere Frage. Was das Deckenphänomen überhaupt angeht, hat wohl Ampferer, unter dem Druck der Tatsachen, in seinen späteren Arbeiten eine etwas andere Stellung eingenommen. Wenn er da die Deckenbildung einfach auf große Schollenüberschiebungen zurückführt, so ist dabei zu berücksichtigen, daß er eben in der Hauptsache von den Ostalpen ausgeht, wo die mächtigen, starren Dolomit- und Kalkplatten einer Faltenbewegung allerdings Schwierigkeiten entgegensetzen. Es erscheint aber immerhin möglich, daß die plastischen Schiefermassen der Westalpen sich etwas anders verhielten, besonders, wenn die Faltung in einer gewissen Tiefe, unter dem Druck eines selbständig darüber hinweg gleitenden „Überschiebungsschlittens" vor sich ging. Es ist denkbar, daß hierbei nicht sofort eine Zerreißung an der Stirn der sich bildenden Überschiebung stattfand, sondern daß der liegende Schenkel, wenn auch in stark ausgewalztem Zustande, noch erhalten blieb. Wenn man nämlich auch einige Phänomene der verkehrten Schichtenfolge in den Klippen und an anderen Stellen durch lokale Überwälzungen erklären kann, so haben wir eben doch stellenweise gesicherte Beobachtungen weit-

ausgreifender liegender Falten kennen gelernt. Man denke nur an die Falten des Mont Joly, an einige Bewegungsbilder der penninischen Alpen, an Teile der Glarner Decke usw.

Es scheint mir also möglich, daß solche Überfaltungsvorgänge in der Tiefe, in einer durch Druck und hohe Temperatur halbplastischen Zone stattfinden, wobei dann an der Oberfläche natürlich anders gestaltete Vorgänge — also einfache Überschiebung — an ihre Stelle treten können. Das Bewegungsbild der penninischen Alpen z. B. legt eine solche Vermutung nahe. In der von Ampferer zitierten Weise ist an der Oberfläche der Überfaltungsvorgang allerdings kaum denkbar. Aber ich glaube, daß in oberflächlichen Decken das Überfaltungsstadium stets nur das erste Stadium der Deckenbildung sein wird (isoklinal stehende, dann übergelegte Falten). Der weitere Prozeß dürfte dann von einer Schollenüberschiebung nicht prinzipiell verschieden sein und sich nur durch die Auswalzung des liegenden Schenkels von ihr unterscheiden.

Eines dürfte allerdings aus diesen Erörterungen klar hervorgehen: aus einem seitlichen Fernschub sind diese Bewegungsbilder nicht abzuleiten, die Ursachen der Gebirgsbildung liegen — darin hat Ampferer zweifellos Recht — im Untergrunde des gefalteten Alpenstreifens.

Hierzu ist eine Erörterung notwendig. Es ist allgemein üblich, und wird sogar als feststehend angenommen, das die Falten des Juras auf denselben Schub zurückgehen, wie die Falten der Alpen. Und diese Auffassung ist noch erweitert worden. van Werveke nimmt ja an, daß die süddeutschen Gebirgskerne (Schwarzwald, Vogesen, Odenwald, Pfälzerwald, ja sogar noch die rheinische Masse) eine Art Großfaltung von beträchtlicher Spannweite darstellen, die ebenfalls auf den alpinen Druck zurückzuführen ist. Nach der vorhergehenden Erörterung von der Unmöglichkeit von Druckübertragungen an der Oberfläche erscheint diese Vorstellung nicht mehr möglich. Und doch sieht es so aus, als lägen diese Beziehungen klar zutage, besonders wenn man in Betracht zieht, daß weiter im Westen, im Zentralplateau, eigentlich genau das gleiche der Fall ist (östliches Zentralplateau-Morvan, Sporn von Forez, westliches Plateau der Puy de Dome-Kette), mit einem hier im Sinne der Alpenfaltung gedrehten Streichen. Eine einfache Überlegung zeigt, daß wir es auch hier mit einer nicht ganz scharf durchdachten Vorstellung zu tun haben. In der Tat: die Alpenfaltung beginnt im Eocän (wenigstens die Hauptphase in den Westalpen) und ist im Pliocän im wesentlichen abgeschlossen; die Jura-

faltung hat wohl ihre Hauptintensität im Pliocän gehabt; die süddeutschen Großfalten müssen aber noch jünger sein, denn die Lagerung des Pliocäns spricht für eine weitgehende Verebnung der süddeutschen Kerne in dieser Zeit und die junge Hebung des Schwarzwaldes und des Odenwaldes wird jetzt ziemlich allgemein als diluvial angesehen. Dann kann sie aber auch nicht eine Wirkung des Seitendruckes von den Alpen her sein. In einem hat nämlich Ampferer zweifellos Recht: bei der Annahme einer Zusammenpressung, wie zwischen den Backen eines Schraubstocks in einem oberflächlichen Schichtpaket, bildet jede neuentstehende Falte eine Art Drucksicherung gegenüber dem Vorland; weitere Falten würden sich nach innen, nicht nach außen zu anschließen. Daher steht auch die oft beobachtete Erscheinung, daß die äußersten Ketten eines Gebirges die jüngsten sind, in Widerspruch zu der Seitendruck-Theorie. Freilich sind sie das auch nicht immer; im Jura haben wir ein gegenteiliges Beispiel. Hier ist die Anlage der Hauensteinschuppen älter und die südlich anschließenden Ketten gliedern sich erst später an. Wie dem auch sei, wenn trotzdem ein Zusammenhang besteht zwischen dem Alpensystem und der süddeutschen Großfaltung, so kann er nicht im Sinne eines oberflächlichen Seitendruckes gedeutet werden, sondern seine Ursachen müssen auch in der Tiefe liegen. Die Erscheinung fällt auch in bezug auf ihr zeitliches Auftreten in den Rahmen dessen, was Stille als „zonares Wandern der Gebirgsbildung“ bezeichnet. Auch diese geht von innen nach außen und ist durch oberflächlichen Seitendruck schlechthin unerklärlich. Weitere Spekulationen würden uns zu weit von unserem Wege fortführen; es schien aber notwendig auf diesen möglichen Einwand hinzuweisen.

Der Fortschritt der Ampferer'schen Kritik liegt mithin nicht sowohl in der Kritik der Möglichkeit der Deckenbildung, sondern in dem Nachweis der Unmöglichkeit, diese aus der allgemeinen Kontraktion abzuleiten.

In seinem schon zitierten ausgezeichneten Aufsatz über Alpen und Dinariden weist Schwinner (VIII 18) mit Recht darauf hin, daß man sich bei Betrachtung der faltenden Vorgänge vor die Alternative gestellt sieht, entweder auf das alte Bild der Kontraktionstheorie mit ihrer Folgerung „der Keilwirkung“ starrer Schollen auf plastische Zwischenstücke zu verzichten, oder bei der alten „Schollentektonik“ zu bleiben und die Deckentheorie über Bord zu werfen. Die Schollentektonik ist aber eigentlich nur Detailtektonik. Die Vorgänge der Tiefe, auf denen die Deckentheorie

beruhen muß, mit diesen Einzelheiten zu vermengen, neben den Tiefenveränderungen auch dem oberflächlichen Gegensatz von starr und plastisch eine entscheidende Rolle beizumessen, führt zu inneren Widersprüchen und zu einer heillosen Verwirrung der Begriffe, wie sie sich leider bis in die neuesten Arbeiten oft bemerkbar macht.

Freilich muß auch hier gesagt werden, daß diese Ablehnung der Kontraktionstheorie noch nicht allgemein angenommen ist. Einige der besten Alpengeologen, so z. B. Alb. Heim, stehen noch ganz auf ihrem Boden (Ib, Bd. II, S. 54—56), wenn auch gerade der letzte vollkommen objektiv anerkennt, daß die anzunehmende Plastizität und die Fernübertragung der Drucke zwei Erscheinungen sind, die sich schwer vereinigen lassen, und daß also hier noch eine bedeutende Lücke in der Theorie vorhanden ist. Es muß eben auch hier wieder betont werden, daß keine der bisher vorgebrachten Anschauungen restlos befriedigt. Für Alb. Heim und noch manche andere erscheinen die Unklarheiten der noch vorzubringenden Theorien größer, während wir uns auf den Standpunkt gestellt haben, daß die vorgebrachten kritischen Bemerkungen für die Kontraktionstheorie eigentlich vernichtend sind.

2. Andere geophysikalische Theorien.

Wir haben im vorhergehenden Abschnitt gesehen, daß große horizontale Verfrachtungen kaum auf die Kontraktion der Erde und auf einen passiven Schub von der Seite her zurückzuführen sind. Leugnet man die Deckenbildung, so ist aber noch ein Versuch erlaubt, mit der Kontraktionstheorie auszukommen. Das hat Mylius unternommen und von diesem Standpunkt aus bietet seine Theorie einiges Interesse.

Steht man dagegen mit den meisten Alpengeologen auf dem Standpunkt, daß eine weit ausgedehnte Deckenbildung nicht mehr zu leugnen ist, so muß angenommen werden, daß die Decken- und Faltengebirge Streifen eigener Kraft sind. Da diese Kraft aber unmöglich in der starren Erdkruste liegen kann, so bleibt auch logisch nur der eine Ausweg, ihren Sitz in der Tiefe zu suchen, in magmatischen Vorgängen unter der Rinde, d. h. in den Überschiebungen einen oberflächlichen Ausdruck plastischer, fließender Bewegungen des Untergrundes zu sehen. So kommen wir an Stelle der Kontraktionstheorie zu dem Satz: Falten- und Deckenbildung sind äußere Ausdrücke von Bewegungen der Tiefe, die an Ort und Stelle unter der Rinde vor sich gehen. In diesem Sinne ist

auch das Zusammenfallen dieser Streifen eigener Kraft mit den labilen Geosynklinalregionen eine auffallende und bezeichnende Erscheinung.

Über diesen allgemeinsten Satz kommt man aber heute kaum weiter. Es ist nur ehrlich, wenn wir gestehen, daß wir die Art der Tiefenvorgänge höchstens ahnen, aber noch nicht aufzeigen können. Was darüber gesagt worden ist, sind Hypothesen, doch ist es nützlich, die verschiedenen Vorstellungsarten kennen zu lernen, um einen Überblick über die Richtung zu erhalten, in der sich ein Versuch der Lösung dieser grundlegenden, aber noch völlig dunkeln Probleme bewegen muß.

Auf die geophysikalischen Theorien, welche die Ursachen der Gebirgsbildung in Polverlegungen oder in einem Gleiten der Erdschale über den Kern suchen, soll hier nicht weiter eingegangen werden. Sie sind zu hypothetisch und besitzen zu wenig tatsächliche Anhaltspunkte, um zurzeit einer ausführlichen Erörterung wert zu erscheinen. Daß speziell die Annahme der freien Rotation der Rinde um den Kern als der erzeugenden Kraft der Gebirgsbildung (Reibung, Hemmung) mit der tatsächlichen Anordnung der Leitlinien auf der Erde unvereinbar ist, hat Ampferer mit Recht betont.

a) Die Mylius'sche Theorie der kurzen Schübe (X 11).

Diese Theorie gründet sich noch auf die Kontraktionslehre und es lassen sich daher auch eine Reihe der Ampferer'schen Einwendungen gegen sie vorbringen. Jedoch nicht alle; und was sie vor allem interessant macht, ist die Tatsache, daß sie mit der Kontraktionstheorie weit eher vereinbar ist, wie die Deckentheorie, ja gewissermaßen einen letzten Versuch darstellt, die Lehre vom Seitendruck für die Erklärung der Faltengebirge beizubehalten. Das geschieht in der Weise, daß Mylius erstens auf alle Fernschübe verzichtet und nur mit kleinen Bewegungen von höchstens 9 Kilometer Förderlänge arbeitet, und daß er ferner dem als allseitig wirkend anzunehmenden Druck gerecht wird. Insofern sind die aus der Kontraktionslehre notwendig werdenden Postulate: 1. daß der Seitendruck die Rinde in kleine unabhängige Schollen zerlegt und 2. daß der allseitig wirkende Druck diese Schollen mit einem Kranz von Falten umgibt (Geschlossenheit der Druckreihen), bis zu einem gewissen Grade bei Mylius verwirklicht.

Seine Auffassung ist kurz die folgende: Jede Scholle, deren Gestalt man der Einfachheit halber als elliptisch annehmen kann, steht unter allseitigem Druck. Wird das Gleichgewichtsverhältnis gestört,

so kommen die Drucke zur Auslösung und zwar in der Reihenfolge ihrer Stärke. Z. B. waren die von Süden nach Norden und umgekehrt wirkenden Spannungen in den Alpen ursprünglich vielleicht stärker, als die auch damals schon bestehenden ostwestlichen Druckanlagen. Die Nordsüdspannungen gelangten zunächst zur Auslösung, aber nur so lange, bis sie auf die Stärke der ostwestlichen herabsanken. Dann traten diese in Aktion, allerdings weniger in der Form einer Faltung, die schwer senkrecht zu der durch das Vorhergehende bewirkten Versteifung zu vollbringen war, als in der einer glatten Überschiebung (Grenze der West- und Ostalpen). Hatten sich diese Spannungen bis zu einem gewissen Grade ausgelöst, so konnten die nordsüdlichen wieder in Aktion treten. Diese Theorie der sprungweisen Drehung der Kraftrichtung hat natürlich nur dann Geltung, wenn man eine Zerlegung sämtlicher konzentrisch gerichteter Kräfte in zwei senkrecht aufeinander stehende Komponenten als möglich ansieht. Daneben läßt sich auch eine allmähliche Drehung der Kraftrichtung voraussetzen, bei der die konzentrisch wirkenden Kräfte ohne Zerlegung, nacheinander, ihrem Intensitätsgrad entsprechend in Aktion treten, so daß die Richtung der Bewegung ganz allmählich aus Südnord in Ostwest umbiegt. Dieses Bild will Mylius auf den großen westlichen Bogen zwischen dem Genfer See und der ligurischen Küste anwenden. Beide Möglichkeiten sind nur extreme Spezialfälle der gleichen Erscheinung und können durch Übergänge verbunden sein. Welcher von ihnen eintritt, hängt von den Bedingungen ab, unter denen die Kraft einwirkt, insbesondere von dem Grad der Plastizität der bewegten Schollen und von ihrer oberflächlichen Gestaltung. In mächtigen starren Schollen (Dolomitplatten) wird sich eher die sprungweise, in plastischen Tonmassen die allmähliche Drehung der Kraftrichtung verwirklichen.

So glaubt Mylius durch eine Verbindung kurzer Schübe mit der Drehung der Kraftrichtung allen Erscheinungen des Alpenbaues gerecht zu werden. Die Faziesverteilung muß allerdings auch er, wie Deecke, als primär unregelmäßig annehmen. Es ist nicht zu verkennen, daß diese Theorie manches Gezwungene an sich hat. Zunächst ist auch gegen sie der allgemeine Einwand vorzubringen, daß eine Konzentrierung der Drucke auf das Alpengebiet kaum zu verstehen und zu erklären ist. Doch ganz abgesehen von diesem allgemeinen Einwand erscheint die Erklärung vieler Einzelheiten unzulänglich. Es müßten vor allem die nordsüd- und die südnordgerichteten Bewegungen einander an Intensität gleichwertig sein,

was doch ganz gewiß nicht der Fall ist. Die Ost-West-Bewegungen müßten auch eine weitere Verbreitung besitzen; Mylius geht eben von den besonderen Verhältnissen der ostalpinen Grenze aus, deren Erscheinungsbild keineswegs verallgemeinert werden darf. Auch das Fehlen der Gegenkomponente zu diesen — der West-Ost-Bewegungen — ist unverständlich und wird kaum durch den Hinweis auf die Erdrotation erklärt, welche die Bewegungen nach Westen begünstigt haben soll. Wenn ferner der Anstoß zur Bewegung in einer Störung des Gleichgewichts nebst Auslösung der stärkeren Kräfte liegt, so wäre doch anzunehmen, daß, nachdem diese auf das Maß der Ostwestkräfte herabgesunken sind, das Gleichgewicht wieder hergestellt sei und eine Auslösung der Ostwestkräfte nicht mehr in Frage käme. Endlich erscheint die Theorie nur dann wirklich anwendbar, wenn man sie auf eine ringsum geschlossene Scholle anwendet; die Beschränkung auf drei Ellipsenquadranten mit einem nicht bewegten vierten, wie sie Mylius für den Alpenbogen annehmen muß, ist vom Standpunkt der Kontraktionstheorie kaum verständlich.

Ich muß mir hier eine weitere eingehende Erörterung der Mylius'schen Theorie versagen; interessant ist sie eben als Versuch, letzten Endes doch mit der Kontraktionstheorie und mit oberflächlichen kleinen Schüben auszukommen. Dieser Versuch ist mißglückt, weil er Spezialverhältnisse (ostalpine Grenze) als Basis nimmt und diese zu einem allgemeinen Begriff erheben will.

b) Ampferer's Theorie der Unterströmung und Verschluckung.

Eine horizontale Verschiebung von Schichtpaketen kann außer durch lateralen Druck auch durch ein Abgleiten auf schiefer Unterlage erzeugt werden; die dabei auftretenden Stauungserscheinungen können sehr wohl einen Faltenwurf hervorbringen. In Kleinem kann man solche Erscheinungen bei Bergrutschen und beim Abgleiten von Schollen auf feuchter, toniger Unterlage beobachten. Im Großen hat zuerst Reyer (X 14, 15) versucht, in solchen Bewegungen treibende Ursachen der Gebirgsbildung zu sehen. Manche Besonderheiten der Faltengebirge, wie der Zusammenhang des morphologischen Gefälles mit dem Schweregefälle, der scharfe Außenrand der meisten Faltengebirge, ihre Einseitigkeit, die nach außen zunehmende Faltungsintensität, das Vorhandensein von Zerrungszonen am Innenrand, die Empfindlichkeit für starre Schollen im Vorland u. a. m. lassen sich dadurch entschieden besser erklären, als durch seitliche Schübe. Große Volumenschwankungen werden

entbehrlich und die Bildung von Überschiebungsdecken erscheint verständlicher. Schardt, einer der Begründer der Deckentheorie, dachte zunächst an solche Vorgänge zur Erklärung der Lagerung in den Freiburger Alpen (X 18). Doch als Gesamterklärung der Gebirgsbildung ist die Reyer'sche Gleitfaltung nicht genügend. Sie setzt ein konstantes Gefälle voraus, kann also ein mehrteiliges Gebirge oder eine auf ebener Basis ruhende gefaltete Schichtenfolge (Jura) nicht erklären; die Abwesenheit von Zerrungszonen erscheint unmöglich. Unverständlich wird die in den Alpen so häufige Verfaltung der hangenden Schichten mit den Gneißen, insbesondere die Bildung der penninischen Decke; auch das Gleiten auf durchfeuchteter Unterlage ist ein für den Maßstab der alpinen Vorgänge unzulänglicher Grund. Endlich bedarf sie einer vorausgehenden Hebung, ist also auch nur eine Teilerklärung. Ampferer, dem ich bei dieser Kritik folgte, versucht nun diese Schwierigkeiten auf die Weise zu umgehen, daß er den Vorgang der Gleitung in eine tiefere, plastische oder halbplastische Zone verlegt, in der also die Hauptbewegung stattfindet und von der die oberflächlichen Veränderungen bedingt und getragen werden (Fig. 41). Eine solche plastische Zone unter der festen Erdrinde gehört nach Andrée (X 4) durchaus in den Bereich des Möglichen. Die „bruchlose Faltung" Heim's und in neuester Zeit die Untersuchungen von van Hise (X 9) und F. Adams (X 1) über die Plastizität der Gesteine sprechen dafür, wenn auch über die Tiefenlage dieser Zone (zone of rock flowage-Zone des Gesteinsfließens) noch keine Klarheit zu erlangen war. Dieses ist aber nur eine Seite des Problems; es muß weiter gefragt werden, was denn den Anstoß zu diesen „Unterströmungen" innerhalb der plastischen Zone geben kann. Ampferer spricht nur von Volumveränderungen im Magma, die sich in vertikaler Richtung am leichtesten äußern können und die Erhebungen des Untergrundes erzeugen, von welchen die plastischen Schichten abfließen. Andrée war bestrebt, den Vorgang durch einen Hinweis auf die Kristallisationsversuche Tamann's

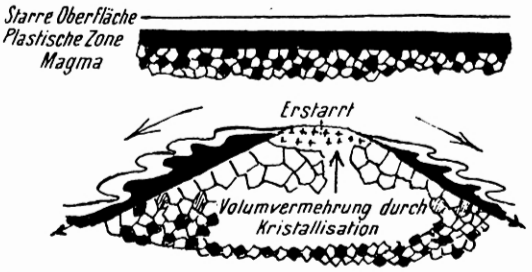


Fig. 41. Schema einer Hebung durch Volumvermehrung mit dadurch bedingten Unterströmungen in der plastischen Zone (schwarz) und Abgleitungen der Oberflächenschichten.

(X 19, 20) glaubhaft zu machen. Nach diesen Versuchen sind die Volumveränderungen bei der Kristallisation bis zu einem gewissen Grade eine Funktion des Druckes. Oberhalb von einem gewissen maximalen Druckpunkt erfolgt die Kristallisation unter Volumzunahme. Das führt zu der Vorstellung, daß Kristallisationsprozesse, welche sich in der Nähe der Oberfläche unter Kontraktion abspielen, in größerer Tiefe unter Volumzunahme vor sich gehen können; diese äußert sich vorwiegend in vertikaler Richtung und gibt den Anstoß zu den Unterströmungen. Es ist nicht zu verkennen, daß diese Theorie eine gewisse Ähnlichkeit mit der alten Hebungstheorie hat und Ampferer hat das selber bemerkt. Doch hat er auch gesehen, daß das, wie stets in der Wissenschaft, kein einfacher Kreislauf der Theorie ist, sondern einer höheren Stufe der Erkenntnis entspricht. Nicht die herausdringenden vulkanischen Massen sprengen und verschieben die Kruste, sondern beide Erscheinungen gehen auf eine Ursache — die Veränderungen der Tiefe — zurück. Wenn das Wasser in einem Faß einfriert und seine Umhüllung sprengt — das ist ein hübscher Vergleich Ampferer's —, so dringen durch die Fugen schmale Eisfäden hindurch; nicht diese drängen aber die Wände auseinander, sie werden in ihrer Bewegung nur von der allgemeinen Bewegung des Inhaltes getragen. So erscheint der Vorgang der Unterströmung durchaus möglich, wenn wir auch noch wenig Kriterien besitzen, um die Tatsache seines Bestehens mit Sicherheit zu behaupten.

Ampferer's Profil durch die Ostalpen (X 3), welches ihn schließlich zu der Annahme bedeutender horizontaler Bewegungen führte, und das spezielle mechanische Bild der übereinandergetürmten, an flachen Bewegungsflächen gegen den Außenrand aufsteigenden Schollen erlaubte nicht ohne weiteres eine Erklärung durch Unterströmung. Es ist in gewissem Sinne sogar ein entgegengesetzter Prozeß hier anzunehmen — nicht ein Abgleiten, sondern ein Hinaus- und in die Höhedrängen von Schollen. Wenn man, wie aus dem Vorhergehenden ersichtlich, die Übertragung von Seitendrucken aus der Ferne ablehnen muß, so erscheint allerdings die Auffassung einleuchtend, daß hier einem größeren Erdstreifen die Unterlage entzogen wurde, wodurch an der Oberfläche große Teile entbehrlich geworden sind und sich übereinander gestaut haben, indem die trennenden Flächen von unten zunächst steil, dann immer flacher in die Höhe gingen. Gegenüber der Deckentheorie hat diese Auffassung den Vorzug, daß sie das oft so problematische Suchen nach Wurzeln entbehrlich macht und auch den Bewegungen nach

Süden in den Dinariden bis zu einem gewissen Grade gerecht wird. Wie allerdings die „Einsaugung“ des Magmas unter der Oberfläche oder die Verschluckung immerhin sehr beträchtlicher Teile des Untergrundes geophysikalisch zu erklären ist, bleibt noch eine offene Frage. Der Unterströmung gegenüber würde sie ein gegensätzliches Verhalten, eine Volumabnahme bedeuten, worin aber kein Einwand zu liegen braucht, denn in der wohl sicher nicht homogenen Durchmischung des Erdballes kann ein ganz verschiedenes Verhalten seiner Teile begründet sein (Fig. 42).

Den Einwand, daß es sich hier doch um eine Kontraktion handelt, die Auffassung also wieder zu der alten Theorie zurückkehrt, kann man nicht gelten lassen; denn es handelt sich hier um örtliche Tiefenvorgänge, die an Ort und Stelle ausgetragen

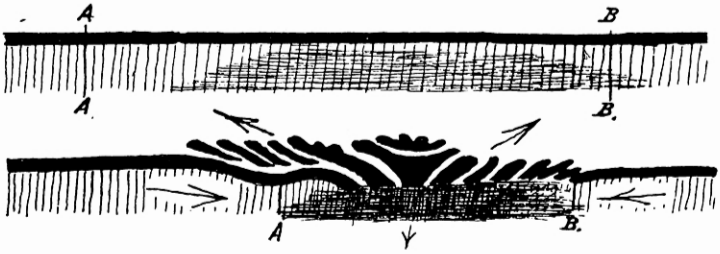


Fig. 42. Schema eines Verschluckungsvorganges. Nach Ampferer. Schwarz: Erdhaut; gestrichelt: tiefere Zone; doppelt gestrichelt: Bereich der Masseneinsaugung.

werden, also keinerlei Fernübertragung des Druckes erfordern. Ob sich freilich alle Eigentümlichkeiten des alpinen Baues durch diese Theorie erklären lassen, erscheint fraglich; die Bewegungsbilder der helvetischen und penninischen Alpen mit ihren Tauch- und Faltendecken deuten eine andere Entstehungsart an. Für Teile der Ostalpen könnte aber diese Theorie eine wertvolle Grundlage abgeben (vergleiche unten).

c) Die thermische oder Expansionstheorie.

Wenn die Anschauungen Ampferer's in keinem direkten Zusammenhang mit der Theorie der Geosynklinale stehen, so erweist sich die thermische Theorie als eine direkte Folgerung der geosynklinalen Bewegung.

Schon Dana und später besonders Mallard Reade (X 13) haben darauf hingewiesen, daß Sedimente, welche in einem Gebiet stetiger Senkung abgelagert werden, allmählich in immer größere Tiefen gelangen, einer stärkeren Durchwärmung ausgesetzt werden,

dadurch eine Volumvermehrung erfahren, die zu einer Aufwölbung, zu einem Emporsteigen des Gebirges aus dem Schoße der Geosynklinale führen kann. Da die sich ausdehnenden Schichten nicht nach der Seite ausweichen können, wird sich die Ausdehnung vor allem in einer vertikalen Hebung — eben in der Gebirgsbildung — bemerkbar machen.

In dieser einfachen Form ist die Theorie kaum haltbar. Andrée wies darauf hin, daß 1. die Expansionsbestrebung zunächst durch die Herstellung größerer Dichte (Abnahme des Porenvolumens) bis zu einem gewissen Grade kompensiert wird, daß 2. die Unmöglichkeit einer Weiterleitung der Drucke nur zu einer allgemeinen Aufwölbung, nicht zu einer Faltung im einzelnen führen kann, und daß 3. durchaus nicht alle mächtigen Sedimente verändert und gefaltet sind. Ampferer betont mit Recht, daß der hierbei auftretende Druck ein allseitiger ist und nicht ohne weiteres in parallele Druckreihen umgeformt werden kann. Vor allem aber, und das hat auch Andrée schon gesehen, ist der Vorgang der Senkung und Erwärmung ein stetig fortschreitender. Die einzelnen Glieder einer Schichtfolge rücken nacheinander in die Tiefe vor. Sie werden also auch nacheinander von der Expansionsbestrebung und der Faltung ergriffen und müßten das Bild eines kontinuierlich gegen oben an Intensität abnehmenden Faltungsprozesses liefern und nicht das uns bekannte Schema, in dem Zeiten des Bewegungsparoxismus mit Zeiten relativer Ruhe abwechseln. Mit anderen Worten: Die Ausdehnung einer Schicht müßte sofort bei ihrem Tiefersinken beginnen und die dadurch erzeugte Energie könnte nicht bis zur Ansammlung größerer Schichtpakete aufgespeichert werden.

Doch ist vielleicht die thermische Theorie wandlungsfähig; das hat insbesondere Dacqué (X 6) in letzter Zeit betont, indem er an die Gedanken Termier's (X 21) und Lachmann's (X 10) anknüpfte. Termier nimmt an, daß außer der einfachen Temperaturzunahme die in die Tiefe rückenden Schichten noch eine starke Durchsetzung mit juvenilen Gasen erleiden, die zu einer vollkommenen molekularen Umwandlung der Gesteine, zu chemischen Neubildungen und diagenetischen Prozessen führt. Die Intensität und Erscheinungsart dieses Vorganges hängt von der Tiefe ab; unten liegen die am meisten umgewandelten, wohl durch das Stadium eines flüssigen Gesteinsbreis durchgegangenen Sedimente, nach oben wird die Metamorphose geringer. Erfolgt dann eine Abkühlung und eine Auskristallisation der durchweichten Schichten, so wird ferner die durch die wechselnde Stärke der Metamorphose

hervorgebrachte Inhomogenität gewahrt bleiben und die durch die Kristallisation erzeugten Volumveränderungen können an verschiedenen Stellen ganz verschieden verlaufen. Insbesondere kann die intensive Fältelung der zentralen kristallinen Teile des Gebirges durch so verlaufende Kristallisationsprozesse und Volumschwankungen bedingt sein und braucht nicht immer auf Seitendruck zurückgeführt zu werden. Das ist im wesentlichen auch der Gedanke Lachmann's, der insbesondere die Faltenbilder des Simplongebietes auf

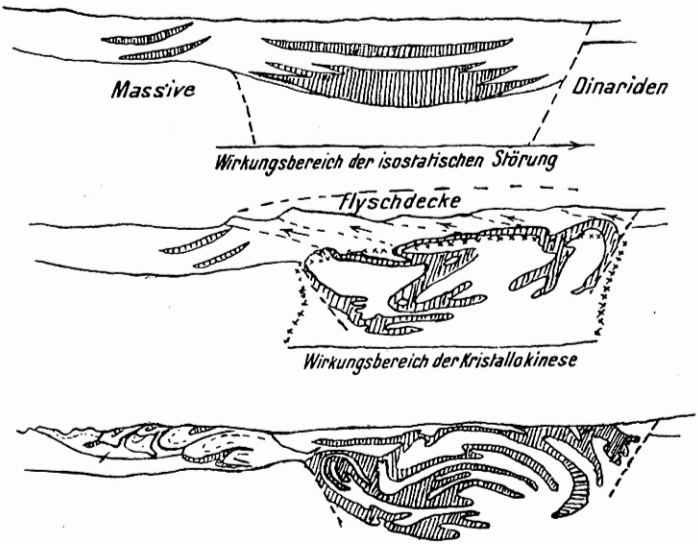


Fig. 43. Schema des kristallokinetischen Prozesses. Nach Lachmann. Einsinken der metamorphen Sedimente (gestrichelt) im Bereich der isostatischen Störung (Geosynklinale); Verfaltung mit der kristallinen Unterlage durch Diffusionsströme in halbplastischem Zustande. Zugleich Verzahnung mit der passiv und starr bleibenden Oberfläche, die in Decken nach Norden abgleitet. Das Motiv ist dem penninischen Profil entnommen.

solche interne Kristallisationsvorgänge in einem durch Temperaturzunahme und Lösungsumsatz (Gase) halbplastisch gewordenen Medium zurückführen will. Wie in einigen Salzstöcken und im Gletscher die innere Fältelung oft in keinerlei Verhältnis zu der tatsächlichen seitlichen Kompression steht und nur eine besondere Art der Raumausfüllung durch „kristallokinetisch" gewordene, d. h. in Relativbewegung unter Lösungsumsatz begriffene Massen darstellt, so könne das auch in den alpinen Zentralmassiven der Fall sein (Fig. 43). Indem sich die durchweichten kristallokinetischen Massen nach oben mit starren Komponenten verzahnen, können sie dieselben teils passiv in ihre Bewegung einschließen, teils infolge eigener Lagen-

veränderungen zu selbständigen Gleit- und Stauungsbewegungen veranlassen. Eine Kontinuität des Vorganges, wie sie Andrée fordert, ist nach Dacqué nicht erforderlich, soweit sie nicht schon dadurch verwirklicht ist, daß sich die gebirgsbildenden Bewegungen immerhin auf verschiedene Phasen verteilen. Aber die Geosynklinalgebiete sind ja nicht einheitlich; die thermischen Vorgänge können zeitlich und räumlich getrennt unter sehr verschiedenen Umständen einsetzen; man darf sie nicht allzu schematisch auffassen. Bedenkt man hierbei, daß, wie wir früher sahen, für die penninischen Decken eine Mächtigkeit von bis zu 30 Kilometer anzunehmen ist, so erscheint die Möglichkeit solcher halbmagmatischen Prozesse in dieser Tiefe immerhin wahrscheinlicher, wie die Annahme eines gerichteten Druckes in den halbflüssigen Gesteinslagen.

Vergleichen wir diese modifizierte thermische Theorie mit der Auffassung Ampferer's, so sehen wir, daß in beiden die gebirgsbildenden Prozesse letzten Endes auf Volumveränderungen durch molekulare Vorgänge bei der Kristallisation zurückgeführt werden. Darin liegt das Gemeinsame beider Auffassungen. Der Unterschied ist darin zu suchen, daß nach Andrée und Ampferer diese Vorgänge in die subkrustrale Zone verlegt werden und die Rinde ihnen nur passiv, durch Gleitung oder Stauung folgt, während die thermische Theorie in den unteren Teilen der Kruste selbst den Herd der motorischen Kräfte sucht, indem sie annimmt, daß ihr Spiel durch die vertikalen Bewegungen der Rindenschollen und die dadurch hervorgerufenen Temperaturunterschiede ausgelöst wird. Indem sie einen Zusammenhang zwischen den mehr vertikalen Bewegungen der Geosynklinale als Ganzes und den dadurch ausgelösten horizontalen Bewegungen des werdenden Gebirges statuiert, scheint sie zunächst eine präzisere Antwort auf die Frage nach den Ursachen der Gebirgsbildung zu geben, als die immerhin unbeweisbaren und ihrem Sinne nach wenig verständlichen Verschluckungen und Unterströmungen Ampferer's. Doch ist dem in der Tat so? Bildet nicht dieses ganze Theoriengebäude nur eine Verschiebung des letzten Problems? Es scheint zunächst doch nicht recht verständlich, warum diese „kristallokinetischen" Vorgänge nur in den Geosynklinalgebieten und nicht auch in den angrenzenden Streifen stattfinden sollen. Der Hinweis auf den besonderen, labilen Charakter der Geosynklinale ist doch nur eine Umschreibung, denn es ist durchaus nicht ersichtlich, worin diese

Besonderheit begründet ist. Und wenn man auf die stetige starke Senkung hinweist, die nur durch einzelne „Merantiklinalwellen“ unterbrochen wird, was zur thermischen Theorie an sich gut paßt, so bleibt es eben zunächst doch unklar, was diese Senkungen verursacht. Dacqué unterscheidet zwei Fälle, je nachdem, ob sich die Geosynklinale in dem Raum eines älteren Gebirges oder an einer früher nicht gefalteten Stelle entwickelt hat. Der erste Fall scheint ihm erklärlich, wenn man die vorhergehende Auffaltung als durch Metamorphosierungsdruck entstanden denkt: „dann muß nach Abkühlung und Erstarrung der Massen ein so großer Dichtedefekt unter dem Gebirge herrschen, daß das natürliche Schwergewicht wieder eine Senkung einleitet“. Ich halte diese Vorstellung, daß das Gebirge gleichsam in seinen eigenen Massendefekt einbricht, mit Schwinner für kaum haltbar. Der oft beobachtete Massendefekt unter den größeren Gebirgen wird gewöhnlich durch die größere Mächtigkeit spezifisch leichterer salischer Schollen an dieser Stelle erklärt. Diese kann auf zweierlei Weise zustande kommen. Entweder durch Expansion, also durch eine Volumvermehrung, die eine Dichteabnahme zur Folge hat oder durch eine Mächtigkeitszunahme der salischen (spez. leichten) Schollen infolge von Zusammenstauchung. Der erste Fall, welcher zur Expansionstheorie an sich gut paßt, ist aber eine Folge der reinen Expansion; er steht und fällt mit der Theorie in ihrer ersten Fassung von Reade, und alle Gründe, die gegen diese vorgebracht wurden, gelten auch hier. Da er außerdem nur eine Schwankung des Volumens, nicht eine Schwankung der Masse voraussetzt, so kann durch die nachfolgende Erkaltung und Erstarrung doch höchstens der vorher geschaffene Dichtedefekt rückgängig gemacht werden, d. h. das Volum auf sein ursprüngliches Maß herabsinken. Dadurch wird aber höchstens eine Erniedrigung des Gebirges meinetwegen bis zur Ebene, aber nicht eine Umdrehung des Reliefs erreicht werden können. Und der zweite Fall, eben der Fall der Kristallokinese, beruht eben auf einer Zusammendrängung einer Masse auf kleinerem Raum (Volumzunahme durch Massenzufuhr) und läßt schon deshalb keinen Platz für das Einsinken frei.

In isostatischen Prozessen, also eben in einer Belastung der Scholle durch Sedimentation die Lösung zu suchen ist darum unmöglich, weil diese ja einen präexistierenden Sammeltrog zur Erklärung der verstärkten Sedimentation annehmen muß, und daher wohl das Weitergehen, aber nicht das Einsetzen des Senkungsprozesses erklären kann.

Die Senkung muß also ein von der sinkenden Scholle unabhängiger Vorgang sein, wie das Dacqué auch für die Bildung einer Geosynklinale auf früher nicht gefaltetem Raume annimmt und muß auf Umsetzungen in der subkrustralen Zone beruhen. Damit kommen wir aber auch hier dazu, die letzten Ursachen in unbekannte Tiefen zu verlegen.

Die Expansionstheorie stößt übrigens noch auf einen wichtigen Einwand, der auf genaue Einzelbeobachtungen zurückgeht und von Alb. Heim besonders betont worden ist. Alle uns bekannten Erscheinungen der Quellfaltung (z. B. bei der Umwandlung von Anhydrit in Gips) zeigen eine Verdickung der Schenkel und eine Verdünnung der Umbiegungen, während bei tektonischen Faltungserscheinungen bekanntlich gerade das Umgekehrte der Fall ist. Diese letzte Erscheinung ist aber bei alpinen Falten von den kleinsten nur mit dem Mikroskop sichtbaren, bis zu den größten gebirgsbildenden Elementen eine so durchgreifende Tatsache, daß jede Theorie, welche eine Quellung der Schichten annimmt, dadurch auf das Bestimmteste abgewiesen wird (I 6, Bd. II, S. 78—79).

Sofern es sich um eine Quellfaltung handelt, ist dieser Einwand allerdings sehr schwerwiegend; ob er aber für die kristallokinetischen Prozesse im Sinne Lachmann's unbedingt stichhaltig ist, bedarf wohl noch der näheren Untersuchung. Diese Prozesse müssen ja unter einem ungeheuren Druck stattgefunden haben, unter Bedingungen, die wir experimentell nicht nachmachen können und von denen wir daher nicht mit Sicherheit aussagen können, daß sie den gewöhnlichen Erscheinungen der Quellfaltung voll und ganz entsprechen. Aber es ist nicht zu leugnen, daß die thermische Theorie sich mit diesem Einwand wird eingehend auseinandersetzen müssen, um ihrem Gedankengang Geltung zu verschaffen.

Soweit die Theorien, welche die Ursachen der Gebirgsbildung in magmatischen Vorgängen suchen und die Gebirge als Streifen eigener Kraft betrachten. Wenn man die Kontraktions- und Seitendrucktheorie ablehnt, bilden sie als Ganzes wohl den einzig gangbaren Weg zur Erklärung. Aber weiter wie zu der Wahrscheinlichkeit, daß die Ursachen der Gebirgsbildung in den Volumveränderungen und Kristallisationsvorgängen der magmatischen Zone und der tieferen Rindenteile liegen, können wir zur Zeit nicht vordringen. Alle weiteren Theorien, darüber muß man sich klar sein, sind zur Zeit lediglich Spekulationen und dienen nur dazu, dem forschenden Geist eine mehr oder weniger einleuchtende Erklärung zu liefern, um unbekannte Vorgänge in ein Schema einzuordnen. Versucht

man diese Theorien auf die einzelnen Faltungsbilder der Alpen anzuwenden, so wird man finden, daß für verschiedene Gegenden einige Theorien besser passen als andere. So ist die Struktur der nördlichen Kalkzone in den Ostalpen am besten an Hand der Ampferer'schen Verschluckungstheorie zu deuten, die helvetischen Decken und die Freiburger Alpen lassen wohl die Möglichkeit von Gleit- und Unterströmungsvorgängen zu, und auf die Ähnlichkeit der Simplonprofile mit den Bildern der Salzhorste hat schon Lachmann hingewiesen; wir haben ja früher angedeutet, wie hierin eine Versöhnung der Auffassungen von Rothpletz und von der Deckentheorie möglich erscheint.

Diese verschiedene Anwendbarkeit ist kein Zeugnis gegen die Theorien; denn die verschiedenen Möglichkeiten der Volumschwankungen können sehr wohl alle in der Natur vertreten sein.

Jedenfalls können alle diese Theorien weit eher mit der Deckentheorie in Verbindung gebracht werden, als die Kontraktionslehre und die Theorie der passiven Verfrachtung durch Seitenschub.

VI. Synthetische Betrachtungen.

Die Synthese der Alpen, welche die Deckentheorie gibt, haben wir im ersten Teil dieser Untersuchung kennen gelernt und haben dann die Schwierigkeiten lokaler und allgemeiner Art betrachtet, welche sich dieser Zusammenfassung entgegenstellen. Um das zu verdeutlichen, will ich noch an einigen Beispielen zeigen, welche allgemeinen Zusammenfassungen über den Mechanismus der alpinen Gebirgsbildung in neuester Zeit gegeben worden sind und zu welchem Gesamtbilde man durch sie kommt. Ich greife dabei Auffassungen heraus, die sich zum Problem der Deckentheorie verschieden stellen: Neben dem extremen Flügel der Deckentheorie (Argand) sollen sowohl die gänzlich ablehnende Stellung Rollier's, als die mehr vermittelnde Zusammenfassung Heritsch's zur Sprache gelangen. Eine Diskussion dieser Auffassungen nach den entwickelten Gesichtspunkten wird am besten den gegenwärtigen Stand der Frage klarlegen.

1. Argand's Synthese des westalpinen Bogens (X 5).

Als Grundlage der Argand'schen Auffassung dient die Hypothese, daß die Auffaltung der Alpen einer Annäherung der alten Massen Eurasiens und Indo-Afrikas ihre Entstehung verdankt.

In dem dazwischen liegenden Raume der alpinen Geosynklinale entstand unter diesem Druck ein fast plastisches Medium, welches sich schließlich über das Vorland in Gestalt einer Deckenserie ergoß. Die autochthonen Massive (Mercantour, Pelvoux, Montblanc, Aarmassiv) wirkten stauend und hemmend auf diese Bewegung ein und zeichneten ihr durch ihre bogenförmige Anordnung die Bahnen vor. Dabei nahm die Bewegung verschiedene Formen an, je nachdem der ursprünglich etwa nach dem Meridian gerichtete Druck senkrecht oder schief auf die stauenden Massive traf. Im ersten Fall, wie er etwa südlich vom Aarmassiv vorliegt, hat man normale Überfaltungen, die mit der größtmöglichen Intensität auftreten. Im zweiten Fall, bei schiefem oder parallelem Auftreffen auf das autochthone Hindernis (nordsüd-streichende französisch-italienische Alpen), wird die Intensität der Überfaltung vermindert, der Reibungswiderstand des autochthonen Ufers verursacht aber gewisse Komplikationen, die in einem Zurückbleiben der Falten längs dem „Ufer", in einer longitudinalen Ausquetschung derselben, in einem Umlenken der Falten, die am autochthonen Ufer diesem parallel stehen, zu der normalen Ost-West-Richtung, sobald sie sich von den Massiven entfernen, und in einer damit in Zusammenhang stehenden fiederförmigen inneren Virgation bestehen. Die Erscheinung ist einem Uferstrom vergleichbar, in dem die Wellen infolge der Reibung am Ufersaum sich diesem parallel zu stellen suchen, nach der Mitte aber den Anschluß an die senkrecht zum Ufer stehenden normalen Falten finden. Diese theoretische Überlegung sieht Argand an zahlreichen Erscheinungen der inneralpinen Zonen bestätigt und schließt daraus auf einen sehr plastischen Zustand dieser Zonen zur Zeit der Deckenbildung. Andererseits fordert allerdings die Möglichkeit der Druckübertragung einen Rest von Starrheit, was Argand nicht als einen Widerspruch ansieht.

In dem Vorgang der Deckenbildung erblickt nun Argand einen bis zu einem gewissen Grade kontinuierlichen Prozeß, welcher an die karbonische Faltung anknüpft, ein embryonales, wenig bewegtes Stadium im Mesozoikum durchmacht und sich im Tertiär zu einem Paroxysmus steigert. Die Rudimente der karbonischen Faltung bilden dabei gleichsam die Embryonen der tertiären Decken. Wir haben schon in einem früheren Kapitel gesehen, daß nach ihm der Boden der großen alpinen Geosynklinale in eine Reihe longitudinaler Wellenberge und — -täler zerfiel, deren erste als immer wieder auftauchende Inselkränze und Untiefen eine besondere Sedimentationsform aufwiesen (Merantiklinalen). Die Gliederung der

mesozoischen Geosynklinale von Norden nach Süden war wie folgt (Fig. 44a): 1. Das variskische Vorland; 2. die vindelizische Synklinale und 1. die helvetische Antiklinale, diese beiden weniger scharf ausgeprägt und nach Arbenz wohl noch als Epikontinentalmeer von epirogener Sedimentation zu deuten; 3. die Synklinale des Wallis (Vortiefe); 4. die Antiklinale des Briançonnais; 5. die

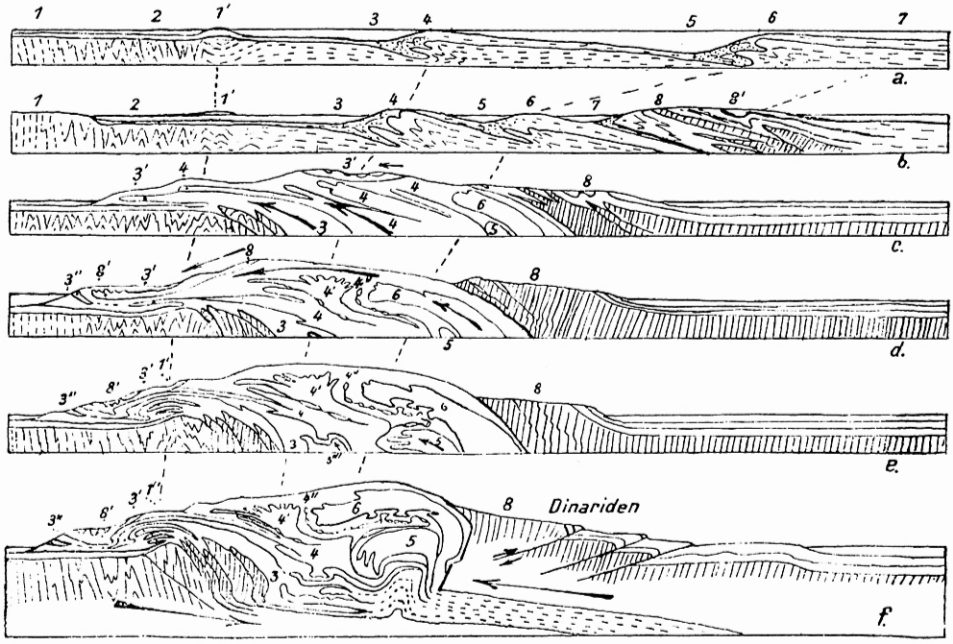


Fig. 44. Schema der Alpenentstehung. Nach Argand. a) Oberer Jura (Embryonalstadium); b) Unteroligocän; c) St. Bernhardphase; d) Dent Blanche-Phase; e) Monte Rosa-Phase; f) insubrische Phase. Die Zahlenbezeichnungen von a) und die Erläuterung siehe im Text. Für b—f: 1′ helvetische Decken; 3′ innere Voralpen; 3″ äußere Voralpen; 3‴ Simplondecken; 4 St. Bernharddecke; 4′ Fächer von Bagnes in dieser Decke; 4″ ausgewalzte südliche Zweigdecke desselben Komplexes; 5 Monte Rosa-Decke; 6 Dent Blanche-Decke; 7 Zone von Canavese; 8 Kerne der unterostalpinen Decken; 8′ mesozoische Hüllen derselben, oder Decken der mittleren Voralpen. Die Pfeile geben die Bewegungsrichtung an.

Synklinale des Piemont; 6. die Antiklinale von Dolin; 7. die Synklinale von Canavese; 8. die lombardische Antiklinale (letztere auf Profil a nicht mehr verzeichnet). Diese Einteilung bleibt während des ganzen Mesozoikums bestehen, wobei die Merantiklinalen eine Art primitiver Falten (Cordilleren) darstellen, die immer wieder von neuem aus dem Meere auftauchen. Das ist das embryonale Stadium der Alpenfaltung.

Im Tertiär, vielleicht schon in der Oberkreide, beginnt die stärkere Bewegung mit einer Aufschiebung der südlichen Zonen

(8, 8′) auf die Antiklinale von Dolin (Fig. 44b). Das sind die Schichtpakete, welche später, passiv nach Norden verfrachtet, die höheren voralpinen Decken der Freiburger Alpen geliefert haben. Zum Paroxysmus steigert sich aber die Bewegung erst im Oligocän.

Die beiden Antiklinalen von Briançonnais und Dolin werden zu den Stirnen der beiden penninischen Hauptdecken, welche sich, durch den Seitendruck der afrikanischen Masse geschoben, nacheinander gegen das Vorland in Bewegung setzen und allmählich zu einem Knäuel verschwimmen. Hier kann man drei Phasen unterscheiden (Fig. 44c—e):

1. Die Bildung der St. Bernhard-Decke (4), welche der embryonalen Decke des Briançonnais entstammt; sie schiebt sich über die Vortiefe der Valais-Synklinale, deren Inhalt sie hinaus- und nach vorne drückt; dieser ergibt die unteren Voralpen der Freiburger Gegend (3′). Die Flyschhülle der St. Bernhard-Decke verbreitet sich als weiter Teppich gegen vorne (Niesenflysch, Aiguilles d'Arve, Decke des Embrunais) (Fig. 44c).

2. Die Bildung der Dent Blanche-Decke aus der embryonalen Decke von Dolin (6). Sie erdrückt die piemontesische Synklinale (5); ihre tieferen Teile schieben sich in die St. Bernhard-Decke hinein, einen Fächer erzeugend; auf ihrem Rücken transportiert sie einzelne Reste kleiner höherer Decken und entladet diese nach vorne (mittlere Voralpen), unter Zerdrückung der unteren Voralpen zu den zwei Fetzen der inneren (3′) und äußeren (3″) Zone (Fig. 44d).

3. Die Monte Rosa-Decke (5) entwickelt sich in dem Raume zwischen den beiden anderen und wickelt sich in dieselben ein; in ähnlicher Weise entstehen unter der St. Bernhard-Decke die liegenden Falten des Simplon (3‴). Gegen vorne entstehen unter den Voralpen bei teilweiser Einwickelung in dieselben die helvetischen Decken (1″) von Diablerets und Wildhorn (Fig. 44e).

Als letzte Bewegungen folgen die adriatische Absenkung und die insubrische Phase, in der der fortgesetzte tangentiale Druck von Süden eine Art Unterschiebung gezeitigt haben soll; der Südflügel des Deckenpaketes kippte zu einer Art Faltenfächer um (Faltungsrichtung der Dinariden) und die Wurzeln wurden teilweise ausgewalzt (Fig. 44f).

Die Ostalpen haben diesen Teil der Alpen als „Überschiebungsschlitten“ nicht überschritten; ihr Hauptverbreitungsgebiet liegt östlich von einer Linie, die etwa vom Monte Rosa und Simplon gegen das Ostende des Aarmassivs verläuft.

Wenn wir an der Hand der von Ampferer entwickelten

Kriterien an diese Vorstellung herangehen, die den Alpenbau aus einem Seitenschub der indoafrikanischen Masse deduziert, so können wir mit der Kritik sowohl bei den Einzelheiten als bei der Gesamtauffassung einsetzen. Zu den Einzelheiten wäre folgendes zu bemerken:

1. Der Paroxysmus beginnt a) mit einer Überschiebung des Hinterlandes der Dolinantiklinale durch ein Schichtpaket, welches später als préalpes externes passiv nach vorne verfrachtet wird; b) mit der Ausbildung der St. Bernhard-Decke, die ziemlich in der Mitte der gesamten alpinen Geosynklinale liegt. a) Ist ganz in der Ordnung; es ist die für den vorliegenden Fall auch von Ampferer geforderte Überschiebung am Rande zweier verschieden fester Medien; aber wenn sich hier schon zu Anfang eine große söhlige Überschiebung ausbildet, so löst sich doch in ihr schon der Druck der indoafrikanischen Masse gegen vorne aus; eine weitere Verstärkung desselben kann doch höchstens zu einer weiteren Verfrachtung der geförderten Randscholle führen und nicht zu einer Aufstauung der vorderen Teile der Geosynklinale, die eben durch die Ausbildung der genannten Überschiebung vor weiterem Seitendruck gleichsam geschützt waren. Im Zusammenhang damit ist b), d. h. die Bildung der St. Bernhard-Decke ziemlich in der Mitte des Faltungsraumes mechanisch kaum verständlich, da der Übertragung des Druckes in dem im hohen Grade plastischen Material der Geosynklinale unübersteigliche Hindernisse im Wege stehen.

2. Die Ausquetschung der Synklinale von Wallis und die Entleerung ihres Inhaltes nach Norden (untere Voralpen) allein durch den Druck der (plastischen!) St. Bernhard-Decke, also durch indirekte Übertragung des Seitendruckes durch ein plastisches Medium und durch Zonen verschiedener Tiefe ist ein kaum begreiflicher Vorgang.

3. Die Entstehung der oberen Voralpen ist nur insoweit verständlich, als sie passiv auf dem Rücken anderer Decken nach Norden „geritten“ sind; wie sie dann später allein, also gleichsam wieder aktiv, über Penninisch und Helvetisch nach vorne rutschten, obwohl sie doch losgetrennte Schubfetzen darstellten, vermag man kaum einzusehen. Es wäre da höchstens an Gleitvorgänge im Sinne Reyer's und Schardt's zu denken, wozu hier aber doch eigentlich das nötige topographische Gefälle fehlt.

4. Die insubrische Phase, der Rückstau des Innenrandes oder die Überschiebung der Dinariden nach Süden ist in diesem Zusammenhang nur verständlich, wenn das tatsächlich die jüngste Phase

der Faltung war. Nun hat aber Rassmuss (VIII 12, 13) an den oberitalienischen Seen eigentlich unwiderleglich nachgewiesen, daß die Überschiebung nach Süden schon in der Kreide begann, also zum mindesten ebenso alt ist, wie der Beginn der Alpenfaltung. Es liegt darin ein wichtiger Einwand gegen die Deckentheorie, wie sie heute verstanden wird. Denn wenn die Überschiebungen nach Süden ebenso alt sind, wie die nach Norden, so ist mit dem Bilde des Schraubstockes und der nach Norden schiebenden indoafrikanischen Masse nicht viel anzustellen.

5. Noch ein weiteres Bedenken kann hier nicht verschwiegen werden: Bilden wirklich die penninischen Decken ein Paket von 30 Kilometer Mächtigkeit und hängen sie direkt mit den ebenfalls sehr mächtigen Decken Graubündens zusammen, so muß doch über der Kulmination der Tessiner Gneiße, von der heute diese Decken durch Erosion entfernt sein sollen, früher ein ganz gewaltiger Komplex von Gesteinen gelegen haben. Damit kommen wir aber zu ganz ungeheuren Erosionsbeträgen für das Tessiner Gebiet, denen ein gewisser Grad innerer Unwahrscheinlichkeit anhaftet. Ein Ausweg läge nur darin, daß man annimmt, der penninische Komplex keile überhaupt nach Osten aus und nur die eine oberste penninische Decke (Dent Blanche-, rhätische Decke) hätte das ganze Tessiner Massiv überdeckt, was aber den neueren Parallelisierungen Staub's (Monte Rosa = Tambo-Suretta, St. Bernhard-Adula, VI 24) widerspricht.

Wenn wir jetzt zu den allgemeinen Gründen gegen diese Auffassung übergehen, so stehen wir sofort vor dem Hauptargument Ampferer's, vor der Unmöglichkeit des einheitlichen Schubes dieser gewaltigen, mehrere 1000 Kilometer langen Masse (Indoafrika), ferner vor der Unmöglichkeit, die engen Faltenschlingen des ostalpin-karpatischen Bogens durch diesen Vorschub zu erklären.

Schließlich ist noch der Unterschied der Plastizität in der Geosynklinale und in der afrikanischen Masse nicht recht verständlich. Bestand dieser Unterschied nur in den oberflächlichen Teilen, so sind dadurch die penninischen Tiefendecken kaum hinreichend erklärt, reicht die afrikanische Masse aber in größere Tiefen hinunter, so ist sie doch dort den gleichen Druckverhältnissen ausgesetzt und ihr starrer Gegensatz zu der Geosynklinalregion ist erst recht unverständlich. Wir haben schon in dem Kapitel über den Simplon darauf hingewiesen, daß die unteren penninischen Decken mit der für sie anzunehmenden Belastung von 30 Kilometer Gestein beinahe in die magmatische Zone hineinreichen müssen. Daß man

aber in dieser Tiefe nicht mehr von einem gerichteten, sondern höchstens von einem hydrostatischen Druck sprechen kann, ist eigentlich von vorneherein klar; ebenso, daß hier ein Gegensatz einer starren afrikanischen und einer plastischen geosynklinalen Scholle kaum mehr vorliegen kann. Neuerdings hat auch Alb. Heim diese Schwierigkeiten in der Geologie der Schweiz ausdrücklich anerkannt. Es scheint mir, daß hier die Vorstellungen Ampferer's und Lachmann's den Tatsachen viel besser gerecht werden.

Damit kommen wir also wieder zu der Vorstellung des Alpenbogens als eines Streifens eigener Kraft, die durch Bewegungen des Untergrundes, und nicht durch solche der Rahmenschollen erklärt werden muß. Ja, es scheint mir, daß sogar das Argand'sche Deckenschema im Lichte dieser Auffassung verständlicher wird. Bezeichnenderweise befinden sich auf seinen Profilen Pfeile, welche die Druckrichtung anzeigen und schräg nach vorne verlaufen. Das ist aber eine Druckrichtung, welche wohl im Sinne einer Verschluckung oder Kristallokinese, nicht aber im Sinne der Seitendrucktheorie verständlich ist. Den gleich alten Bewegungen nach Süden innerhalb der Dinariden wird diese Vorstellung auch besser gerecht.

So bestechend die Argand'sche Synthese auch erscheint, dürfen wir also doch nicht verkennen, daß sie mit großen mechanischen Schwierigkeiten zu kämpfen hat. Freilich, wie mir scheint, nicht sowohl in bezug auf die tatsächliche Aufeinanderfolge der Ereignisse, als in bezug auf deren allgemeine mechanische Deutung. Während die Seitendrucktheorie von oberflächlichen Überschiebungen ausgeht und eine spätere Verschiebung der Druckregion in größere Tiefen annimmt, wäre der Prozeß der vertikalen Verlegung der Druckebene bei den magmatischen Theorien eher umgekehrt. Das Argand'sche Schema erscheint mir mit diesen Theorien durchaus nicht unvereinbar zu sein und große Überfaltungsdecken in einer tiefen und daher plastischen Zone erscheinen mir durchaus möglich; nur darf man sie nicht aus einem horizontalen Wechsel von starr und plastisch, aus Begriffen der Schollen- und Lokaltektonik ableiten wollen.

Ganz zu denselben Ergebnissen, wie Argand, ist in Graubünden auch Staub gelangt. Das Bild der Embryonaltektonik ist dort genau das gleiche, nur die Bewegungsfolge noch etwas komplizierter. Im Prinzip wird aber auch hier alles aus dem Schub der indoafrikanischen Scholle abgeleitet. Wie aber diese Scholle nebeneinander die Ost-West-Bewegungen der ostalpinen Grenze, die (senonen!) Süd-Bewegungen der Dinariden und die West-Ost-

Überfaltung des Appenin erklären soll, erscheint mir ganz unbegreiflich.

Was das Problem der Embryonaltektonik angeht, so sind die tieferen Ursachen dieser an sich recht einleuchtenden Vorstellung noch kaum klar anzugeben. Wichtig ist besonders die dadurch erreichte Kontinuität der Faltungsvorgänge und es drängt sich die Frage auf, ob nicht auch die süddeutschen Gebirgskerne, mit ihrer schon zweifellos im Mesozoikum vorhandenen Beeinflussung der Sedimentationsart, ähnliche Embryonen darstellen, deren Bewegung aber nicht bis zu einem Paroxysmus gesteigert worden ist. Die tieferen Ursachen dieser Embryonaltektonik erscheinen noch verschlossen. An sich bilden sie weder einen Beweis für den Tangentialdruck, noch eine Stütze der magmatischen Theorie.

2. Rollier's Synthese der Westalpen (X 16).

Als Beispiel eines entgegengesetzen Standpunktes, zu dem man bei vollkommener Ablehnung der Deckentheorie kommen muß, sei hier die Auffassung Rollier's angeführt, der wohl als Einziger in der letzten Zeit eine solche allgemeine Synthese versucht hat. Im einzelnen wiederholen sich hier manche Gedankengänge von Deecke, Rothpletz und von anderen Gegnern der Deckentheorie in ihrer heutigen Fassung, nur erscheinen sie zu einem Gesamtbild geordnet.

Rollier verzichtet auf die Einheitlichkeit der Bewegung von Süden, ja er bekämpft sie ausdrücklich; auch die Regelmäßigkeit der Faziesverteilung muß er natürlich leugnen; es ist ja mehrfach hervorgehoben worden, daß diese Alternative notwendig mit einer Annahme oder Ablehnung der Deckentheorie verbunden ist.

Um nun die eigentümlichen Lagerungsverhältnisse des helvetischen Gebietes erklären zu können, muß Rollier zuerst die Existenz einer später zerstörten „vindelizischen" Kette am Nordrand der Alpen unter der heutigen Molasse annehmen. Diese in der Kreide aufgefaltete Kette soll dann durch Erosion stark zerstört worden sein und der Flysch trangredierte über ihre Reste, also über einen sehr verschieden zusammengesetzten Untergrund. In das Flyschmeer wurden die Erosionsrückstände dieser Kette abgeladen (exotische Blöcke) und große Schichtpakete rutschten in dasselbe hinein (Klippen). Dann begann am Ende des Eozäns die neue Faltung und zwar durch einen Schub von Norden. Die Deckenbildung kann übrigens auch Rollier nicht ganz leugnen. Nur kommt

er auf diese Weise um die ganz großen Fernschübe herum. Die ganzen helvetischen Kalkalpen, die nördlich von der Glarner Flyschzone liegen, hätten diesen Südschub mitgemacht; dieser wirkte also von dem nördlichen Teil der für Rollier wieder auferstandenen Glarner Doppelfalte bis zum Kiental im Westen; die mächtigsten helvetischen Decken gehören in seinen Bereich. Das ist die sogenannte deutsch-schweizerische, von Norden nach Süden übergelegte Decke. Weiter im Westen wird sie ersetzt durch die romanische Decke der Freiburger Alpen und des Chablais, welche ebenfalls von Norden bewegt sein soll. Es folgt nach Rollier eine Zeit der Abtragung im Oligozän und Miozän und schließlich die zweite Phase der Faltung, die von Süden nach Norden gerichtet war (Südflügel der Glarner Falte, parautochthone und autochthone Decken des Aarmassivs). Hierzu rechnet Rollier auch die liegenden Falten des Tessin und Wallis, ohne freilich in ihnen mächtige Decken anerkennen zu wollen.

Rollier's Synthese hat wohl wenig Anklang gefunden; wenn ich sie hier kurz anführe, so geschieht das nur, um zu zeigen, welchen Weg eine Antideckentheorie einschlagen muß; denn es ist immerhin interessant, daß sich diese Auffassung ziemlich genau mit dem Bewegungsbild deckt, welches Rothpletz für die Freiburger Alpen entwickelt hat. Daraus kann man wohl in der Tat schließen, daß dieser Weg logisch der einzig mögliche ist, wenn man die großen Fernschübe von Süden vermeiden will. Steht aber eine solche Alternative fest, so verlohnt es sich doch, diese Auffassung näher zu betrachten, da mit ihr die Antideckentheorie steht und fällt.

Über die geophysikalischen Grundlagen dieses Bildes ist im Gegensatz zur Deckentheorie wenig zu sagen. Sie können ebensogut aus der magmatischen als aus der Kontraktionstheorie abgeleitet werden und bieten infolge des geringen Ausmaßes der horizontalen Bewegungen weniger Schwierigkeiten für das Verständnis. Man kann aber andererseits nicht behaupten, daß die Annahme von nacheinander und gegeneinander gerichteten Schüben sehr einleuchtend wirkt.

Ebensowenig verlohnt es sich, über das Postulat des immer wieder in schwierigen Fällen aus der geologischen Rumpelkammer auftauchenden vindelizischen Gebirges zu streiten. Was unter der Molasse und den helvetischen Decken verborgen liegt, können letzten Endes nur Bohrungen erweisen. Aus den Fazieszusammenhängen ergibt sich das vindelizische Gebirge nicht. Denn wenn die deutsch-schweizerische Decke Rollier's von Norden kommt

und die Klippen ebenfalls vom vindelizischen Gebirge herstammen, so müßte doch zwischen ihnen mehr Übereinstimmung herrschen, wie zwischen der deusch-schweizer Decke und den von Süden kommenden autochthonen Decken des Aarmassivs. Das Gegenteil ist aber bekanntlich der Fall.

Ausschlaggebend für die Ablehnung dieser Theorie erscheint mir aber die Lokaltektonik der helvetischen Decken, bei denen wir doch nicht mehr von Phantasiegebilden sprechen können, sofern ihre Annahme auf sorgfältigen Aufnahmen im Maßstab 1:25000 beruht. Und aus ihnen ergibt sich nirgends die Nord-Süd-Bewegung Rollier's. Ihre früher erläuterten Beziehungen zu den Faziesverstellungen lassen keinen Zweifel mehr zu, daß diese Decken von Süden kommen. Ist das aber der Fall, so ist für die Nord-Süd-Bewegungen und für die ganze Auffassung Rollier's kein rechter Platz mehr vorhanden. Die schroffe Antideckentheorie dürfte ebenso abzulehnen sein, wie die Auswüchse „nappistischer" Phantasie in den Ostalpen.

3. Heritsch's Bauformel der Ostalpen (X 8).

Die Synthese der Deckentheorie in den Ostalpen, welche in Kober's (VII 1) Darstellung eine besonders scharfe Ausprägung erhalten hat, haben wir mehrfach erwähnt und vom lokaltektonischen Standpunkt kritisch behandelt. Es braucht daher auf diese Sache kaum näher eingegangen zu werden. Nur wegen ihrem geophysikalischen Gehalt, der in den Schlußworten Kober's: „Die erzeugenden Schollen sind die afrikanische Tafel und das kompliziert gebaute Vorland im Norden", gipfelt, muß auf den allgemeinen Einwand Ampferer's hingewiesen werden, welcher ja schon im Vorhergehenden mit aller Schärfe hervorgehoben worden ist. Das dürfte genügen, denn vom geophysikalischen Standpunkt ist Kober's Synthese überhaupt weit weniger durchgearbeitet, als die Argand's.

Ist aber die Synthese Termier's, Kober's und anderer aus regionalen, tektonischen und allgemeinen Gründen nicht aufrechtzuerhalten, und sie steht und fällt mit dem früher behandelten Tauernproblem, so muß nach einer anderen Verknüpfung gesucht werden, welche ohne in die Übertreibungen des Fernschubes zu verfallen, doch den immerhin recht bedeutenden Überschiebungen der Ostalpen gerecht wird. Einen solchen Versuch hat neuerdings Heritsch unternommen, indem er sich an Ampferer's Verschluckungstheorie anschließt. Sein Gedanke kann so zusammengefaßt werden (Fig. 45):

1. Glätten wir die Schubeinheiten der nördlichen Kalkalpen aus, so erhalten wir, selbst unter Berücksichtigung des teilweise nach Süden gekehrten Schuppenbaues der südlich anschließenden Grauwackenzone einen Überschuß der Oberfläche gegen den Untergrund. Lehnt man die Ableitung der gesamten Kalkalpen vom Süden der Tauernmasse ab, so ist das nur so zu deuten, daß der kristalline Untergrund verkürzt, „verschluckt“ worden ist. Berücksichtigt man dann das „Schwimmen“ und die starke Zusammen-

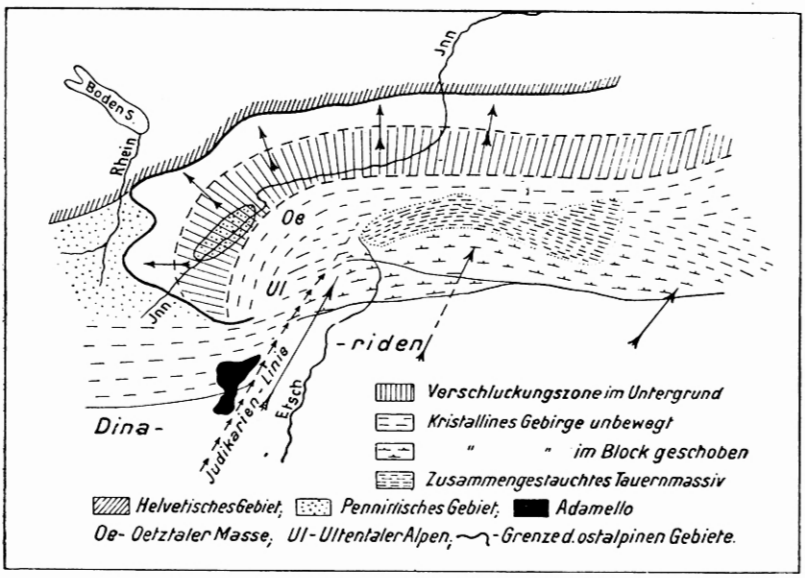


Fig. 45. Heritsch's Vorstellung vom Bau der Ostalpen an Hand einer Übersichtsskizze erläutert. Die Pfeile geben die Bewegungsrichtung an. Erläuterung im Text.

stauchung des Rhätikon, der Silvretta, der Unterengadiner Dolomiten, die Bildung der kristallinen Decke über diesen (Chazfora, Schlinigmasse u. a.), so kommt man auch hier zu der Annahme einer Verschluckungszone im Untergrund, die aber hier, im Sinne der Ost-West bewegten rhätischen Bögen, gegen Südwesten, Süden und Südosten abschwenkt. Mithin hat die Verschluckungszone einen bogenförmigen Verlauf und als fester Angelpunkt erscheint die relativ autochthone Ötztaler Masse. Bezeichnenderweise läuft dieser Bogen der sigmoiden Verbiegung der helvetischen Ketten am Rhein und der Judikarienlinie parallel.

2. In der Zentralzone der Ostalpen ist die tertiäre Faltungsintensität verschieden. Am stärksten ist der Zusammenschub im

Tauerngebiet. Die südlich davon liegende kristalline Zone zeigt eine schwächere Faltung und trägt den Charakter einer alten starren Scholle; weiter im Westen erscheint sie im Verhältnis zu ihrer Fortsetzung in den Ultentaler Alpen jenseits der Judikarienlinie gegen Süden verbreitert. Ihre östlichen Teile (also das Gebiet südlich der Tauern) scheinen also gegen Norden verschoben zu sein. Die Streichrichtungen in den Ultentaler Alpen drehen im Sinne der Judikarienlinie und der ostalpinen Grenze gegen Nordosten ab. Im Meridian der Tauern erscheint also die kristalline Zone stark verschmälert gegenüber ihrer Fortsetzung im Westen (Meridian der Ötztaler Masse). Diese Verschmälerung wird kompensiert durch die intensive Faltung der Tauernmasse. Das südliche kristalline Stück blieb starr. Die Judikarienlinie erscheint dann als eine Art riesiger Blattverschiebung, längs der der östliche Teil gegenüber dem westlichen nach Norden vorgeschoben wurde. Seine starre südliche Hälfte blieb dabei ungefaltet, die weichere nördliche ergab die Tauerndecken. Die Südalpen sind dabei natürlich auch längs der Judikarienlinie nach Norden vorgefahren. Ihre gelegentliche Neigung unter das Kristalline an der dinarischen Grenze könnte als Stauwirkung gedeutet werden.

3. Im Osten der Tauern bildet die neuerliche Verbreiterung der kristallinen Zone mit ihrer alten Tektonik (geringe Faltung im Karbon der Stangalpe und in der Trias des Lavanttales) wieder ein relativ starres Gebiet. Hier müßte also auch eine trennende Linie angenommen werden, analog der Judikarienlinie. Daß diese noch nicht aufgezeigt werden konnte, erscheint als ein Mangel der Theorie. Es wäre aber vielleicht denkbar, daß es am östlichen Tauernrande überhaupt nicht zu einer Ruptur mit Blattverschiebung kam, sondern daß die Bewegung gegen Osten mehr allmählich ausklang durch eine bogenförmige Erweiterung der kristallinen Zone, entsprechend dem gegen Südosten abdrehenden Streichen zwischen der Schladminger Masse und dem Bachergebirge.

Die Virgation dieses südlichen steirisch-kärntner Bogens mit dem nach Nordosten abdrehenden nordsteirischen Bogen (Fortsetzung der Verschluckungszone am Semmering?) wäre in dieser Deutung verständlich, ferner auch das südöstliche Abschwenken der Dinariden.

Es besteht eine gewisse Ähnlichkeit zwischen dieser Auffassung und der Rothpletz'schen Theorie der einheitlichen Schubmasse. Der Judikarienlinie kommt ja hier auch gleichsam die Bedeutung einer Randspalte zu. Natürlich ist erstens die Bewegungs-

richtung eine andere, und zweitens sind die Einzelheiten anders zu bewerten.

Auch diese Auffassung bildet natürlich noch keine restlose Lösung des Problems. Manches ist auch hier noch unklar. So vor allem der Zeitpunkt der Bildung der Verschluckungszone: Die Schübe in den Kalkalpen sind ja vorgosauisch, die „rhätischen Bögen“ wohl tertiär. Ist nun die Verschluckung ein allmählich gegen Westen fortschreitender Prozeß gewesen, oder ist die vorgosauische Faltung ein Vorgang für sich? Auch ist die ausgesprochene Süd-Bewegung in den Dinariden im Zusammenhang mit ihrer Verfrachtung nach Norden nicht recht verständlich; der Hinweis auf einen Rückstau bleibt bis zu einem gewissen Grade immer ein Verlegenheitsausdruck. Endlich ist der Zusammenhang der Tauernfaltung und des Vorrückens der Dinariden einerseits und der Verschluckungszone andererseits nicht ganz klar. Sollen das unabhängige Vorgänge sein oder stehen sie in einer inneren Beziehung zueinander? Der Untergrundsdefizit in der Verschluckungszone ist doch eigentlich schon durch die Kalkalpendecken kompensiert; was von Süden vorrückt, hat doch keinen Oberflächenüberschuß mehr. Oder sollte sich die Verschluckungszone bis unter die Tauern fortsetzen? Dagegen sprechen wieder die nach Süden gerichteten Schuppen des Grauwackenzuges. Anderenfalls müßte aber die Tauernzone ein zweites Defizit des Untergrundes, eine zweite Verschluckungszone aufweisen; damit kommen wir aber schon in einen ganz hypothetischen Bereich.

Ich mußte auf diese Schwierigkeiten hinweisen, um zu zeigen, daß auch hier die Rechnung nicht restlos aufgeht. An sich scheint mir der Heritsch-Ampferer'sche Gedanke recht fruchtbar zu sein; insbesondere haben die Annahmen der Verschluckungszone und der Blattverwerfung an den Judikarien manches für sich.

VII. Zusammenfassung.

Ich möchte mich nicht weiter in den Bereich reiner Hypothesen verlieren. Das Gesagte mag genügen, um sich ein Urteil darüber zu bilden, wie weit die Deckentheorie Geltung besitzt und welche geophysikalischen Prozesse ihr allenfalls zugeordnet werden können.

Damit sind wir vorläufig am Ende angelangt....

Wir haben in kurzem Überblick den Aufbau der Alpen kennen gelernt und gesehen, wie sich dieser Aufbau im Lichte der Decken-

theorie gestaltet. An einigen Beispielen haben wir erkannt, welche Probleme der Deckentheorie gegenüberstehen und welche Einwände man in lokaltektonischer Hinsicht gegen sie erheben kann. Wir kamen zum Schluß, daß sie in den Westalpen sehr wohl in der Lage ist, die Haupteinwände lokaltektonischer Art zu entkräften und ein einheitliches und einleuchtendes Gesamtbild vorwaltender Süd-Nord-Schübe zu entwerfen. Wir haben aber auch gesehen, daß sich dieses Bild nicht ohne weiteres auf die Ostalpen übertragen läßt, daß dort etwas dem Alter und der Anlage nach Verschiedenes vorliegt und daß das westliche Deckenschema dort als Zwang wirken muß. In dem Abschwenken der Ostalpen gegen Süden am Rhein haben wir eine zweite Bogenanlage kennen gelernt, die jener der Westalpen vielleicht gleichwertig gegenübersteht; endlich haben wir erkannt, daß der ostalpine Bogen jedenfalls ziemlich weitgehend auf die Westalpen aufgeschoben sein muß (Engadiner Fenster), daß aber kaum zu beweisen ist, daß er als Ganzes auf fremder Unterlage schwimmt. Frech (I 4) hat schon eine ähnliche Zusammenfassung der Alpen gegeben; aber Teildecken spielen in den Ostalpen doch eine größere Rolle, als er ursprünglich annahm. Die Schwierigkeiten des Wurzelproblems und, im Zusammenhang damit, die Unsicherheit in bezug auf die Größe der Verfrachtungen haben wir auch diskutiert.

Ferner wurde das so wichtige Faziesproblem eingehend erörtert und die sich aus ihm ergebenden Gründe und Gegengründe. Allgemeingültige Beweise und Widerlegungen ergab dieses Problem nicht. Wechsel und Konstanz der Fazies ließen sich unter dem Gesichtspunkt der modifizierten Geosynklinalentheorie sehr wohl in das Schema der Deckenlehre einreihen.

Die geophysikalische Betrachtung ergab eine Unvereinbarkeit der Deckenlehre mit der Kontraktionstheorie, aber keineswegs die Unmöglichkeit einer Deckenbewegung überhaupt, sofern man magmatische Vorgänge als Grundlage der gebirgsbildenden Mechanik anerkennt. Mehr ließ sich zur Zeit kaum sagen. Die unbedingte Geltung einer der hierbei aufgestellten Hypothesen war nicht zu erweisen; ja, es erschien möglich, daß verschiedene Prinzipien hier nebeneinander gewirkt haben (Gleitung, Unterströmung, Verschluckung, Kristallokinese).

Der Vorteil dieser magmatischen Theorien liegt vor allem darin, daß sie dem zweifellosen Nebeneinanderbestehen von Kontraktion und Expansion besser gerecht werden, als die Kontraktionstheorie. Rothpletz (X 17) hat seinerzeit den Widerspruch, welcher

zwischen diesen beiden Prozessen liegt, dahin zu deuten versucht, daß auf der Erde Zeiten der Kontraktion und Zeiten der Expansion wechseln. Auf Grund der magmatischen Theorien erscheint es aber sogar möglich, daß beide Vorgänge nebeneinander gleichzeitig bestehen, wenn nämlich die Kristallisation in verschiedener Tiefe unter verschiedenen Bedingungen stattfindet.

Von den erörterten Synthesen hat keine restlos befriedigt; die eine erscheint bedenklich, weil sie zu eng mit der unhaltbaren Seitendrucktheorie verbunden wurde, die andere zeigt eigentlich nur ein Gewirr unzusammenhängender Vorgänge, die dritte ist erst in einem frühen Entwicklungsstadium begriffen.

Es könnte mithin scheinen, daß das Ergebnis unserer Untersuchung wenig befriedigend ist. Wenn wir uns nämlich fragen, ob es der Deckentheorie gelungen ist, ein einheitliches und vollkommen geschlossenes Gesamtbild zu geben und ob es ihr andererseits geglückt ist, die tieferen Ursachen der gebirgsbildenden Vorgänge in unbedingt eindeutiger Weise aufzuzeigen, so muß darauf mit einem Nein geantwortet werden.

Das ursprüngliche Bild regelmäßig von Norden nach Süden einander ablösender Faziesstreifen, die durch einheitlichen Druck gesetzmäßig übereinander gelegt wurden, so daß die jüngste Decke auch stets die höchste und die am weitesten nach vorne geschobene ist, hat nicht standgehalten. Deckeneinwickelungen bewiesen eine andere, kompliziertere Art der Deckenbildung, die faziellen Verhältnisse erwiesen sich als recht verwickelt, die Ost-West-Schübe und der abweichende Bauplan der Ostalpen paßte nicht in das Gesamtschema hinein.

Zu den tieferen Ursachen der Deckenbildung übergehend, mußten wir den eigentümlichen Prozeß erleben, daß die Theorie ihre eigenen Prämissen aufzugeben gezwungen war und nach neuen suchen mußte. Die Deckenlehre war ja zunächst nur eine Steigerung der Faltungslehre, die durch die Kontraktionslehre und die sich daraus entwickelnde Theorie vom einseitigen Schub und dem einseitigen Bau der Faltengebirge beherrscht war. Um an dieser Lehre vom einseitigen Bau und der dafür verlangten Einheitlichkeit der Bewegung festzuhalten, mußte man schließlich zu der Hypothese der großen Massenverfrachtungen greifen. Nachdem sich aber diese Massenverfrachtungen vielfach als sicher bestehend erwiesen hatten, zeigte sich, daß sie aus der Seitendrucktheorie kaum abzuleiten

waren. Damit waren aber die bedingenden Prämissen eigentlich aufgegeben und die in Tatsachen schon stark verankerte Theorie schwebte zunächst in bezug auf ihre tieferen Beweggründe in der Luft. Der Ersatz, den man für die letzteren heute bietet, erscheint aber noch vielfach unklar und nicht unbedingt eindeutig.

Aber, so wollen wir uns fragen, ist denn in der Verneinung der beiden gestellten Fragen notwendig auch eine Verneinung der Deckentheorie enthalten? Ich glaube kaum. Der Weg, den die Deckentheorie gegangen ist, ist der Weg der meisten geologischen Theorien.

Wirr liegen die Bausteine der Natur — die Einzeltatsachen — durcheinander. Eine geniale Konzeption ordnet die augenblicklich zugänglichen zu einem übersichtlichen, strengen Muster. Durch diese Konzeption, durch den Ordnungsprozeß angeregt, sucht man nach neuen Tatsachen, neuen Bausteinen und schleppt sie herbei. Einige lassen sich bequem dem neuen Muster einfügen, andere stören wenigstens nicht, noch andere verwirren das geschaffene Bild. Das Muster muß erweitert werden; Nebenmuster (Hilfstheorien) werden eingefügt. Das Bild erscheint schließlich so kompliziert und verworren, daß es sich nur graduell von der ursprünglichen Unordnung unterscheidet. Nun kann es zwei Wege der Entwicklung geben; entweder wird der alte Bau vollkommen zerstört, um aus seinen Bestandteilen ein neues Muster aufzuführen, oder sein Grundriß findet innerhalb der Neuordnung Verwendung. Der Gang unserer Wissenschaft brachte es häufig mit sich, daß beide Wege nacheinander beschritten wurden. So ist es zum Beispiel auch der Erhebungstheorie von Buch ergangen: Ursprünglich als Hauptursache der Gebirgsbildung betrachtet, nachher ganz verworfen, lebt sie als Teilerscheinung innerhalb der magmatischen Theorien bis zu einem gewissen Grade wieder auf.

Nur ein ganz geschlossenes Muster, welches keine neuen Bausteine zuläßt, muß zerbrochen werden; nur die starre schematische Theorie ist auf die Dauer nicht haltbar. Keime des starren Schematismus, aber auch Keime der Wandlungsfähigkeit sind in der Deckentheorie enthalten. Ihre Modifizierbarkeit hat sie durch Verarbeitung ursprünglich scheinbar widersprechender Tatsachen gezeigt. Freilich hat sie dabei einen Teil ihrer Einfachheit preisgeben müssen und, so könnte man wieder fragen, liegt darin nicht ein Verdammungsurteil? Gewiß, unsere gesetzmäßige Naturbetrachtung erstrebt die Vereinfachung; diese Einfachheit wird aber nur in den letzten Abstraktionen, in den ursprünglichen Grundgesetzen erreicht; diese

bilden das Grundmuster, von dem die abgeleiteten Theorien in immer komplizierteren Arabesken in die unübersehbare Mannigfaltigkeit der Erscheinungswelt hinausstrahlen. Nur sofern man den Fehler begeht, eine komplizierte Theorie als Grundmuster anzunehmen, befindet man sich auf einem Irrweg; als Teilerklärung, als abgeleitete Theorie kann sie wohl brauchbar sein. So ist auch die Deckentheorie nur eine abgeleitete Theorie; ihr Grundmuster liegt in den — geophysikalisch (noch nicht physikalisch-chemisch!) — einfachen magmatischen Theorien. Eine absolute Einfachheit kann und darf von ihr daher nicht verlangt werden. Und die vielfachen Unklarheiten ihrer letzten Ursachen sind in diesem Lichte noch kein Verdammungsurteil. Sofern sie nur die Einzeltatsachen gut erklärt, liegt in diesen noch bestehenden Unklarheiten und in der Möglichkeit verschiedener Grundverknüpfungen vielleicht sogar ein Vorteil, indem sich darin die Anpassungsfähigkeit der Theorie äußert.

E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Erwin Nägele) in Stuttgart.

Seit 1833

Neues Jahrbuch

für

Mineralogie, Geologie und Paläontologie.

Unter Mitwirkung einer Anzahl von Fachgenossen

herausgegeben von

R. Brauns in Bonn a. Rh. **Th. Liebisch** in Berlin. **E. Hennig** in Tübingen. **J. F. Pompeckj** in Berlin.

Jährlich zwei Bände je mit 3 Heften.

Seit Mai 1900

Centralblatt

für

Mineralogie, Geologie und Paläontologie.

Herausgegeben von

R. Brauns in Bonn a. Rh. **Th. Liebisch** in Berlin. **E. Hennig** in Tübingen. **J. F. Pompeckj** in Berlin.

Monatlich 2 Nummern.

Palaeontographica

Beiträge zur Naturgeschichte der Vorzeit.

Herausgegeben von

J. F. Pompeckj, Berlin.

Bisher erschien Bd. I—LXIII nebst vielen Supplementen.

Auf Wunsch Inhalts- und Preisverzeichnisse.

E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Erwin Nägele) in Stuttgart.

Lethaea geognostica (Handbuch der Erdgeschichte)

mit Abbildungen der für die Formationen bezeichnendsten Versteinerungen.

Herausgegeben von einer Vereinigung von Geologen.

I. Teil: Das Palaeozoicum. (Komplett.)

Textband I. Von **Ferd. Roemer,** fortgesetzt von **Fritz Frech.** Mit 226 Fig. u. 2 Tafeln. gr. 8°. 1880. 1897. (IV. 688 S.)

Atlas. Mit 62 Tafeln. gr. 8°. 1876. Kart.

Textband II. 1. Lieferg. Silur. Devon. Von **Fr. Frech.** Mit 31 Fig., 13 Tafeln u. 3 Karten. gr. 8°. 1897. (256 S.)

Textband II. 2. Lieferg. Die Steinkohlenformation. Von **Fr. Frech.** Mit 9 Tafeln, 3 Karten und 99 Figuren. gr. 8°. 1899. (177 S.) (z. Zt. nicht einzeln.)

Textband II. 3. Lieferg. Die Dyas. I. Hälfte. Von **Fr. Frech.** Allgemeine Kennzeichen. Fauna. Abgrenzung und Gliederung. Dyas der Nordhemisphäre. Mit 13 Tafeln u. 235 Figuren. gr. 8°. 1901. (144 S.)

Textband II. 4. Lieferg. Die Dyas. II. Hälfte. Von **Fr. Frech** unter Mitwirkung v. **Fr. Noetling.** Die dyadische Eiszeit der Südhemisphäre und die Kontinentalbildungen triadischen Alters. Grenze des marinen Palaeozoicum und Mesozoicum. — Rückblick auf das palaeozoische Zeitalter. — Mit 186 Figuren. (210 Seiten und viele Nachträge.)

II. Teil: Das Mesozoicum. (Im Erscheinen begriffen.)

Erster Band: **Die Trias.** (Komplett.)

Erste Lieferung: Einleitung. Von **Fr. Frech.** Kontinentale Trias. Von **E. Philippi** (mit Beiträgen von J. Wysogórski). Mit 8 Lichtdrucktafeln, 21 Texttafeln, 6 Tabellenbeilagen und 76 Abbildungen im Text. (105 S.)

Zweite Lieferung: Die asiatische Trias. Von **Fritz Noetling.** Mit 25 Tafeln, 32 Abbildungen, sowie mehreren Tabellen im Text.

Dritte Lieferung: Die alpine Trias des Mediterran-Gebietes. Von **G. von Arthaber** (mit Beiträgen von **Fr. Frech**). Mit 27 Tafeln, 6 Texttafeln, 4 Tabellenbeilagen, 67 Abbildungen u. zahlreich. Tabellen im Text.

Vierte Lieferung: Nachträge zur Mediterranen Trias. Amerikanische und circumpazifische Trias. Rückblick auf die Trias. Von **Fr. Frech.** Mit 12 Tafeln, 1 Weltkarte, 1 Tabellenbeilage und 23 Textfiguren.

Dritter Band: **Die Kreide.**

I. Abteilung: Erste Lieferung: Unterkreide (Palaeocretacicum). Von **W. Kilian.** Erste Lieferung: Allgemeines über Palaeocretacicum. Unterkreide im südöstlichen Frankreich. Einleitung. (168 S.) Mit 2 Kartenbeilagen und 7 Textabbildungen.

Zweite Lieferung: Das bathyale Palaeocretacicum des südöstlichen Frankreich; Valendisstufe, Hauterivestufe, Barrêmestufe, Aptstufe. Mit 4 Tabellen, 12 Tafeln und mehreren Textabbildungen.

Dritte Lieferung. Das bathyale Palaeocretacicum im südöstlichen Frankreich; Apt-Stufe; Urgonfacies im südöstlichen Frankreich. Mit 1 Tabelle über die Verbreitung der Urgonfacies im südöstlichen Frankreich, 1 Kartenbeilage, 6 Tafeln sowie mehreren Textabbildungen.

III. Teil: Das Caenozoicum. (Im Erscheinen begriffen.)

Zweiter Band: **Das Quartär.**

I. Abteilung: Flora und Fauna des Quartär. Von **Fr. Frech.** Das Quartär von Nordeuropa. Von **E. Geinitz.** Mit vielen Tafeln, Karten, Tabellen und Abbildungen