

# Der geologische Bau der Ostalpen.

Von

**Franz Ed. Sueß**

Die unruhige Oberfläche von Mitteleuropa mit den breiten Rumpfgebirgen und Senkungsfeldern wird im Süden von dem breiten Walle der Alpen umsäumt. Der äußere einheitliche Rand des großen Gebirgsbogens zwischen Genua und Wien grenzt an ungleichartige Vorländer; im Westen an den geradlinigen Abbruch des französischen Zentralplateaus, dann jenseits der Abzweigung des Jura-gebirges an die Niederungen der Schweizerischen und der Bayrischen Molasse, an die sanftere Abdachung des jungtertiären Hügellandes und der Schotterflächen in Oberösterreich, dann an die bei St. Pölten weit nach Süden vortretenden Ausläufer der böhmischen Masse und zuletzt an die Donauniederung zwischen Tulln und Wien. Der innere steilere Abfall des Gebirges umfaßt die Poebene und die nördliche Adria. Zwei auseinander strebenden Ästen vergleichbar sind dem Hauptstamme im Osten die nach Nordost umschwenkenden Karpathen und die nach Südost gewendeten dinarischen Ketten angefügt.

Die Alpen sind ein ausgesprochenes Kettengebirge. Von irgend einem Punkte der Höhenzüge über der Donau erscheinen sie als einheitlicher, ausgezackter Kamm, als höhere Kulisse hinter einem Walle von Vorhügeln und dem Charakter des Kettengebirges entsprechend sind auch die einzelnen Gesteinszonen gleichlaufend mit der Haupterstreckung der Kämmen aneinander gereiht. In den Ostalpen, denen sich vor allem unsere Betrachtung zuwendet, sind die einzelnen Zonen mit durchaus eindeutigen und scharfen Grenzen aneinandergesetzt. An die äußere Sandsteinzone mit ihren bewaldeten, sanfter geformten Hügeln und Kuppen schließt sich die Kalkzone mit steilwandigeren Tälern und klotzigen Bergmassen, abwechslungsreicher durch das Vorherrschen des hellfarbigen Felsgeländes. Den breiten Längstälern folgt im großen ganzen die schmale, aber bunter zusammengesetzte Grauwackenzone, in der Kalk- und Schieferberge nebeneinander enthalten sind. Die Zentralzone besteht vor allem aus kristallinen Schiefergesteinen. Sie zerbröckeln zu Geländeformen mit ruhigeren Umrissen. Erhabener Ernst ist der Ausdruck ihrer mächtigen Berggestalten. Eine zweite Kalkzone, die der Südalpen, bringt wieder die steilen Wände und Türme der zerbröckelnden Kalktafeln, hier noch reizvoller und malerischer durch das Vordringen des südlichen Pflanzenwuchses in die Täler und über das Gelände am Fuße der kahlen und unwirtlichen Felsmassen. Wohl sind auch Streifen von jungen, weichen Gesteinen der südlichen Kalkzone angeschlossen.

Sie verbinden sich aber nicht zu einem der nördlichen Sandsteinzone vergleichbaren geschlossenen Randsaume.

Diese großzügige Gliederung in Verbindung mit der allenthalben wahrnehmbaren steilen Aufrichtung oder Verfaltung der Gesteinslagen hat früh, schon zur Zeit von Leopold von Buch, die Frage nach der Entstehung des Gebirges angeregt, und die Frage nach dem Bildungsvorgange der Kettengebirge ist bis heute eine der Hauptfragen der Geologie geblieben. Sie ist noch heute der Schlüssel zur Deutung aller tektonischen Vorgänge auf der Erde und die Alpen als das am meisten besuchte, am besten bekannte und am gründlichsten durchforschte Kettengebirge haben bis heute einen hervorragenden Platz in diesem Forschungsgebiete behauptet; ja man kann sagen, unsere gegenwärtigen Vorstellungen von dem Bau und der Entstehung der Kettengebirge beruhen hauptsächlich auf den Erfahrungen in den Alpen, wenn auch manche Forschungen in anderen Gebirgen, wie in Schottland und im nordfranzösischen Kohlengebirge, wieder befruchtend auf die Alpenforschung gewirkt haben.

Seitdem die Gebirge nicht als eine Ureigentümlichkeit einer erschaffenen Erde angesehen werden, schon seit Leibniz (1680) und Buffon (1749), wird ihre Entstehung einem großartigen Bewegungsvorgange der äußeren Erdoberfläche zugeschrieben und alle weitere Forschung strebt nach der Aufklärung des in der gegenseitigen Lagerung der Gesteine festgehaltenen Bewegungsbildes. Der gewissenhaften Arbeit zahlreicher Forscher ist es nun im Laufe von einigen Jahrzehnten gelungen, den ungeheuren Knoten fast restlos zu lösen. Es offenbart sich ein Bewegungsbild von ungeahnter Größe. Zugleich zeigt sich, daß trotz der verwirrenden Mannigfaltigkeit, mit der die einzelnen Berggruppen aneinandertreten, die Gesamtheit der alpinen Ketten zwischen Wien und Genua nach einem einheitlichen Plane aufgebaut ist und man kann die Ostalpen nicht verstehen, ohne die Westalpen zu kennen. Von diesen sind die neueren Vorstellungen ausgegangen und sie enthalten den Schlüssel für das Verständnis des gesamten Baues.

Das häufige Vorkommen lebhaft gefalteter, zerknitterter und überstürzter Gesteinsschichten war noch für die Schüler Huttons (1788), für Playfair und I. Hall das beredte Zeugnis für eine gewaltsame und plötzliche Aufrichtung der Kettengebirge. Es schien, daß die Aufrichtung nur durch eine von unten nach oben wirkende Kraft geschehen sein konnte und nach damaliger Erfahrung konnten hierfür nur die eruptiven Kräfte des vulkanischen Magmas in Betracht kommen. Auch L. von Buch war einer der bedeutendsten Vertreter der Plutonischen Theorie der Gebirgsbildung (1825). Das Auftreten von granitischen und anderen kristallinen Gesteinsmassen in den Hauptachsen vieler größerer Kettengebirge und auch der Alpen war die wichtigste Stütze der Lehre von der Aufrichtung der Gebirge durch den gewaltsamen Durchbruch des glutflüssigen Magmas.

Im Gegensatz hiezu hatte schon Elie de Beaumont (1834) die Gebirge als oberflächliche Runzeln des schrumpfenden Erdballes aufgefaßt. Doch beharrte er bei der Vorstellung eines plötzlichen katastrophalen Bildungsvorganges.

Der Deutsche K. E. A. Hoff (1822) und der Engländer Ch. Lyell (1830) haben die Lehre von den plötzlichen Katastrophen ersetzt durch die Lehre von

dem gleichmäßigen Gange der Erdgeschichte. Die großen Veränderungen auf der Erde geschehen sehr langsam und allmählich. Sie können nur erschlossen und nicht unmittelbar wahrgenommen werden. An Stelle des plötzlichen Durchbruches setzte Lyell (1830) ein allmähliches Aufschmelzen durch das Magma der Tiefe und allmähliche Ausdehnung durch die vordringende Hitze im Laufe langer Zeiträume.

Die genaueren Beobachtungen über die Einzelheiten des Faltenbaues und die Lagerung der Gesteinskörper vereinigen sich aber viel besser mit der Vorstellung einer von der Seite durch horizontalen Schub als einer von unten her wirkenden Kraft. Der Botaniker K. F. Schimper war einer der ersten, die dies erkannt haben, und A. Escher von der Linth hat bereits die weit ausgreifenden flachen Überschiebungen der Triasgesteine über die jüngeren Sandsteinbildungen festgestellt. Das gleiche lehren auch die Züge des Gesamtbaues der Alpen. Aus der Landkarte kann man entnehmen, daß der Rand des großen Gebirges durch den Vorsprung der böhmischen Masse bei St. Pölten zurückgehalten wird, bevor er unbehindert in die Nordostrichtung des karpathischen Bogens umschwenken kann. Offensichtlich wirkt die ältere Gebirgsmasse rückstauend und hemmend auf die Entwicklung des jüngeren Bogens. Der einheitliche Schub von Süden nach Norden, der den ganzen Bau beherrscht, hat bis in die jüngere Tertiärzeit angedauert. Er ist jünger als die kristallinen Gesteine der zentralen Achse; diese sind dabei passiv mitbewegt worden.

Die Loslösung des Faltenbaues von den zentralen Gneis- und Granitkernen war ein entscheidender Schritt in der Aufklärung des Bewegungsbildes.

Was nachfolgt, ist nichts anderes als der Ausbau der Lehre vom seitlichen Schub. In einzelnen Etappen enthüllt sich der fortschreitenden Wissenschaft der ungeahnte Umfang der Gesamtbewegung. Es fällt gleichsam ein Schleier nach dem anderen vor dem großartigen Schauspiel.

Ein kurzer Überblick über die jüngere Geschichte der Alpenforschung wird uns zugleich mit den Gedankengängen vertraut machen, die mit zwingender Folgerichtigkeit zu den neuen großzügigen Anschauungen geführt haben. Aber einige grundsätzliche Erläuterungen über die Gesamtanlage des Gebirges werden zunächst einzufügen sein.

Die Alpen, wie sie gegenwärtig vor uns stehen, sind das Ergebnis von dreierlei ineinandergreifenden Vorgängen. Der erste hat den Körper des Gebirges selbst, d. i. die Gesteine geschaffen, aus denen es besteht. Das geschah vor allem durch die Anhäufung von Ablagerungen in wechselnden Meeresräumen während des ungeheuer langen Zeitraumes vieler vergangener Formationen.

Der zweite Vorgang war der Zusammenschub und Aufstau dieser mehrere tausend Meter mächtigen Folge von Sedimentgesteinen. Die Umformung der Gesteinskörper im großen während der Faltung war begleitet von einer stärkeren oder geringeren Veränderung des inneren Gefüges der Gesteinsmassen. Sie bewirkt eine lagenweise oder allgemeinere Zertrümmerung oder Verknüpfung oder Verschieferung der Gesteine; bei stärkerer Bewegung und stärkerer Durchwärmung in größerer Tiefe führt sie zu molekularer Umlagerung, d. i. zur Neu-

kristallisation und Metamorphose und zur Bildung verschiedener Typen von kristallinen Schiefergesteinen.<sup>1)</sup>

Der dritte Vorgang, der den zweiten ständig begleitet und auch heute andauert, ist die Verwitterung, Zerstörung und Abtragung der Gesteine durch Wasser, Wind und Eis. Sie hat die gegenwärtigen Umrisse der Berge geschaffen und ist bestimmend für die gegenwärtige Höhe des Gebirges.

Die Unterlage der alpinen Schichtfolge besteht aus den Resten eines weit älteren Gebirgsbaues, der schon im jüngeren Paläozoikum, in der oberen Steinkohlenzeit bis auf den hochmetamorphen kristallinen und granitischen Sockel abgetragen worden war. Trümmer dieser alten Unterlage sind aber bei der Alpenfaltung mit emporgetragen worden. Ja, die höchsten Gipfel der Alpen im Massiv des Mont Blanc gehören zum aufgestauten Untergrunde. In den Westalpen sind die in der Tiefe wurzelnden alten Schollen in einer bogenförmigen Zone aneinandergereiht, welche die Massive des St. Gotthard, der Aiguilles Rouges, des Mont Blanc, der Belledonne, der Grandes Rousses, des Pelvoux und des Mercantour umfaßt.

Namentlich in den Ostalpen ist auch eine mächtige Schichtfolge von älteren paläozoischen Gesteinen der Silur-, Devon- und Steinkohlenformation in den Gebirgsbau aufgenommen worden.

Über dieser alten Unterlage wurde im Laufe von vielen Jahrmillionen die mehrere tausend Meter mächtige Schichtfolge des Mesoikums, d. i. der Trias-, Jura- und Kreideformation aufgebaut; darüber folgen noch die tieferen Stufen der Tertiärformation. Höchst wichtig für das Verständnis des Alpenbaues ist die ungleichartige Entwicklung der einzelnen Formationen in verschiedenen Teilen der Alpen, ihre ungleiche Vollständigkeit und ungleiche Mächtigkeit und vor allem die verschiedenartige Fazies, d. i. die Vertretung gleicher Zeitabschnitte durch verschiedenartige Sedimente. Sie kann nur so verstanden werden, daß die gleichzeitigen Sedimente der Formationen in voneinander abgetrennten Meeresräumen gebildet worden sind.

Man kann in den Alpen, neben einer größeren Zahl von örtlichen Abwandlungen, drei Hauptfaziesgebiete unterscheiden. Das erste, außerhalb der Zone der wurzelnden Massive gelegen, ist das Helvetische Gebiet; das zweite, das Penninische Gebiet, umfaßt die Westalpen innerhalb dieser Zone; das dritte ist das Ostalpine Gebiet, das sich mit dem zweiten ohne Übergang an der scharfen Grenzlinie durch den Vorderrhein über Chur nach Malenco berührt.

Das helvetische Gebiet enthält eine fast ununterbrochene Schichtfolge von der Trias bis in das Tertiär. Bemerkenswert ist hier die mächtige Entwicklung der Juraformation, insbesondere des oberen Jura in kalkiger Fazies, und die reichgliederte Schichtfolge der unteren und oberen Kreideformation. Die Sandstein- (oder Flysch-) Zone der Ostalpen hat als eine Fortsetzung des helvetischen Gebietes zu gelten. Die Hauptmasse ihrer Gesteine gehört in die obere Kreide und in das untere Tertiär. Mit dem penninischen Gebiete hat das hel-

---

<sup>1)</sup> Näheres über diesen Vorgang ist in dem vorhergehenden Aufsätze von A. Köhler und A. Marchet über die „Gesteine der österreichischen Alpen“ enthalten.

vetische die unvollkommene Entwicklung der Triasformation gemein. Ihre Basis, zugleich die Unterlage der gesamten mesozoischen Schichtfolge, besteht aus einer kaum unterbrochenen Decke von Quarzit; darüber liegt eine einförmige und wenig mächtige Dolomitbank.

Im übrigen herrschen im penninischen Gebiete mächtige, gleichförmige Schiefermassen, diese sind häufig sogenannte Bündener Schiefer oder Glanzschiefer, etwas glimmerig metamorph mit leichtem Seidenglanz auf den Schichtflächen. Alle Stufen der Juraformation sind darin enthalten. Die obersten Lagen dieser Formation sind gekennzeichnet durch sogenannte Radiolarite, das sind Ablagerungen, die von kieseligen Mikroorganismen hergeleitet werden und als Tiefseebildungen gelten. Der Trog, welcher die penninischen Sedimente aufgenommen hat, war damals besonders tief eingesenkt.

Das ostalpine Gebiet steht im schärfsten Gegensatze zu den beiden anderen. Die Unterschiede sind am auffälligsten in der Vertretung der Triasformation. An die Stelle der Basisquarzite treten die viel mächtigeren Werfener Schiefer: rote Sandsteine und Schiefer mit Gips und Salz. Diese Ablagerungen sind der im konzentrierten Meerwasser gesammelte Verwitterungsschutt eines benachbarten Wüstenkontinentes.

Vor allem gehört die Hauptmasse des im Norden und im Süden so scharf abgegliederten Kalkgebirges zur Triasformation. Der geschlossene Zug von hochragenden, felsigen Bergmassen, dem der Prättigau, die Lechtaler Alpen, Karwendel- und Kaisergebirge, die Berchtesgadener und Salzburger Alpen mit dem Dachstein, die Ennstalerberge und das Rax- und Schneeberggebiet bis zum Abbruch an der Thermenlinie bei Wien angehört, besteht zum weitaus größten Teile aus landfernen Anhäufungen der Kalkskelette abgestorbener Lebewesen des Meeres. Ihre Beschaffenheit wechselt in den einzelnen Schichtgruppen je nach der Beimengung der vom Lande stammenden Verwitterungsstoffe und je nach sonstigen örtlichen Umständen. Nur etwa in der zeitlichen Mitte der Formation wird die kalkige Schichtfolge unterbrochen durch landnahe und Landbildungen, denen der Lunzer Sandstein mit seinen Kohlen- und Pflanzenresten angehört. Sie gehen weiter im Süden über in die schiefrigen Horizonte der Raibler und Carditaschichten. Die reinste und mächtigste Kalkentwicklung zeigt die darüber folgende Obere Trias. Die plattigen Dachsteinkalke bestehen aus übereinandergeschichteten Bänken von Kalkalgenrasen mit eingeschalteten Korallenbänken und mit gelegentlicher Anhäufung der Schälchen mikroskopisch kleiner Einzeller, der Foraminiferen und der zu den Fadenalgen gehörigen Kokkosphäriden. Der bankweise Wechsel hat die unzählbaren Schwankungen des langsam ansteigenden Meeresspiegels aufgezeichnet, die das allmähliche Anwachsen der Sedimente in unregelmäßigen Rhythmen unterbrochen haben (Fig. 2). Gleichzeitig entstand, vermutlich in seichteren Buchten und Meeresstraßen, die Hauptmasse der durch Reichtum an schönen Ammoniten berühmten Hallstätter Kalke. Der färbende Stoff wurde ihnen von den roten Verwitterungsböden der zeitweise bloßgelegten umgebenden Kalklandschaft zugeführt. In anderen Strecken wurde das kalkige Sediment durch die Brandung im warmen Meerwasser in Dolomit verwandelt und bildet nun die Stufe des Hauptdolomites der Oberen Trias.

Mit der Rhätischen, der abschließenden Stufe der Triasformation, mehren sich die Anzeichen einer Verlandung. Der Trog der kalkalpinen Sedimentation wurde allmählich angefüllt und die Zuschüttung war zum Stillstande gelangt. Gleichförmige tonige Fazies verbindet das Rät der Alpen mit dem des Vorlandes. Sie hält noch an in der untersten Stufe der Juraformation, im Lias; während des Überganges zu dieser Formation war der Grund vorübergehend trockengelegt.

Die Sedimentfolge des Jura enthält die ersten deutlichen Anzeichen einer lebhafteren Gebirgsbildung in den Alpen. Die zunehmende Ausbreitung des

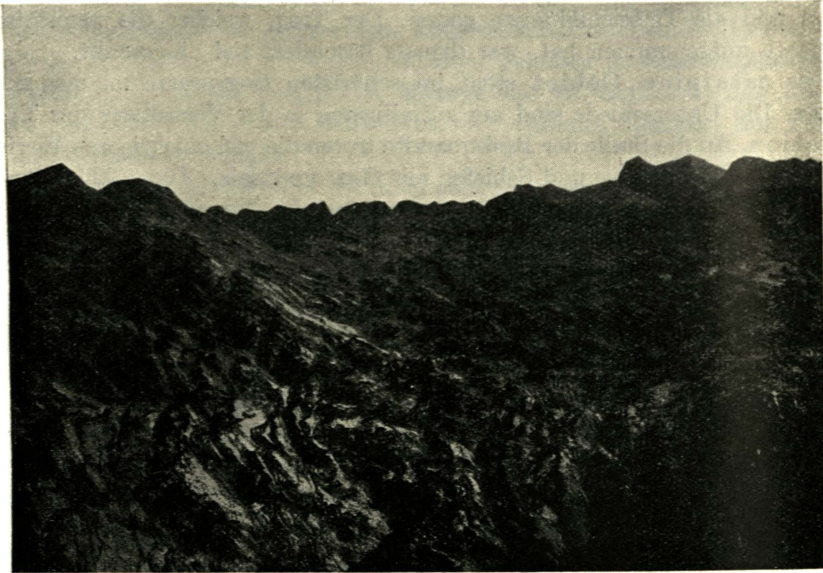


Fig. 2. Gebankter Dachsteinkalk. Totes Gebirge. (Phot. Prof. Lehmann.)  
Geographisches Institut der Universität Wien.

Meeres, die nicht das nördliche Europa, sondern überhaupt weite Gebiete der Erde betroffen hat, bleibt nicht ohne Wirkung auf die Sedimentation in den Alpen. Die Beunruhigung des Reliefs bei beginnender Faltung in Verbindung mit der allgemeinen Vertiefung des Meeres bedingt einerseits eine größere Mannigfaltigkeit der Fazies und andererseits eine größere Lückenhaftigkeit der Schichtfolge, die zum Teil durch das Ausbleiben der Sedimentation in den am tiefsten hinabgetauchten Gebirgsstreifen bedingt ist.

Die größte Tiefe scheint das alpine Meer im oberen Mittel- und unteren Oberjura erreicht zu haben. Dann folgte die Auffüllung mit dem feineren, lichten Kalkschlamm eines seichteren Meeres der Tithonstufe des obersten Jura und es vollzog sich ebenso wie im Rät ein Ausgleich der Gegensätze gegenüber dem Jura des außeralpinen Vorlandes. Ein unruhigeres Relief wurde durch die einförmige Hülle von Kalkschlamm zugedeckt.

Gleichartige Bildungen umfassen in den östlichen Kalkalpen auch noch das

Neokom, d. i. die untersten Stufen der Kreideformation. Dann aber macht sich die Hebung dieses Gebietes über dem Meeresspiegel auffällig bemerkbar. Es fehlen hier die in den Helvetiden so vollständig vertretenen Stufen der Unterkreide. Erst zugleich mit der weltweiten Überflutung zur Zeit der Oberkreide kehrt das Meer auch hieher zurück und dringt in die während der Auffaltung und Trockenlegung entstandenen Täler. Entsprechend der Höhe des Gebirges hat hier keine Überflutung, keine Transgression, sondern nur eine Ingression des Meeres, eine Überschwemmung der Niederungen stattgefunden. Die bergumschlossenen Buchten wurden mit den fossilreichen und mannigfachen Ablagerungen der Gosauformation angefüllt. Überschwemmte Wälder und Moore wurden zu Kohlenflözen, wie die von Grünbach in der Neuen Welt bei Wiener-Neustadt. Über konglomeratischem und brekziösem Brandungsschutt mit vielen großen Schnecken sind mächtigere sandige und tonige Ablagerungen ausgebreitet, die in den höchsten Stufen, im Senon, wieder den helvetischen Flyschbildungen ähnlicher werden.

Ältestes Tertiär, d. i. Eozän, findet sich nicht im Raume der nördlichen Kalkalpen. Jüngeres Tertiär, teils marin und teils lakustrisch und kohleführend, liegt bereits in den Tälern des Gebirges und gehört nicht mehr zum eigentlichen Faltenbau.

Wie verhalten sich nun diese so auffällig unterschiedenen Faziesgebiete zueinander? Wie sind sie gegenseitig gelagert und wie sind sie aneinandergelagert?

In der fortschreitenden Aufklärung des alpinen Faltenbaues hat das Gebiet von Glarus eine hervorragende Rolle gespielt. Die deutlich gegliederte Schichtfolge, in freiem Faltenschwunge hoch emporsteigend und durch Farbunterschiede deutlich hervorgehoben an den Felswänden über dem Walensee, über dem Vierwaldstätter See und an sonstigen Berggestalten der herrlichen Landschaft, bietet dem Beschauer einen Einblick in den Gebirgsbau von kaum irgendwo übertroffener Klarheit. Eine neue tektonische Begriffswelt wurde eröffnet durch die Umdeutung der anscheinenden Gegenbewegung von Norden und Süden in der sogenannten Glarner Doppelfalte in eine einzige hochsteigende und nach Norden hin absinkende Tauchfalte mit einer Spannweite von 16 km. Die helvetische Schichtfolge vom Jura bis zur Oberkreide, einschließlich der unterlagernden Sandsteine des Perm, ist über eine breite Mulde von eozänen Schieferen hinwegbewegt worden. Die Annahme einer Gegenbewegung von Norden und Süden beruhte auf der anscheinend unumgänglichen Voraussetzung, daß eine zusammengepreßte Schichtenlage nur nach oben hin ausweichen könne und daß somit die Fallrichtung einer Schichte auch die Schubrichtung anzeige. Durch den Vergleich mit ähnlichen großen Bewegungen in den nordfranzösischen Kohlengebieten war Marcell Bertrand zuerst zu der neuen Deutung geführt worden.

Als nächste notwendige Schlußfolgerung ergab sich, daß die ganzen Schweizer Kalkalpen in der Zone außerhalb der kristallinen Massive mit den hochragenden Gipfeln der Dents des Morecles, des Wildhorn und Wildstrubel, der Diablerets in der westlichen Fortsetzung der Glarner Alpen, ebenso wie diese als enormer, vielgliederter Deckenlappen aufzufassen sind. Die Helvetiden nach der

Benennung von Staub sind wohl, zum Teil der Schwere folgend, von den hochgestauten Massiven nach Norden abgeglitten. Eine neuerliche Aufbiegung an den vorlagerndem, verhärtetem Küstenschutt des miozänen Meeres, der sogenannte Nagelfluh, wird mit den Wasserwellen einer Brandung an einer Küste verglichen.

Näheren Bezug zur Stellung der Ostalpen im Gesamtbau hat die nach langen Zweifeln nun geklärte Frage nach der Stellung der Schweizer Voralpen und des Chablais zu beiden Seiten des Genfer Sees zwischen der Aare und der Arve und damit im Zusammenhange die Deutung der sogenannten Klippen im helvetischen Land zwischen dem Rhein der Umgebung des Vierwaldstätter Sees.

Die Fazies ihrer Formationen sind denen der Ostalpen nahe verwandt, wenn auch nicht vollkommen gleich. Mit ihren steileren und klotzigen Umrissen stehen sie gleich fremdartig neben den Hügeln der Molasse im Nordwesten wie neben den helvetischen Kalkhochalpen im Südosten. Durch Jahrzehnte beschäftigte die Geologen die Frage nach ihrer tektonischen Stellung. Die faziesfremde Gebirgsmasse ist im Nordwesten der jüngeren Molasse, im Südosten den helvetischen Decken aufgelagert. Das führte zu gezwungenen Vorstellungen einer Aufpressung des Gebirges von unten mit randlichen Überfaltungen in Form einer großen zusammengesetzten Pilzfalte. H. Schardt hat zuerst die Anschauung geäußert, daß die Kalkketten der Voralpen in ihrer ganzen Ausdehnung als ortsfremde, mehrfach verfaltete Decke über den Flysch und die Molasse aufgeschoben sind, und heute kann an der Richtigkeit dieser Auffassung nicht ernstlich gezweifelt werden. Das ganze Gebirge besteht aus einer arg zerdrückten und verfalteten Reihe von Decken, die vom Südosten her über die Zone der zentralen Massive und die helvetischen Kalkalpen hin gefördert worden ist; und die Klippen, die sich so ungemein deutlich abheben von den glatteren Falten der helvetischen Unterlage, die einer Reihe von verstreuten Blöcken fremder Herkunft gleichen, — die stark zerfalteten Giswilerstöcke zwischen Briener und Vierwaldstätter See, die prächtigen Pyramiden der beiden Mythen oberhalb Schwyz, der kleinere Iberg mit dem Roggenstock bis zu den vereinzelt Felsen des Berglittenstein und der Grabserklippe im Rheintale, — sie sind die Abtragungsreste derselben Decken und die Zeugen ihrer ehemaligen weiten Ausbreitung gegen Osten. Im Südwesten sind den Bergen des Chablais als Zeugen gleicher Art die Klippen von Sulens und Annes in Savoyen vorgelagert.

Die Gesteinsmassen, die zum Wiederaufbau dieser höchsten und am stärksten abgetragenen Decken nötig wären, wurden von den Flüssen in das miozäne Meer getragen und sind in den verhärteten Strandkonglomeraten, der sogenannten Nagelfluh, erhalten geblieben.

Zur Klärung des penninischen Deckenbaues im Inneren der Zone der Massive haben die beim Baue des Simplon-Tunnels gewonnenen Erfahrungen wesentlich beigetragen. Äußerlich erscheint der Bau weit einfacher als der des helvetischen Gebietes. Man gewahrt keine so kühnen und hochgeschwungenen Verfaltungen; man erhält vielmehr den Eindruck eines breitangelegten, sehr regelmäßigen Gewölbes von kristallinen Schiefen über einer Unterlage von Gneis. Aber die täuschende Regelmäßigkeit des Baues ist gerade der Ausdruck einer besonders weitgetriebenen Auswalzung der Deckfalten unter der Last der darüber hin-



bewegten höheren Decken. Selbst die tieferen Gneislagen sind nicht mehr ortständig geblieben und in eine vom Süden ansteigende und nach Norden absinkende Deckenfolge von Gneisen und Schiefen sind Marmorlager eingepreßt, die als mesozoisch zu gelten haben. Hand in Hand mit der Umformung der Gesteinskörper zu flach ausgewalzten Decken geht eine Veränderung des Gesteinsgefüges; die weitgehende Auswalzung ist mit einer starken Verschieferung und zum Teil kristallinischen Metamorphose der Gesteine verbunden.

Die Penniden sind die eigentlichen Hauptdecken der Alpen. Die Helvetiden sind dem Vorlande verwandt; sie wurzeln auf oder unmittelbar hinter den autochthonen Massiven. Die Decke der Klippen und Voralpen mußte aber über das ganze penninische Sattelgewölbe hinwandern, ihre Hauptwurzeln liegen am Südrande der penninischen Decken. Alle ihre verschiedenen Glieder und Teildecken sind hier, in der Zone von Bellinzona und Locarno, steil gestellt und zusammengepreßt und knapp angeschlossen an die nächst höheren, an die unterostalpinen Decken.

Um den Wechsel der Deckenfolge in verschiedenen Querprofilen richtig zu erfassen, muß man sich vergegenwärtigen, daß die Achse des gesamten Faltenbaues nicht horizontal bleibt, sondern in breiten Wellen steigt und sinkt; dabei zeigen sich die Hebungen und Senkungen der Längsachse deutlich abhängig von den Umrissen der vorliegenden Massive. Im Rücken des Aarmassives werden die Penniden besonders hoch emporgestaut und hier im Simplon-Gebiete kommt auch mit dem Antigoriogranit die tiefste Unterlage des Deckenbaues zum Vorschein. Die höchsten Decken sind hier abgetragen. Hinter der Lücke zwischen dem Aarmassiv und dem des Mont Blanc senkt sich wieder der gesamte Faltenbau der Penniden; die Helvetiden sind hier in großer Vollständigkeit und Breite entwickelt, und gerade quer vor diese Lücke legen sich die Schweizer Voralpen, d. i. der am tiefsten eingesunkene und deshalb vollkommener erhaltene Rest der Voralpen- und Klippendecke. Durch die Lücke kann er breiter vorquellen; in der Mitte sinken die Penniden ein und bilden eine langgestreckte große Mulde, die von der höchsten der Penninischen Decken, der Dent-Blanche-Decke, ausgefüllt wird. Sie besteht aus Einzeldecken von kristallinischen Schiefergesteinen, die zum Teil recht tiefen Lagen der Erde entstammen. Der kühnste Gipfel der Alpen, das Matterhorn, ist ein randlicher Erosionsrest, ein vorgeschobener Eckpfeiler dieser Decke. Der Körper der steilen Felspyramide besteht aus den stark verfalteten und ausgewalzten Resten der höheren Decken, die eine besonders große Mannigfaltigkeit von kristallinischen Schiefergesteinen in sich vereinigen. Den Sockel aber unterlagern die horizontal ausgewalzten Marmore des Lias und der Triasformation mit Quarziten, Bündener Schiefen und den dazu gehörigen veränderten, grünen Eruptivgesteinen (Fig. 3).

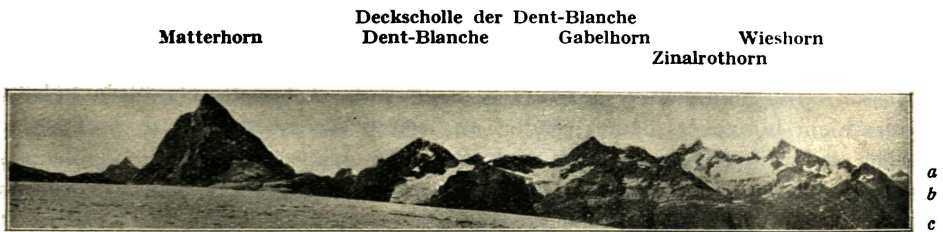
Dies ist der Grundplan des Unterbaues, wie er in dem klassischen Lande der Deckentektonik, in der Schweiz und in den benachbarten französischen Alpen, entwickelt worden ist. Wie aber verhält er sich zu den Ostalpen? Zu dem so fremdartigen Gebirge, das ihn an der Grenzlinie am Vorderrhein und bei Chur ohne Übergang unmittelbar berührt?

Mit einer steilen Felsmauer grenzen die ostalpinen Gesteine an die weicher

Die österreichischen Alpen.

gerundeten Schieferberge des Prättigau. Über der bis in die Kreide und bis in das Tertiär reichenden Schichtfolge der Bündener Schiefer erheben sich die hellen Triaskalke des Rätikon und die kristallinen Schiefermassen der Silvretta.

Die Grenzlinie ist nicht die Trennungsnaht zweier verschiedener Gebirge, wie man früher gedacht hat. Die Ostalpen sind nicht als ein besonderer Gebirgsbogen von Südwesten her an die Westalpen herangeschoben worden. Bei schärferem Zusehen hat sich auch hier das scheinbare Nebeneinander in ein Übereinander verwandelt. Die westalpinen Gesteine tauchen unter die Ostalpen hinab. Zur Erklärung der tektonischen Beziehungen genügt aber auch hier nicht die Annahme eines örtlichen Aufschubes von Westen nach Osten; dem widerspricht schon der große Faziesprung durch die ganze Reihe der Formationen an Ort und Stelle. Den untrüglichsten Nachweis, daß die Ostalpen durch eine Fernverfrachtung vom Süden her in ihre gegenwärtige Lage gebracht worden



*a* Arollagneis, *b* Trias, *c* Bündenerschiefer.

Fig. 3. Überschiebung der Gneisdecken der Grisoniden auf Penniden am Rande der Deckscholle der Dent-Blanche. Nach A. Schmidt. (Führer z. d. Exkurs. d. Deutsch. Geol. Ges. 1907.)

sind, liefern gerade aus den Verhältnissen weiter im Osten, wo in zwei großen Durchlöcherungen der ostalpinen Decken, im Unterengadin und in den Tauern, neuerdings die Penniden zum Vorschein kommen.

Die allgemeine Senkung des Gebirges nach Osten bringt es mit sich, daß bereits im Westen der Rheinlinie das Aar- und Gotthardmassiv unter die Bündener Schiefer hinabtauchen, und im Hangenden dieser Schichtmassen wird Platz für die ostalpine Deckenfolge. Ihr auffälligstes Glied ist die kristallinische Masse der Silvretta; ein Stück tieferer Erdrinde wurde hier emporgeschleift und durch die Bewegung neuerdings verschiefert; dennoch ist ihre Unterfläche nicht die eigentliche Auflagerungsfläche der ostalpinen Decken. Zwischen ihr und der Hauptmasse der Bündener Schiefer liegen arg zerdrückte und in Schollen und Keile zersplitterte Decken, in denen neben reichlichen mesozoischen Gesteinen auch kristallinische und granitische Trümmer mitverarbeitet sind, ihre Abgrenzung gegen die Penniden ist nicht leicht durchzuführen.

In ihren höheren Lagen treten in dem Gemenge verschiedener Fazies die ostalpinen Merkmale so deutlich hervor, daß man sie als unter- und mittelostalpine Decken unterschieden hat. Die oberste stark verschuppte Decke enthält bereits Buntsandstein, Rauchwacken mit Gips, Hauptdolomit mit Schiefen des Rät, rote Ammonitenkalke des Lias, Fleckenmergel, Schiefer, lichte Kalke und Radiolarite des Jura und andere kennzeichnende ostalpine Gesteine.

R. Staub hat kürzlich diese Gruppe von stark verarbeiteten Teildecken — es sind ihrer fünf — unter dem Namen der Grisoniden zusammengefaßt (Grison-Graubünden). Die große kristalline Decke, der die Silvretta angehört, mit der ihr zugehörigen sedimentären Auflagerung von echt ostalpiner Fazies nennt er die Tiroliden. Beide Deckengruppen zusammen bilden die Austriden.

Gerade die buntere Mischung der Gesteine in den übereinandergeschleiften Decken der Grisoniden über den einförmigeren Penniden gibt ihnen eine bemerkenswerte Stellung im Gesamtgefüge der Alpen. Ihre Wiederkehr im Osten über den Penniden enträtselt den ostalpinen Bau und ihre weitere Verfolgung nach Süden liefert den Schlüssel für das Verhältnis des eigentlichen alpinen Baues zu den Südalpen oder Dinariden. Hievon wird später noch die Rede sein.

Auch was oben als Deckengruppe der Schweizer Voralpen bezeichnet worden ist, gehört zu den Grisoniden. Der massigere Umriß der Voralpen lehrt, daß diese Gebirgsgruppe nicht mehr von dem oberostalpinen oder tiroliden Aufschub überwältigt worden ist. Die helvetischen Klippen bilden die lockere Verbindungsbrücke nach den im Rhätikon zwischen den Tiroliden und den Penniden eingeklemmten und verschleiften Teilen derselben Decken.

Gegen Süden zu, am mehrfach ausgebuchteten Rande der Tiroliden, schwellen einzelne dieser Decken mächtig an. Die hohen Bergmassen der Berninagruppe gehören zu ihr. Im Veltlin, im Puschlav schwenken sie, enge zusammengepreßt und steil gestellt, nach Westen und schließen sich mit ihren kristallinischen Wurzeln an die der Penniden.

Aus allem ersieht man, daß die Grenze zwischen West- und Ostalpen nicht mehr bedeutet als den Abtragungsrand, bis zu dem heute die Zerstörung der höheren Deckengruppe über der penninischen Unterlage vorgeschritten ist.

Silvretta und Rhätikon sind die Eckpfeiler des großen Gebäudes der Ostalpen. Der Baustil der Ostalpen tritt uns gleich hier mit allen seinen Eigenheiten vollentwickelt entgegen. Die Kalkmassen des Rhätikon sind die von der kristallinen Unterlage abgeglittenen und zusammengeschnittenen sedimentären Decken der Tiroliden. Als kalkalpine Deckenfolge bilden sie eine ununterbrochene, breite Gebirgskette von zirka 450km Länge bis zum Abbruch an der Thermenlinie bei Wien.

Sehr verwickelt gestaltet sich dagegen das Kartenbild in der breiten Zone, die seit langem unter dem Namen der ostalpinen Zentralzone zusammengefaßt wird und als deren östlichster Ausläufer die Silvretta zu gelten hat. Wohl gehört ihre Hauptmasse ebenso wie die Silvretta zur Unterlage der Tiroliden; aber dazu kommt noch eine große Mannigfaltigkeit von Gesteinen. Sedimente verschiedenen Alters in jedem Grade der Metamorphose, mit verschiedener Fazies bei gleichem Alter wechseln hier mit Gneisen und größeren intrusiven Durchbrüchen. Im Gebiete des Ortler und der Lischana und zu beiden Seiten des Stubaitales sind wieder mesozoische Kalke über die kristallischen Massen ausgebreitet. Karbon mit Pflanzenresten kennt man vom Nöblacher Joch am Brenner, aus dem Gebiete der Stangalpe bei Turrach und am Semmering. Silur findet sich in der sogenannten Grauwackenzone, die den Südrand der Kalkalpen auf der ganzen Strecke von Salzburg bis zum Semmering begleitet. Bei Graz ist ein großes Gebiet von altpaläozoischen Gesteinen (Silur und Devon) an die

Zentralzone angeschlossen. Ein mesozoischer Zug ist in den Karawanken, ein paläozoischer in den Karnischen Alpen zu beiden Seiten der Gail den Zentralalpen angeschlossen. Viele Gebiete der kristallinen Schiefer, viele Marmorzüge

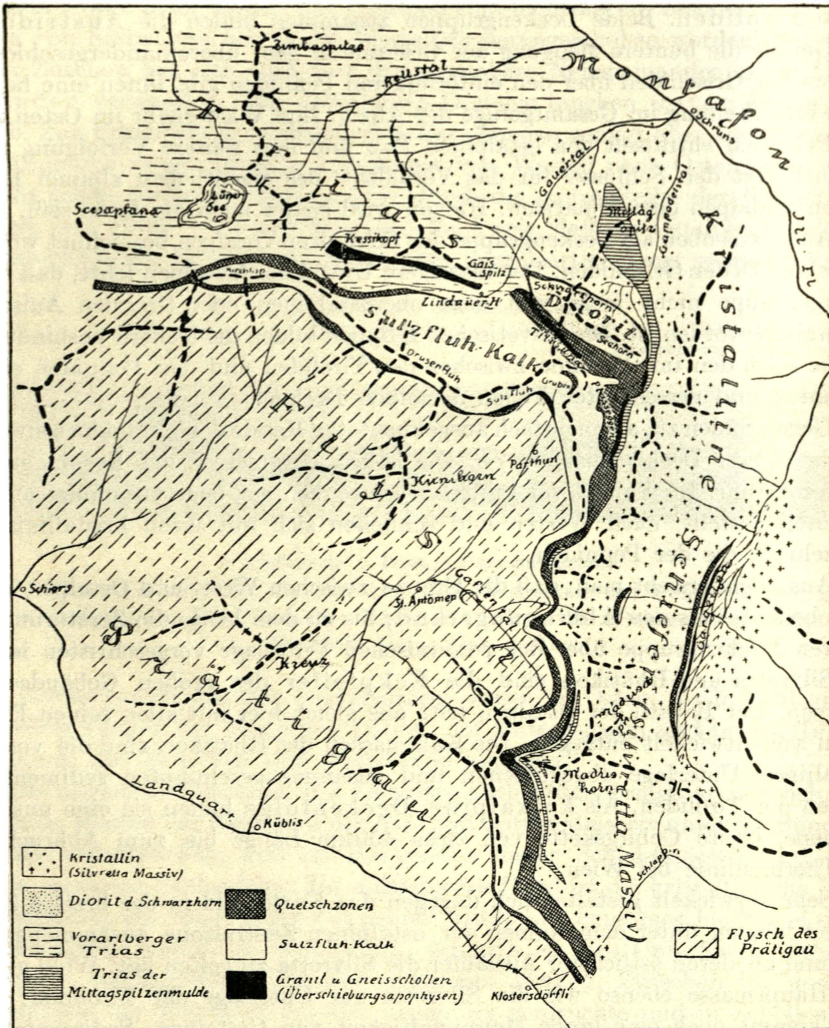


Fig. 4. Geologische Kartenskizze des östlichen Rätikon nach Aufnahmen von W. v. Seidlitz. 1:200.000. (Ber. nat. Ges. Freiburg i. B. 1906.)

werden in paläozoische oder mesozoische Formationen einzureihen sein. Aber auch jüngere Formationen, wie die Gosau der Kainach W von Graz, das Eozän der Radstädter Tauern und des Wechselgebietes (S vom Semmering) sind in die Gebirgsbewegung der Zentralalpen miteinbezogen worden.

Auch hier geht die anscheinend regellose Verworrenheit, die lange unverstandene Mengung der Fazies und der Formationen einer Klärung entgegen.

Was alle diese Verwicklungen bedingt, Stau und Verschuppung einzelner austrider Decken gegeneinander, und wie viel daran noch aufzuklären sein wird, darauf kann eine allgemeine Übersicht nicht Bezug nehmen. Hier sei nur das für die Auffassung des gesamten ostalpinen Baues Entscheidende hervorgehoben; d. i. das neuerliche Auftauchen der Penniden in den Erosionslücken unterhalb der austriden Decken. Solche großen Löcher, welche die höhere Decke durchbrechen, so daß die Decken im Liegenden zutage treten, heißen tektonische Fenster.

Die höchst auffällige Wiederkehr der Schiefer des Prättigau im unteren Engadin unterhalb Ardetz, zwischen den hochragenden und wildzerrissenen Gneis- und Schiefergebirgen der Silvretta auf der einen und der Ötztaler Alpen auf der anderen Seite mußte früh zu vielfältiger Fragestellung herausfordern. Das Gebiet erstreckt sich mit einer Länge von 50 km bis Prutz bei Landeck und dort endigt es vor der Schieferbrücke, welche die beiden großen kristallinischen Massen miteinander verbindet. Das Verständnis des Baues wurde noch erschwert durch die dem Schiefersockel aufsitzenden zackigen Gipfel von Trias-

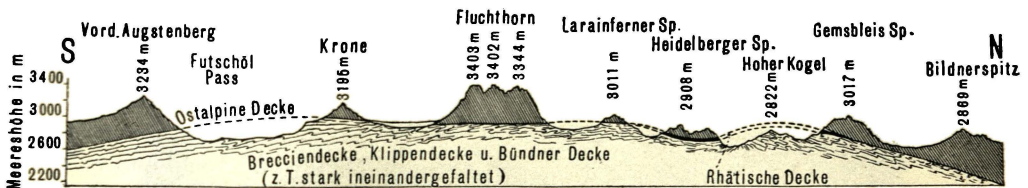


Fig. 5. Nord-Süd-Profil durch den Ostrand der Silvretta (Engadiner Fenster) nach W. Paulcke. 1910. (Vhdlg. d. nat. Ver. Karlsruhe, Bd. 23.)

kalk mit einer der ostalpinen genäherten Fazies. Steinmann deutete sie früh als Deckschollen. Man sah sich genötigt, verwickelte Bewegungen aus verschiedenen Richtungen anzunehmen. Doch auch hier erwies sich das Größte als das Einfachste und zugleich als das einzig Wahre. Es kann heute kein Zweifel mehr darüber bestehen, daß die Schiefer des Prättigau unter dem Silvrettablock mit denen des Unterengadin zusammenhängen. Auch hier zeigen gerade die unmittelbar unter der einheitlichen Schubfläche gelegenen Decken die denkbar größten Zerknetungen und Zerschuppungen und die aufgesetzten Triasschollen, die einer Erklärung am hartnäckigsten widerstanden haben, werden verständlich durch ihre Zuweisung in die höheren Teile der Grisoniden (Fig. 5 und Kärtchen Fig. 4).

Ein breites Band über den Bündener Schiefen besteht aus der gleichen Deckenreihe, die im Prättigau unter die Silvretta hinabtaucht.

Das Fenster selbst ist durch eine Aufwölbung des penninischen Untergrundes verursacht. Indem die fortschreitende Zerstörung und Abtragung des Gebirges einen Ausgleich der Höhenunterschiede mit sich bringt, hat sie zunächst das über der Aufwölbung emporgetriebene Dach entfernt und den tieferen Deckenbau bloßgelegt. Die Überschiebungsfläche mußte einst die hochliegenden Triasschollen, die 3256 m hohe Stammer Spitze in der Mitte des Fensters, vielleicht in einer Höhe von 3500 m (nach Heim) überschritten haben. Bei Prutz, wo sich das Fenster im Nordosten schließt, sinkt die Überschiebungsfläche unter 1000 m hinab.

Die obersten Decken der Grisoniden setzen jedoch nicht in das Fenster fort. Sie sind in einer Sonderwölbung zurückgehalten, welche die Silvretta von der Ötztaler Masse scheidet, und bilden nun die große Stirnfalte der Engadiner Dolomiten mit ihren formenreichen, wild zerrissenen Gipfelgraten und mit dem Ortler, dem höchsten Gipfel der Ostalpen.

Sie tauchen unter die Ötztaler Masse; aus Gneisen, Glimmerschiefern und Hornblendeschiefeln ist auch dieser große Gebirgskörper mit seinen firn-gekrönten Gipfeln aufgebaut. Staub nennt ihn die größte tektonische Klippe der Alpen, da er ringsum, auch im Süden, von Schubflächen umgrenzt ist.

Noch bevor die hochragende Berggruppe ihr östliches Ende findet an der berühmten Wasserscheide des Brenner, wird ihr ernster Umriß neuerdings belebt durch die Einschaltung vielgestaltiger Kalkberge. Hier drohen die Steilabstürze des Tribulaun über dem grünen Gschnitztale (Fig. 6). Neben dem gletschergrundeten Blaser ragt das breite Horn der Waldrast, weit hinaus-

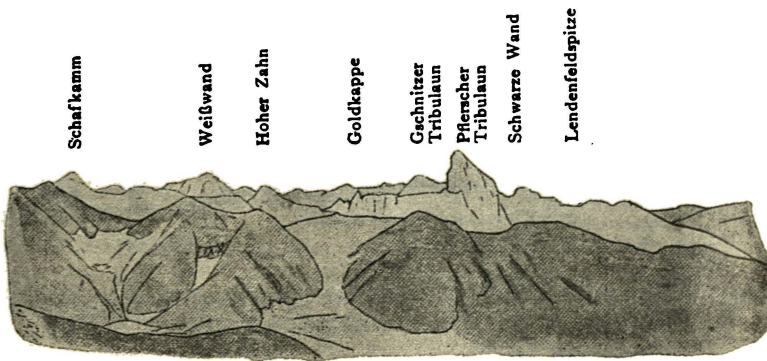


Fig. 6. Die Tribulaungruppe von der Schwarzseespitze nach F. Frech. (Wissenschaftliche Ergänzungshefte zur Zeitschrift des Deutschen und Österreichischen Alpenvereines. Bd. II. 1905.) Triaskalke (weiß) auf Grundgebirge der Tiroliden (grau).

blickend über das Inntal. Aber am blumenreichen Brennersattel und an der Talweitung von Matri und an der Furche, durch welche die Sill tief eingeschnitten in Schotterterrassen ihr brausendes Wasser zum Inn hinunterführt, beginnt wieder ein anderes kristallinisches Gebirge.

Die sogenannten Kalkphyllite des Brennergebietes entsprechen den Bündener Schiefeln. Termier hat dies zuerst festgestellt und zugleich erkannt, daß sie einen Teil der Schichtfolge eines großen Fensters bilden, das sich mit 160 km Länge von der Brennerlinie bis zum Katschbergpasse hin erstreckt (Tafel X, Fig. 1).

In der wunderbaren Hochgebirgswelt der Hohen Tauern, in ihren gletscherumrahmten, zackigen Graten und Hörnern und in dem höchstragenden Kamme des Gebirges überhaupt, ist abermals der tiefste Teil einer Deckengruppe am höchsten emporgewölbt. Schon früh sind die Gneise dieses Gebirgszuges als etwas Besonderes von dem umgebenden Schiefergebirge unterschieden worden. Hauer umgrenzte sie in der geologischen Karte von Österreich (1879) als Zentralgneise. An sie lehnt sich allseits die sogenannte Schieferhülle. Seinerzeit

waren sie mit der hypothetischen zentralen Hebungsachse der Alpen in Beziehung gebracht worden (Tafel XI, Fig. 2).

Sie treten in ungleich großen Körpern, sogenannten Kernen zutage. Man unterscheidet den Zillertaler, den Granatspitz-, den Sonnblick- und den Hochalmkern. Sie sind verfaltet mit den Gesteinen der Schieferhülle. Diese besteht in ihrem unteren Teile aus einer hochmetamorphen, im ganzen kalkarmen Schichtfolge mit einzelnen Marmorlagern, die höchstwahrscheinlich verfaltetem Mesozoikum angehören. In einer oberen oder äußeren Hülle, in einer innigen Mischung von kalkarmen und kalkreichen metamorphen Sedimenten sind die Glanzschiefer oder Bündener Schiefer der Westalpen vertreten. Ebenso wie den penninischen Decken sind auch ihnen viele Lagen und Linsen von basischen Gesteinen („grüne Gesteine“) zugesellt. Fensterartige Aufbrüche der tiefen Schiefer unter den Gneisen bringen den Nachweis, daß auch sie, wie die Gesteine des Simplon-Gebietes, zu parautochthonen Falten überbogen worden sind. Der große Aufbruch im Fenster enthüllt die gesamte penninische Deckenfolge der Westalpen.

Auf diesen Tauerndecken liegen im Osten zunächst die Radstädter Decken. Mit ihren lichten Quarziten und Quarzserizitschiefern, den einförmigen Diploporendolomiten der Trias und schiefrigen Gesteinen des Rät und des Lias gehören sie bereits zum unteren Teile der Austriden und entsprechen einem Teile der Grisoniden, die an der ostalpinen Grenze untertauchen. Mächtig zusammengeschopt, sinken sie mit nordgeneigten Stirnen unter die Pinzgauer Phyllite hinab. In breiter Entwicklung beherrschen sie das Gebiet der Radstädter Tauern. Aber indem sie, dem Fensterrande folgend, gegen Südost und gegen Süd umschwenken, verschmälern sie sich rasch und sinken ostwärts zunächst unter die Gneise der Schladminger Masse und dann, am Katschberge, unter die Glimmerschiefer der Bundschuhmasse hinab. An die Stelle der zusammenhängenden Kalkzüge treten bald schmale, abgequetschte Linsen und am Katschbergpasse liegen streckenweise die stark zerrütteten ostalpinen (austriden) Glimmerschiefer unmittelbar auf den Gesteinen der Schieferhülle. Immerhin läßt sich noch die Verbindung der Tauerndecken mit dem südlichen Zuge der Mafreer Glanzschiefer unzweifelhaft nachweisen, und die Zone von zerdrückten Marmorlinsen und Zügen von Dolomit und Quarzit, die über Sankt Michael, Kals und Windisch-Matrei bis nach Sprechenstein am Brenner verfolgt werden kann, hat als „Wurzelzone“ der Tauerndecken zu gelten oder besser als die Zone, an welcher die Tauerndecken zu einzelnen Linsen zerquetscht unter die höheren ostalpinen Decken, d. i. hier die kristallinische Unterlage der Tiroliden, schräg hinabtauchen. Die Abnahme der Mächtigkeit der grisoniden Decken vom Norden gegen Süden entspricht der allgemeinen Regel, nach der die Schichtfolge der einzelnen Faltendecken in der Nähe der Wurzeln ausgewalzt und verdünnt und gegen die Stirnen zu übereinander geschoppt wird.

Von einem höheren Standpunkte, etwa vom Tschaneck aus, kann der Wissende in den Umrissen der Berge die Linien des großzügigen Bauplanes erkennen, die aus den einzelnen Bausteinen der örtlichen Beobachtungen lückellos zusammengefügt worden sind. Der Strom der zackigeren Tauernketten wird im Osten von den breiteren Wellen des steirischen Schiefergebirges überwältigt. Sie ziehen in den großen tektonischen Tunnel hinein. In einem kühnen Bilde

verglich Termier den Bau der Tauern mit einem versinkenden Riesenschiffe im hochgehenden Meere. Der französische Forscher war auch der erste, den folgerichtige Überlegung zur Erkenntnis gebracht hat, daß die Tauern ein Fenster sind, in dem die Westalpen unter den Ostalpen zum Vorschein kommen. Uhlig in Wien hat hierauf mit seinen Schülern die Aufklärung des verwickelten Baues im einzelnen in Angriff genommen und Kober hat die Ergebnisse der gemeinsamen Arbeit zu einem endgültigen Gesamtbilde zusammengefaßt.

Verwickelter sind die Verhältnisse im Brennergebiete am Westrande des Tauernfensters und sie haben durch längere Zeit einer Aufklärung widerstanden. Als schwer zu deutende Schwierigkeit erschien vor allem das Austreten von gleichartigen Triasbergen im Westen und im Osten der Brennerlinie. Im Osten, in den Tarntaler Köpfen, sind sie mit Quarzphylliten und mit Kalkphylliten verfaltet, im Westen aber liegen die erwähnten Kalkmassen vom Tribulaun bis zu den Kalkkögeln bei Innsbruck auf den Gneisen und Glimmerschiefern der Stubai Alpen. Gezwungene Erklärungsversuche, wie die einer nachträglichen randlichen Überfaltung und eines Überquellens der Decken über den Überschiebungsrand, konnten nicht befriedigen. Eine neuere Untersuchung von Otto Meier scheint die Lösung wenigstens für den Hauptplan gebracht zu haben. Sie liegt in der Erkenntnis, daß die Tarntaler Trias und die Trias des Tribulaun und Kirchdaches nicht zusammengehören. Es ergibt sich ein in den wesentlichen Zügen den Radstädter Tauern gut entsprechendes Gegenstück. In den Tarnaler Köpfen sind die gleichen Gesteine wie dort in flachen Überschiebungen nach Norden vorgetrieben und zum Teil mit der Penninischen Unterlage zu einer Mischungszone, zu einer gewaltigen tektonischen Breccie verarbeitet; wenn auch nicht in der Mächtigkeit und nicht in der Ausdehnung wie am Ostrande des Fensters. Auch hier werden die einzelnen Glieder der tieferen Grisoniden mit der Wendung des Deckenrandes nach Süden stark verschmälert und abgequetscht. Es treten immer höhere Deckenglieder unmittelbar an den Deckenrand; bei Gossensaß sind die schmalen Kalkbänder bereits ganz verschwunden und das Stubai Kristallin liegt unmittelbar auf den penninischen Kalkphylliten (Fig. 7).

Die westliche Trias des Tribulaun mit den Phylliten und Schiefen des Steinacher Joches gehört zum höheren ostalpinen Bau mit seinen besonderen Problemen, von denen noch die Rede sein wird. Zunächst haben wir unsere Aufmerksamkeit einem dritten Fenster zuzuwenden; es ist das Gebiet des Semmering am Ostrande der Alpen.

Zweierlei verschiedenartige Umstände sind beteiligt an der besonderen Gestaltung der Semmeringlandschaft, die durch belebtere Anmut ausgezeichnet ist vor den so ungleichen und doch einheitlicheren Landschaften im Norden und im Süden, den steilen und hochaufragenden Kalkklötzen der Rax und des Schneeberges und dem breiten Walle des Wechsels mit der Blockstrennung von Urgestein auf den wälderreichen Höhen. Der eine Umstand ist die größere Steilheit des Talhanges, über den die Straße nur mit großen Windungen aus dem Haupttale bei Gloggnitz zur Paßhöhe hinauf gelangen kann. Sie bedeutet eine letzte Auswirkung des Abbruches der Alpen zum Wiener Becken in der jüngeren Tertiärzeit. Das größere Gefälle bewirkt beschleunigte Talbildung und rückwärts einschneidend bedrohen diese Gerinne die oberen Zuflüsse der Mürz. Der zweite





Fig. 1. Mündung des Schmirntales ins Valstal. Kalkphyllite des Brenner. Aufnahme von Dr. H. Wopfner. Zeitschrift des Deutschen und Österreichischen Alpenvereines, Bd. 51. Jahrg. 1920.



Fig. 2. Grenze zwischen Tonalitgneis und Schieferhülle. Zemmgrundschlucht oberhalb der Berliner Hütte. Im Hintergrunde die Mörschener Scharte und rechts davon die beiden Mörschener. In der Schlucht Glimmerschiefer; die Grenze rechts der Scharte. (Phot. Dr. N. Lichtenecker. Geographisches Institut der Wiener Universität.)



Fig. 3. Blick vom Sonnwendstein auf den Norden des Semmeringfensters. Im Hintergrunde die Triaskalktafel der Rax (Mesozoikum der oberostalpinen Decken). Das Hügelland unmittelbar darunter ist Karbon und älteres Paläozoikum der Grauwackenzone (Grauwacken, Quarzite, Serizitschiefer, Porphyroide usw.). Unter sie taucht eine Bank von Semmering-Mesozoikum (Jurakalk) mit den steilen Felsen der Weinzettel- und der Pfefferwand, an der Eisenbahnstrecke. Sie gehören bereits zum Fenster (Grisoniden). Den Vordergrund bilden Quarzite und Serizitschiefer (Perm-Trias) und Dolomite des Trias der Grisoniden.



Fig. 4. Aussicht vom Sonnblick gegen die Großglocknergruppe. Untere Schieferhülle der Tauern.  
(Phot. Netzd. a. Aus der Zeitschrift des Deutschen und Österreichischen Alpenvereines. Bd. 46. Jahrg. 1915.



Umstand besteht in der größeren Mannigfaltigkeit der Gesteine. Schon bei Bruck an der Mur beginnt die Einschaltung einer neuen Gesteinsreihe neben der an sich schon ziemlich bunt zusammengesetzten Grauwackenzone und erstreckt sich mit einer Länge von 70km bis an den Gebirgsrand bei Wiener-Neustadt. Mit voller Deutlichkeit kann man darin die Gesteinsreihe der Radstädter Tauern wiedererkennen. Die Pyramide des Sonnwendstein besteht fast ganz aus den Diploporendolomit der Trias. Die hellseidenglänzenden, serizitisch verschieferten Quarzitgrauwacken, die den nördlichen Fuß dieses Berges einnehmen, sind vielleicht das auffälligste Glied der Grisoniden Decken, in der ganzen Ausdehnung von den Tarntaler Köpfen bei Matri am Brenner, durch die Radstädter Tauern und bis zum Semmering. Die weißen Kalkmauern, die jenseits der Adlitzgräben senkrecht emporsteigen, sind die Schichtköpfe einer nordwärts untertauchenden höheren Decke von Jurakalk. Staub vergleicht sie mit den Sulzfluhkalken der Silvretta im Rätikon und mit den Kalken der Mythen. Auf ihnen liegen an der Bahnstrecke unweit der Ruine Klamm pflanzenführende Schichten der Steinkohlenformation. Mit diesen ist bereits der Rand des Fensters überschritten und die Grauwackenzone erreicht.

Zusammen mit der kristallinen Unterlage am Wechsel und mit verschieferten Graniten sind die Sedimente des Semmeringfensters zu vier Decken verfalzt und in teilweise überstürzter Lagerung nach Norden vorgetrieben. Noch tiefere Decken, die den Bündener Schiefen der Penniden und deren Begleitgesteine entsprechen, kommen hier nicht mehr zum Vorschein, und es ist fraglich, ob sie überhaupt noch in diesem Teile der Alpen vorhanden sind.

Das tektonische Fenster endigt nicht an der Grenze gegen das Steinfeld und gegen das Tertiär des Wiener Beckens und der Ödenburger Pforte; seine Gesteine erscheinen wieder im Leithagebirge, in den Hainburger Bergen und in den kleinen Karpathen. Ja noch in den Graniten der Tatra und ihrer sedimentären Hülle ist die Gesteinsreihe des Semmering wieder zu erkennen.

Der Überblick über das Ganze gestattet keinen Zweifel daran, daß die Aufbrüche der Grisoniden und Penniden in den einzelnen Fenstern unter der umgebenden kristallinen Decke der Austriden miteinander zusammenhängen. Es ergibt sich die unabwiesbare Schlußfolgerung, daß auch das ganze kristallinische Gebirge östlich der Muralpen vom Katschberg bis an den Rand der jungen Beckenfüllung bei Graz nicht in der Tiefe wurzelt, sondern als eine ungeheure Deckscholle vom Süden nach Norden über das penninische Gebirge hingeschoben worden ist.

Bei St. Pölten drückt sich der Alpenbogen am nächsten an die böhmische Masse heran. Ihr südlicher Vorsprung verursacht augenscheinlich zugleich mit der Einengung des Faltenbaues auch eine Querhebung der Faltenachse und damit auch das Auftauchen der tieferen Deckenglieder im Semmeringfenster. Jenseits des Vorsprunges erreicht der Alpenbogen den offenen Raum, der ihm gestattet, nach Norden vorzutreten. Schon in der Breite von St. Pölten beginnt in den Bergen der Kalk- und Flyschzone und auch im Semmeringfenster selbst die Wendung des Streichens der Gesteinszüge nach NO in die karpathische Richtung.

Indem der nördliche Randbogen nach Nordosten abschwengt, gewinnt der

kristallinische Anteil an Breite, und indem zugleich auch die horizontale Spannung nachläßt, sinkt er allmählich hinab. Die Gletscher und die zackigen Grate der Tauern sind in den Muralpen verschwunden und die Almwiesen steigen bis an die Gipfel der Berge. Die Wälder der grünen Steiermark überziehen den breiten Rückenschild, der die große verbogene Deckenfolge zwischen den Nord- und Südalpen überbrückt. Es scheint zunächst sehr unwahrscheinlich, daß ohne die Kenntnis der Fenster im NO und im W jemals der Gedanke hätte auftauchen können, daß das steirische Gebirge nicht ortsständig im Untergrunde wurzelt. Aber in der Natur stehen zuletzt alle Erscheinungen miteinander in notwendiger Beziehung und die Art der Metamorphose der Gesteine dieses Gebietes selbst, die kennzeichnende Verschieferung unter gleichzeitiger Bildung von lichtem Glimmer, wie überhaupt die ganzen kristallinischen Anteile der Austriden, enthalten bereits den sicheren Nachweis, daß diese großen Grundgebirgskörper in ihrer Gesamtheit umgeformt, verdrückt und verschleift worden sind.

Es ist hier nicht der Platz für ein näheres Eingehen auf die sonstigen nicht geringen und zum Teil noch ungeklärten Verwicklungen im Bau des tiroliden Kristallin und auf seine mehrfache Verschuppung und Zergliederung in Teildecken. Nur der Hinweis auf den bedeutsamsten Zug in der Gesamttektonik soll hier nicht umgangen werden; denn er erklärt die Stellung der Grauwackenzone und ihre Verbindung mit den Kalkalpen.

Auf der Stangalpe bei Turrach in der westlichen Steiermark kennt man seit langem flachliegende Schichten mit Pflanzenresten der Steinkohlenformation. Ihre scheinbar ungestörte Lagerung sollte einst als Beweis dafür gelten, daß das steirische kristalline Gebirge eine ortsständige Masse, ein alter unbewegter Horst im Alpenkörper sei. Nun sind aber in den Kalken unter diesen Schichten, die man nach ihrer Lagerung ebenfalls für paläozoisch gehalten hatte, von Holdhaus Versteinerungen der Triasformation gefunden worden. Auch hier liegt das ältere flach auf dem jüngeren und die Steinkohlenformation gehört hier zu einer höheren, der Trias aufgeschobenen Decke. Es sind dieselben Lagerungsverhältnisse wie am Nöblacher Joch bei Steinach am Brenner; auch dort liegt das pflanzenführende Karbon ortsfremd aufgeschoben auf der Trias, zu der der Tribulaun gehört. Die große, den ganzen ostalpinen Bau beherrschende Zweiteilung der oberen ostalpinen Decken ist damit angezeigt.

In der Grauwackenzone am Südfuße der Kalkalpen kehren die karbonen Gesteine wieder. Eine paläozoische Schichtreihe bildet die fortlaufende Unterlage der Kalkalpen von Landeck in Vorarlberg bis zum Semmering. Aber sie ist zweigeteilt und umgestellt. Zunächst liegt auf den Gesteinen des Semmeringfensters das Landkarbon, fossilführend aufgeschlossen, an der Bahnstrecke bei der Ruine Klamm. Daran reihen sich karbonische Quarzitgrauwacken und alte vulkanische Ergußgesteine. Darüber erst folgt ein Band mit marinen Sedimenten des Silur und Devon. Besonders im Osten ist die Auflagerung des marinen Altpaläozoikums auf der Landbildung des jüngeren Paläozoikums sehr deutlich. Kober hat die Trennungslinie zwischen beiden die norische Linie genannt.

Die Grauwackenzone ist der ursprüngliche Träger der Kalkalpen. Die auffälligste Scheide im alpinen Landschaftsbilde, die Grenze zwischen den Zentralalpen und den nördlichen Kalkalpen, ist nicht eine Deckengrenze höherer

Ordnung. Beide zusammen, die Kalkalpen und die angrenzenden Zentralalpen, bilden die oberostalpinen Decken oder Tiroliden. Der kristallinische Anteil der Decken, der von der Silvretta bis zu den Muralpen die Fenster umgibt, besteht aus aufgeschürften und flach ausgewalzten Schollen des tieferen Untergrundes; und der in seinen Gesteinsarten am schönsten abgeschlossene Zug der Alpen, das Kalkgebirge vom Rhätikon bis zum Schneeberge bei Wien, ist die nach Norden abgeglittene Sedimentdecke dieser ausgewalzten Tiefenschollen. Staub nennt sie den vorgetriebenen „Brandungsschaum“ der Tiroliden.

Im Gleiten haben diese Kalkmassen hochgradige Zerteilung und Zerschuppung erfahren. Aber als frei bewegte Gesteinskörper, über denen sich keine höheren Decken befanden, konnten sie im ganzen den Zusammenhang als tektonische Einheit behaupten; im Gegensatz zu den unter der tiroliden Decke zu überstürzten Falten verschleiften und zu Linsen zermalmten Grisoniden, wie sie an den Rändern des Tauernfensters und am westalpinen Rande unter der Silvretta sichtbar sind.

Auch die Helvetiden der Glarner Alpen bilden freie Falten ohne auflagernde Decken. Ihr Baustoff ist die zum Teil gegen das Festland zu ausgehende, schön gegliederte Schichtfolge aus der Mitte und aus den Rändern einer Vortiefe. In dem vielfältigen bankweisen Gesteinswechsel sind Schwankungen des Kreidemeeres aufgezeichnet. Die Schichtfolge war hinreichend schmiegsam, um im Niedergleiten von dem emporgetragenen alten Untergrunde schön und weich geschwungene Falten und Decken zu bilden.

Das tektonische und landschaftliche Bild der Kalkalpen ist aber gegeben durch das Vorherrschen der starren und unfaltbaren Kalk- und Dolomittafeln, die landferne mit dem allmählich steigenden Wasserspiegel durch Algen und andere Mikroorganismen aufgeschichtet worden sind. Der üppige Fazieswechsel innerhalb der mesozoischen Formationen gibt häufig die Anhaltspunkte für die Wahrnehmung der Schuppen und Teildecken und verursacht zugleich auch schwer zu deutende Verwicklungen. Eine durch das ganze Gebirge anhaltende einheitliche Deckengliederung konnte bisher nicht aufgestellt werden.

Im Osten unterschied Kober zunächst von Norden nach Süden die Frankenfesler-, Lunzer- und Ötscherdecke als die Gruppe der voralpinen Decken. So wie in den parautochthonen Decken der Helvetiden wird auch hier die Schichtfolge der einzelnen Decken von außen gegen innen immer mächtiger und zugleich verschwinden die Merkmale der Ufernähe aus einzelnen Stufen, so die kohlen- und pflanzenführenden Schichten aus der Stufe des Lunzer Sandsteines in der mittleren Triasformation. Die volle Mächtigkeit erreichen die Kalkmassen in den hochalpinen Decken der östlichen Kalkalpen.

Man darf mit Kober annehmen, daß die voralpinen Decken ursprünglich mit dem Landkarbon zu einer höheren Decke verbunden waren und von diesen durch den Vorschub der nächst höheren Decke, die über marinem Altpaläozoikum die Kalkhochalpen trägt, von ihrer Unterlage aufgeschürft und nach Norden zusammengestaut worden sind.

Die austriden Decken tragen auf ihren Rücken die Ablagerungen des in ihre Täler und Mulden eingedrungenen Gosaumeeres. Während der Nordwanderung der Austriden in der jüngeren Kreidezeit ist das große Ereignis eines

weltweiten Meeresspiegelanstieges eingetreten. Im ostalpinen Gebiete bewirkte er eben die Einschaltung der Gosauformation in den Gang der Geschehnisse. Die groben Schutt- und Geröllmassen der Brandungsküste mit großen Schnecken (Nerineen und Actäonellen) und großen, festgewachsenen Muscheln (Rudisten), Sande und Mergel mit Pflanzenresten und Süßwasserschnecken, Kohlenflöze u. a.; eine prächtige Mannigfaltigkeit von fossilreichen Ablagerungen einer vielgestaltigen Küste wurde auf einem bereits gefalteten Gebirge niedergelegt; dann aber auch selbst wieder verfaltet und an Überschiebungen eingeklemmt. So teilt sich der fortlaufende Vorgang scheinbar in eine vorgosauische und eine nachgosauische Faltungsphase.

Ohne den Einschub dieser Episode von außen her gäbe es keine Zeitmarke zur Unterscheidung zweier Phasen in dem Faltungsvorgange.

Im Norden sind die Kalkalpen aufgeschoben oder angepreßt an die helvetische Flysch- oder Sandsteinzone. Die mächtige Schichtfolge reicht von der unteren Kreideformation bis in das Alttertiär; der Stoff der vielerlei sandigen und schiefrigen Gesteine entstammt hauptsächlich einem kristallinen Gebirge, und zwar der gegenüberliegenden böhmischen Masse. Er enthält keine Gesteine, die von den Kalkalpen herzuleiten wären, und die der oberen Kreideformation angehörigen Mergelschiefer und Sandsteine stellen eine ganz andere Fazies dar als die gleichalterige Gosauformation innerhalb der Kalkalpen. Es fehlen im Flysch vor allem die großen festsitzenden hornförmigen Muscheln, die Rudisten, die in der Gosau so häufig sind. Diese Gegensätze gehören zu den augenfälligsten Belegen dafür, daß die Kalkalpen und die Sandsteinzone nicht nebeneinander entstanden sind. Erst spät wurden die bunt gehäuften Flyschsedimente von den nach Norden abgleitenden Kalkmassen überwältigt und ebenfalls zu einer Folge von Deckfalten zusammengestaut.

Woher stammt nun diese ganze flach ausgewalzte, in enger Pressung übereinandergeschichtete ostalpine Deckenfolge? Wo liegen die „Wurzeln“ der Decken? Aus welchen Fugen wurden sie hervorgepreßt? Das ganze Bewegungsbild und die Faziesfolge von den tieferen in die höheren, d. i. von den näheren in die ferneren Decken, weisen unbedingt nach Süden.

An die kristallinische Unterlage der Austriden, den Hauptstock der Zentralalpen, schließen sich im Süden mit ziemlich einheitlicher Grenze die südlichen Kalkalpen.

Mit unveränderter Gesteinsfolge und ohne entscheidende tektonische Grenze schwenken die Südalpen um in die Richtung der dinarischen Alpen Istriens und Dalmatiens; sie machen sich somit selbständig und entfernen sich von dem nach Nordost in die karpathische Richtung abschwenkenden Alpenbogen. Aus diesem und aus anderen Gründen hat sie Eduard Sueß schon im Jahre 1872 von den eigentlichen Alpen abgetrennt und mit den Dinarischen Alpen Istriens und Dalmatiens zu einem besonderen Gebirge, den Dinariden, zusammengefaßt.

Als das wesentlichste Merkmal, durch das sich die Dinariden von den Alpiden unterscheiden, ist heute der weniger tiefgreifende Deckenbau zu bezeichnen. Die mächtige Sedimentfolge ist hier zwar ebenfalls in Decken zerlegt, und



zwar mit nach Süd gerichteten Bewegungen; aber sie erreichen nicht im entferntesten den Umfang und die Förderungsweite wie in den Alpen. Vor allem wird die kristallinische Unterlage, die an einigen Stellen zum Vorschein kommt, nicht in den Deckenbau mit aufgenommen; der tiefere Körper der Dinariden bildet eine zusammenhängende nicht verfaltete Scholle, die vollkommen getrennt bleibt von dem großen tiefgreifenden Faltenknäuel der Alpiden. Vor den jungen flyschartigen Gesteinen des Außenrandes liegt kein fremdes Vorland, das der böhmischen Masse im Norden zu vergleichen wäre.

Der ungeheure Druck, mit dem der Dinaridenblock an die Alpiden gepreßt wurde, hat die Wurzeln zerquetscht und oft die beiderseitigen Grenzgesteine im gleichen Sinne verschiefert, so daß es durchaus nicht leicht ist, den genauen Verlauf der großen, hochbedeutsamen Fuge festzustellen. Ihre Lage war besonders in jenen Strecken viel umstritten, an denen die kristallinischen Unterlagen in enger Pressung förmlich aneinandergeschweißt sind. Deutlicher treten die gegenseitigen Beziehungen hervor, wo sedimentäre Gesteine die Grenze bilden.

In den Karnischen Alpen erscheint als Unterlage der südlich anschließenden Kalktafeln, der Julischen Alpen, ein paläozoisches Faltengebirge. Marines Silur, Devon und die Steinkohlenformation sind darin enthalten. Jenseits der großen geradlinigen Störung, der das Gailtal folgt, d. i. unmittelbar angrenzend an die „dinarische Narbe“ in den Gailtaler Alpen, liegt über einem schmalen kristallinischen Saume der große mesozoische Kalkzug, dem der Dobratsch bei Villach angehört. Seine östliche Fortsetzung findet man in den Karawanken und im Westen verwandelt er sich in den Drauzug, der bei Sillian unweit von Toblach endigt. Es sind die Vertreter der voralpinen Kalkdecken, die hier in steiler Schichtstellung von den Dinariden überwältigt werden. In der weiteren östlichen Fortsetzung bei Eisenkappel in Kärnten sieht man deutlich, wie das dinarische Kristallin über die Ausläufer des Drauzuges emporsteigt.

Im Rücken der großen Querwölbung, die das Tauernfenster hervortreten läßt, steigt auch die Wurzel empor und der Drauzug wird herausgehoben; indem er schräg in die Luft hinaufsteigt, endigt er bei Sillian keilförmig austreichend. Nur gelegentliche zerdrückte Kalklinsen bezeichnen von nun an die Spur der kalkalpinen Wurzeln in der Dinaridengrenze, die aber dennoch mit großer Deutlichkeit über Bruneck, entlang des Südrandes der Granitmasse des Iffinger bei Brixen, durch das Ultental über den Tonalepaß, durch das Veltlin, über Bellinzona und Locarno, bis an den Rand der Ebene bei Ivrea verfolgt werden kann.

Anschließend an die Aufbruchszone des Prättigau unter der Silvretta, wo unter dem Rande des tiroliden Kristallin die gesamte Deckenfolge aufgeschlossen ist, zwischen Tessin und Veltlin, kann man den großen Querschnitt am besten überschauen und die Umbiegung der einzelnen Decken in ihre steilen Wurzeln verfolgen. Durch die andauernde übertriebene Pressung des Dinaridenblockes sind die Wurzeln hier nach Süden überkippt und zu steilem Nordfallen umgestellt worden. Die mustergültigen Untersuchungen von R. Staub haben dies in allen Einzelheiten dargetan. Hier wird man am besten darüber belehrt, in welcher Weise die großen tektonischen Einheiten aneinandergesetzt sind.

Die südlichen Ausläufer der oberostalpinen Decken münden nicht in der

steilen Wurzelzone. Sie verbinden sich mit der eigentlichen Dinaridenscholle. Die obere Grauwackendecke mit dem marinen Silur und Devon an der Basis der oberostalpinen Decken entspricht dem karnischen Paläozoikum an der Basis der Dinariden. Man versteht nun leicht, warum gerade die sedimentäre Fazies der höchsten kalkalpinen Decken der der Südalpen am nächsten verwandt ist und warum die Fazies des Drauzuges und die einiger Kalkinseln auf dem Kristallin in Kärnten der der voralpinen Decken näher steht. Demnach sind die oberostalpinen Decken als vorgeschobene Ausläufer der Dinaridenscholle oder die Dinariden als der eigentliche Körper der höchsten alpinen Decken anzusehen. Sie sind aber den tieferen, eigentlichen alpinen Decken in besonderer Weise angeschlossen und unterscheiden sich von diesen gerade dadurch, daß ihr Hauptkörper hinter dem großen Deckenknäuel zurückgeblieben und selbst nicht zu Decken verarbeitet worden ist. Die gesamte Masse der Dinariden ist nach Norden getrieben worden, und diese Bewegung war es, die zugleich auch Stau der alpinen Decken bewirkt hat. Sie hat die mächtigen flachen Tafeln der südtiroler Dolomiten und die ausgedehnte Tafel der permischen Porphyre bei Bozen bei der Wanderung passiv mitgenommen. Wenn man das Gesamtbild im Auge behält, erscheint die Südfaltung der Dinariden nur als eine Rückfaltung zweiter Ordnung, und auch das Einsinken der Dinariden im Rücken der Alpen, die Steilstellung der Überschiebungsfäche und ihre Umgestaltung zur überkippten Wurzelzone sind nur weitere Folgen der andauernd im Nordschub verharrenden Bewegung.

Wenn man die ganze Deckenfolge vom Flysch bis zur Dinaridengrenze wieder abheben und die einzelnen Decken in der ursprünglichen Anordnung hintereinander ausbreiten könnte, so würde sich für den nun zerdrückten Sedimentraum eine ehemalige Breite von etwa 1500 km ergeben. Der Stau von so überwältigender Größe ist dennoch nur eine Teilerscheinung eines unvergleichlich großartigen Vorganges.

Die Umriss der Kontinente und ihre gegenseitigen Beziehungen bringen uns zu der Vorstellung, daß die kontinentalen Tafeln selbst nicht dauernd ihre gegenwärtige Lage behauptet haben, sondern langsame, gleitende Bewegungen vollführen; die Ränder der gleitenden Schollen und der anschließende Meeresgrund werden, wo sich ihnen ein Widerstand darbietet, zum Kettengebirge emporgeschürft.

Ungemein langsam, aber unaufhaltsam rückt Afrika nordwärts gegen Europa vor. Es sind Anzeichen vorhanden, daß diese Bewegung schon zur Permzeit begonnen hat, als die Entwicklung der Reptilien ihre erste Stufe erreicht hatte. In wechselndem Rhythmus hält sie an durch die ungezählten Jahrmillionen des mesozoischen Zeitalters und der lange Zeitraum der Tertiärformation, der die Entwicklung der Säugetiere von den primitivsten Anfängen bis zum Auftreten des Menschen umfaßt, enthält die letzte Ausgestaltung des Alpenbaues.

Die mesozoischen Kalkmassen der Dinariden und der oberostalpinen Decken gehören zu dem breiten vorgelagerten Sockel, zum „Schelf“ von Afrika. Staub bezeichnet die Austriden als die zersplitterte Stirne der wandernden afrikanischen Scholle. Schon während der Lias- und Jurazeit sind die Kalktafeln der

Trias örtlich und vorübergehend über den Meeresspiegel emporgehoben worden. Zugleich wurde das Vorland durch das Gewicht der wandernden Scholle niedergedrückt. Es entstand eine sogenannte „Vortiefe“, wie sie heute in der Gestalt der sogenannten ozeanischen Gräben oder Saumtiefen vielen jungen Gebirgsketten, so den asiatischen Inselkränzen an manchen Strecken, den Aleuten, den Bonininseln, den Philippinen, den Tonga- und Kermatekinseln oder in Form der großen Flußniederungen den iranischen Ketten in Mesopotamien und dem Himalaya vorgelagert sind. Die Vortiefe hat die mächtige Sedimentfolge der Penniden, vor allem die Bündener Schiefer des Jura und der Kreide, in sich aufgenommen. Während der unteren Kreidezeit wird die Kalktafel vollends aus dem Meere herausgehoben; sie rückt weiter vor über das Gebiet der Penniden und verschiebt die Vortiefe weiter hinaus in die helvetische Zone, die mit den Schelfsedimenten des Vorlandes verbunden bleibt. Zuletzt, während des Jungtertiär, wird auch diese überwältigt; der afrikanische Schelf hat das vorliegende

Alpen Dinariden



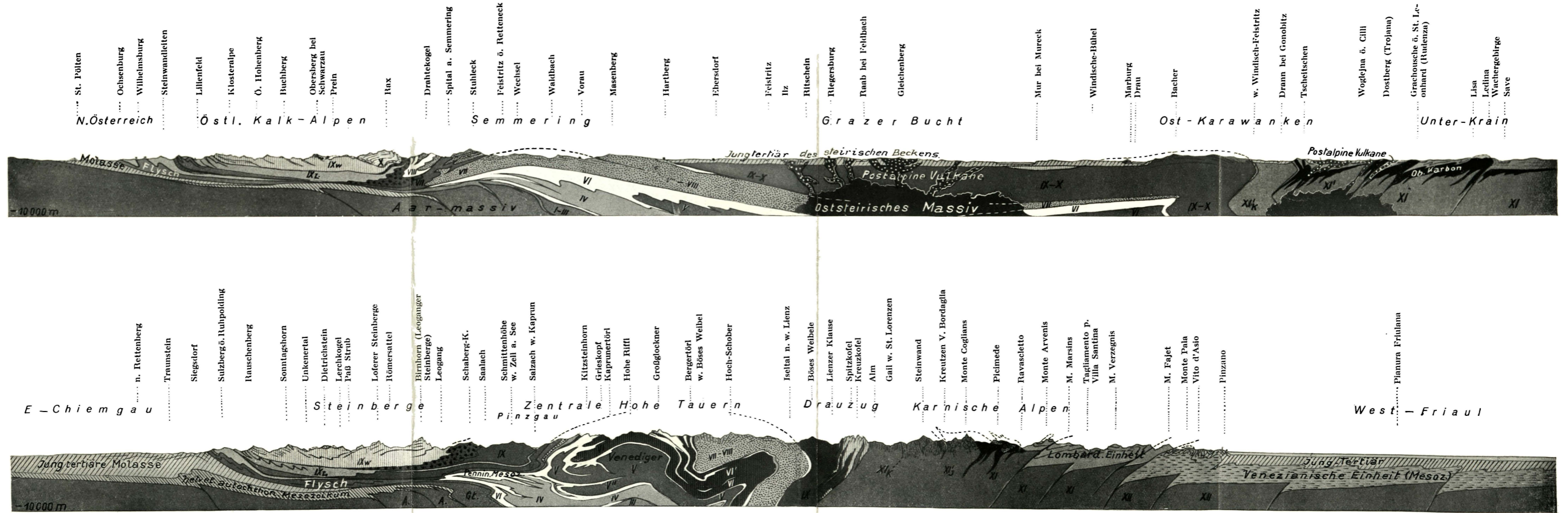
Fig. 8. Die Alpen zwischen dem afrikanischen und dem europäischen Block nach der Auffassung von E. Argand (Bull. Soc. Vendoise des Sc. Nat. 1924).

1. Afrika, 2. Europa. Punktirt: Penninische Zone.

Meeresbecken vollends überschritten und seine Sedimenthülle gleitet nieder auf die Sedimente des europäischen Schelfes. Die austriden Kalkalpen liegen auf dem helvetischen Flysch.

Wie die Erdhaut sich runzelt und verzieht, wird sie gelockert und aus den Fugen tritt da und dort das vulkanische Magma der Tiefe wie das Blut aus einer Wunde. Verschiedene Magmentypen sind auf verschiedene Art in den Gebirgsbau eingefügt. Als ursprüngliches Magma tiefer Herkunft werden die Ophiolithe oder grünen Gesteine der Penniden anzusehen sein; das sind einstige basaltische kieselsäurearme Magmen, die an der Basis der wandernden Scholle gegen die Vortiefe ausgepreßt worden sind.

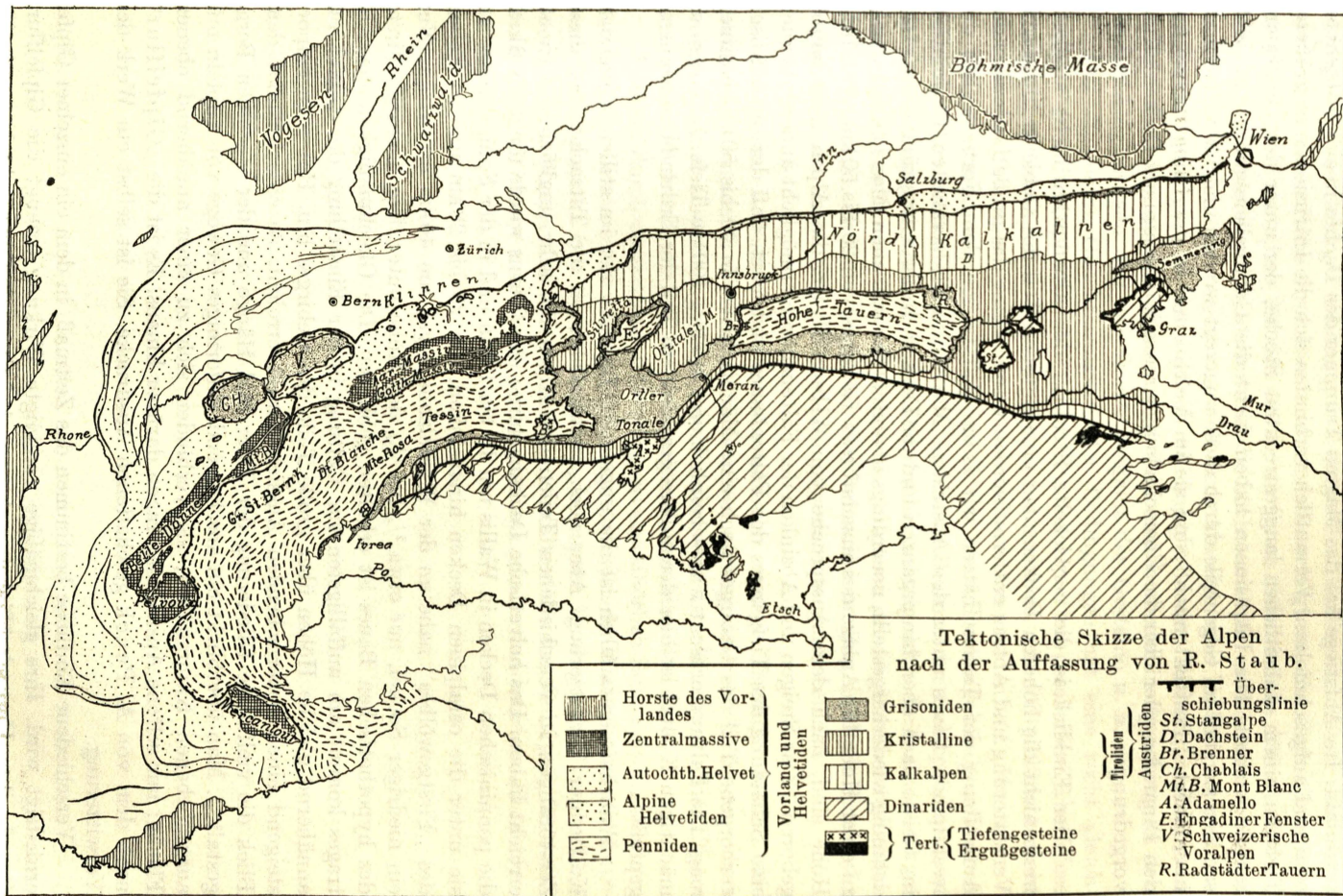
Ein zweiter Typus sind größere magmatische Körper innerhalb der Dinariden und in der Nachbarschaft der alpin-dinarischen Grenze, deren größeres Korn bezeugt, daß sie in der Tiefe erstarrt sind. Hieher gehört vor allem die große Tonalit- oder Granitmasse des Adamello, ferner die Granite des Bergeller Stockes bis Traversella im Veltlin, der Granit von Baveno am Langensee, der Iffingerstock bei Meran auf der alpinen Seite, die Andesite von Eisenkappel in Südsteiermark in der Grenzfrage selbst u. a. Aus der chemischen Zusammensetzung dieser Gesteine kann man schließen, daß sie sich im Aufstiege mit Stoffen aus den umgebenden Sedimenten und metamorphen Gesteinen vermenget haben. Sie stellen „syntektisches“ Magma dar. Eine in der Tiefe liegende Magmaschicht wurde wahrscheinlich durch eine leichte Hebung der Dinaridenscholle während des



Maßstab ca. 600.000

Zwei Profile durch die Ostalpen nach Rudolf Staub (Beiträge zur geolog. Karte der Schweiz. N. F. Liefg. 52, 1926)

- I—VI Decken der Penniden (Tauernfenster)
- VII—VIII' VII'' Altkristalline Deckenkerne (Wechsel, Semmering, Radstädter Tauern, Tauernwurzel) } der Grisoniden (Unter- und Mittelostalpin)
- VII' Mesozoikum und Flysch der Unterostalpinen Decken (Semmering)
- IX X Altkristalline der Tiroliden Deckenkerne (Silvretta, Öztaler Decke, Muralpen)
- IX<sub>L</sub> Lunzer Decke } Oberostalpine Decke
- IX<sub>w</sub> Ötscher-Decke } Hochostalpine
- X Hallstätter- und Dachsteindecken } Tiroliden
- XI und XII Untergrund der Dinariden



Tektonische Skizze der Alpen nach der Auffassung von R. Staub.

- |  |  |  |
|--|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li> Vorland des Vorlandes</li> <li> Zentralmassive</li> <li> Autocth. Helvet</li> <li> Alpine Helvetiden</li> <li> Penniden</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li> Grisoniden</li> <li> Kristalline</li> <li> Kalkalpen</li> <li> Dinariden</li> <li> Tert. Tiefengesteine</li> <li> Tert. Ergußgesteine</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li> Über-schiebungslinie</li> <li> St. Stangalpe</li> <li> D. Dachstein</li> <li> Bf. Brenner</li> <li> Ch. Chablais</li> <li> Mt. B. Mont Blanc</li> <li> A. Adamello</li> <li> E. Engadiner Fenster</li> <li> V. Schweizerische Voralpen</li> <li> R. Radstädter Tauern</li> </ul> |
|--|--|--|

Vorschubes, d. h. durch eine Lockerung der auflastenden Decke, zum Aufstiege veranlaßt. Im Aufstiege hat das Magma Trümmer des Daches in sich aufgenommen und aufgeschmolzen. Vermutlich verbinden sich die Intrusionen in größerer Tiefe zu einem einheitlichen langgestreckten Stocke, der unter der Dinaridenscholle wurzelt. Die Intrusionen haben nicht die Gebirgsbewegung veranlaßt, sondern sie sind im Gegenteile durch diese angeregt worden und haben sie noch überdauert. „Posttektonisch“ sind sie im Veltlin und in der Iffingermasse aus den Dinariden quer über die Überschiebungsgrenze in den alpinen Deckenkörper vorgedrungen.

Der Einblick in die verwickelte Struktur der Alpen wäre nicht möglich, wenn nicht die höheren Decken über einen großen Teil des Gebietes hin durch Verwitterung und Abtrag entfernt worden wären. Ohne das große Loch über der Aufwölbung der Tauern hätten wir keine Kunde von dem Fortstreichen des westalpinen Baues unter den Austriden. Man kann die zerstörten Deckenteile im Geiste nach oben hin ergänzen und die Decken, in ihrer ursprünglichen Ausdehnung wiederhergestellt, neuerdings übereinander aufbauen. Man gelangt damit zu einer Höhe für Anlage des unzerstörten Gebirges von 20 bis 50 km. Auf diese Höhe sind, nach dem Ausspruche von Albert Heim, die Alpen „tektonisch geboren“. Das Steigen und Absinken der Faltenachsen ermöglicht anderseits auch eine Schätzung des Tiefganges des Faltenbaues und lehrt, daß der unterirdisch verborgene Teil des Gebirges noch eine Mächtigkeit von 20 bis 50 km besitzen mag. Die Faltung erlischt wahrscheinlich erst in etwa 100 km Tiefe. Zu einem so mächtigen Knäuel ist hier der äußere geschichtete Teil der Erdrinde zusammengepreßt.

Wahrhaft erstaunlich ist die ungeheure Leistung der im stillen wirkenden Kräfte der Verwitterung. Aber noch erstaunlicher ist die Tatsache, daß diese Zerstörungen in verschiedenen Teilen der Alpen ein sehr ungleiches Ausmaß erreicht haben. Das helvetische Deckengebirge von Glarus wurde um 1 bis 6 km, die penninischen Decken in Wallis um 15 bis 18 km und in der Splügenzone, wo sie unter die ostalpinen Decken hinabsinken, um 25 bis 28 km und in Teilen des „Firstgewölbes“ nahe an der Wurzelzone sogar um 40 km erniedrigt. Nur ein niedriger Sockel, nur etwa  $\frac{1}{8}$  bis  $\frac{1}{10}$  der Höhe unter dem höchsten Firste des hypothetischen Baues ist erhalten geblieben. Die Gleichmäßigkeit des Abtrages kommt am auffälligsten zur Geltung in der Einstellung der Gipfel auf annähernd gleiche Höhen über große Teile des Gebirges hin. Hat man emporsteigend einen beherrschenden Aussichtspunkt erreicht, so entschwindet dem Blick die vielfältige Gliederung der Täler und Hänge und der einzelnen Berggestalten. Man überblickt ein anscheinend einförmiges Gewoge von Gipfeln mit ausgeglichenen Kammhöhen; sie verbinden sich zu einer annähernd ebenen Fläche; nur seltene Ausnahmen ragen darüber hinaus. Es ist die „Gipfelflur“ nach dem von A. Penck geschaffenen Ausdrucke. Sie ist selbst ein Werk der Verwitterung.

Verschiedene Einflüsse bestimmen das Zeitmaß, in dem ein einzelner Gipfel erniedrigt wird. Ihre gleichmäßige vereinigte Wirkung erzeugt die Gipfelflur. Gerade ihre Unregelmäßigkeiten bieten Anhaltspunkte zur Abschätzung der

verschiedenen Einflüsse und ihrer Wirkungsweise. So ist die Schnelligkeit der Abtragung eines Gebirges abhängig von Größe des Gefälles der Flüsse und damit von der relativen Höhe ihrer Erosionsbasis. Diese liegt am Nordfuße der Alpen im allgemeinen zwischen 300 bis 400m, an ihrem Südrande in 150 bis 300m; daher ist die Südabdachung steiler und die höchsten Gipfel stehen nahe an ihrem Rande. Die Gipfelhöhe steigt ferner mit dem Ansteigen der Talböden gegen das Innere des Gebirges; sie ist zugleich abhängig von der Dichte des Talnetzes und von der Neigung der Gehänge und diese stehen wieder in Beziehung zu den Niederschlagsmengen und zur Durchlässigkeit der Gesteine u. a.

Die allgemeine Gleichförmigkeit der Bedingungen hat eine recht gleichförmig abgestufte Gipfelflur über das Gebiet der Alpen hin geschaffen. Aber diese Abstufungen haben keine Beziehung zum inneren Bau. „Die Gipfelflur besteht dem inneren Bau zum Trotz, sie hat denselben überwunden“ (A. Heim).

Man darf nicht annehmen, daß jemals das ganze Deckengebäude aufragend bis etwa 50km bestanden habe. Schon im ersten Beginne der Gebirgsbildung ist die Verwitterung wirksam gewesen. Die rascher ansteigenden Teile des Gebirges wurden auch rascher zerstört und damit der Ausgleich der Gipfelhöhen befördert. Heim vermutet, daß die Gipfelflur der beharrlichste Zug in der Gestalt der Alpen während ihrer langen Entwicklungsgeschichte geblieben ist.

Der uralte Bodensatz vieler schwankender und wechselnder Meere wird durch den langsamen Vorschub der starren afrikanischen Scholle zu einem dicken Wulste zusammengestaut, der unter dem Drucke der eigenen Masse wie zähes Pech in schmale Decken zerfließt. Das sind die Alpen.

Von der durch ungezählte Jahrmillionen unaufhörlich ihn sanft bestreichenden und ihn benetzenden Luft wird der emporquellende Wulst beständig angeätzt und abgespült. Den durch die Ätzung erzeugten Rauigkeiten vergleichbar ist die durch Wasser und Eis geschaffene Gestaltenfülle des Gebirges; für unser Menschenmaß immer noch groß genug, um uns mit bewunderndem Entzücken zu erfüllen.