

Korallenriffe
und
Tiefseeablagerungen
in den Alpen.

Von

Dr. Franz Wähner,
Privat-Dozent an der Wiener Universität.

Vortrag, gehalten den 27. Jänner 1892.

(Mit Projectionen.)

Mit einer Tafel und einer Abbildung im Texte.

Indem ich die Ehre habe, das erstemal vor Ihnen, hochverehrte Anwesende, über ein alpin-geologisches Thema zu sprechen, befinde ich mich insofern in einer angenehmen Lage, als ich mit einiger Sicherheit auf Ihre freundliche Antheilnahme an meinem Gegenstande rechnen zu dürfen glaube. In einem Kreise, welcher gewöhnt ist, auch schwierige theoretische Fragen erörtert zu hören, dürfte es der Sache des Vortragenden nicht zum Nachtheile gereichen, wenn er es unternimmt, über einen Gegenstand zu sprechen, der — wenigstens ohne wissenschaftliche Behandlung — der allgemeinen Theilnahme gewiss sein kann. Die meisten von Ihnen, meine Damen und Herren, pflegen freilich die herrlichen Gestalten unserer Hochgebirgswelt mit anderen Augen und von anderem Gesichtspunkte zu betrachten als der Geologe; Sie freuen sich der lebendigen Gegenwart und denken kaum an das Entstehen und Vergehen jener Formen, die stets von neuem Ihren Blick fesseln. Daher bin ich, indem ich mich Ihnen zum Führer bei einer etwas ungewöhnlichen Bergfahrt anbiete, genöthigt, doch einigermaßen auf Ihr Vertrauen zu zählen; denn ich muss Sie Ihrem gewohnten

Gedankenkreise entführen, wenn ich einen Weg zu finden suche von den lichtumflossenen Höhen, welche mit zu den höchsten Theilen des Festlandes gehören, von unseren Kalkalpen zu ihrer uralten Heimat, dem Weltmeere und seinem reichen organischen Leben, zu jenen Meerestiefen, in welche kein Strahl der Sonne zu dringen vermag, und in deren für unser Auge unergründliche Nacht wir dennoch mit der Leuchte der Erkenntnis vorgedrungen sind.

Es ist noch nicht gar viele Jahrzehnte her, als man die Alpen geologisch zu untersuchen begann und rathlos vor den gewaltigen Massen von hellen, vielfach versteinungsleeren Kalken und Dolomiten stand, welche einen der wesentlichen landschaftlichen und geologischen Züge der Alpen darstellen. Gar mancher, welcher heute in die Geheimnisse der Alpengeologie einzudringen sucht und sich durch die verwirrende Fülle von alpinen Schichtenbezeichnungen hindurchzuarbeiten bemüht ist, mag mit einem gewissen Neide an jene patriarchalisch-gemüthliche Zeit denken, da man sich mit einem Namen über viele Räthsel hinwegzusetzen verstand, mit dem Namen Alpenkalk. Und doch liegt in dieser Bezeichnung die damals schon erkannte wichtige Thatsache, dass die Gesteine des mesozoischen Zeitalters, welche die im Norden und Süden der altkrystallinischen Centralzone sich erstreckenden Kalkzonen fast ausschließlich aufbauen, zumeist ganz anders entwickelt sind als die gleichaltrigen Gesteine, welche man in den außeralpinen

Gebieten Mitteleuropas schon früher kennen gelernt hatte.

Der angedeutete Gegensatz tritt besonders auffallend hervor bei den Gesteinen des ältesten der drei großen mesozoischen Zeitabschnitte, bei der Triasformation, und da die Kalkzonen der Ostalpen überwiegend aus Triasgesteinen zusammengesetzt sind, so ist es billig, dass wir uns zunächst mit diesen beschäftigen. Die Trias führt ihren Namen von der Dreitheilung, welche in dem im Norden der Alpen gelegenen deutschen Gebiete in den hiergerechneten Gebilden erkennbar ist. Buntsandstein, Muschelkalk, Keuper, das sind von unten nach oben die Schichtengruppen, welche die deutschen Geologen seit alter Zeit in dieser Formation unterschieden. Nur die mittlere Abtheilung, der Muschelkalk, ist eine echt marine Bildung, wogegen die beiden anderen Schichtengruppen Ablagerungen eines abgeschlossenen Binnenmeeres darstellen; ganz untergeordnet finden sich in den letzteren schwache Einschaltungen von Gesteinen mit marinen Conchylien, welche darauf hinweisen, dass zeitweilig die Verbindung mit dem offenen Meere hergestellt war. Nach oben schließt der Keuper mit der geringmächtigen marinen „rhätischen Stufe“ ab, dem Übergange zu den Meeresbildungen der darauffolgenden Jurazeit. Noch weiter von dem Typus einer Meeresablagerung entfernt sich die „Trias“ in anderen Gegenden, wie in England, wo dieselbe aus einem Wechsel von Sandsteinen und Mergeln besteht, in welchen von

der in Deutschland ziemlich mächtig entwickelten marinen Einschaltung des Muschelkalkes keine Spur vorhanden ist.

Wenden wir uns wieder den Alpen, und zwar den Ostalpen zu, so sehen wir den erwähnten Gegensatz noch nicht ausgebildet in der unteren Trias, wo wir in den sandigen Werfener Schiefern, welche häufig die sanften grünen Gehänge am Fuße der kühn emporstrebenden Felsmauern bilden, ein dem außeralpinen Buntsandstein sehr ähnliches Gebilde besitzen. Wir wollen auch nicht vom alpinen Muschelkalk sprechen, in dem sich bereits tiefgehende Verschiedenheiten einstellen, sondern sogleich zu der überaus mächtigen Reihe von Ablagerungen übergehen, welche man als obere alpine Trias zusammenzufassen pflegt, wobei es keineswegs festgestellt ist, ob deren untere Grenze der unteren Grenze des außeralpinen Keupers entspricht. Während im deutschen Keuper mit seiner Folge von Sandsteinen und Mergeln schon die petrographische Beschaffenheit der Ablagerungen und in Verbindung damit das häufige Vorkommen von Landpflanzen und ein unbedeutendes, aber ausgedehntes Kohlenflötz auf die Nähe des festen Landes hinweisen, begegnen wir in der oberen Trias der Ostalpen vorwiegend marinen Kalken und Dolomiten, welche durch ihre Neigung zur Bildung schroffer Wände hervortreten und oft ausschließlich in staunenswerter Mächtigkeit Bergmassen zusammensetzen, von denen viele durch ihre landschaftliche Schönheit berühmt sind.

Eine kleine Einschaltung dürfte hier, da wir von Kalk und Dolomit öfter zu sprechen haben, am Platze sein. Die beiden Gesteine sind einander in ihrer äußeren Erscheinung sehr ähnlich und unterscheiden sich hauptsächlich durch ihre chemische Zusammensetzung. Der Kalkstein ist wesentlich kohlensaurer Kalk, der Dolomit eine Verbindung von kohlensaurem Kalk und kohlensaurer Magnesia. Diese Stoffe sind aber nicht immer in dem bestimmten gesetzmäßigen Gewichtsverhältnisse im Dolomit enthalten, sondern es gibt alle möglichen Übergangsglieder von Gesteinen mit geringerem Magnesiagehalte durch dolomitischen Kalk zu gewöhnlichem Kalk.

Der eigenartige landschaftliche Zug unserer Kalkalpen, welcher jedem aufmerksamen Alpenwanderer bekannt ist und auch aus Photographien häufig so gut hervortritt, dass wir daraus mit Sicherheit auf die Kalk- (oder Dolomit-) Natur des Gebirges schliessen können, dieser Zug ist am deutlichsten ausgeprägt bei sehr reinen (thonarmen) Kalken und Dolomiten, welche durch helle Färbung und dadurch ausgezeichnet sind, dass sie entweder massig ausgebildet sind, d. h. in ungeschichteten oder undeutlich geschichteten Massen auftreten, oder dass sie in zwar regelmäßig parallelförmig begrenzte, aber ziemlich mächtige (einige Meter dicke) Schichten oder Bänke gegliedert sind. Auf derartige Kalke ist schon früh die Bezeichnung „pelagisch“ angewandt worden (πέλαγος, das hohe Meer), mit Rücksicht auf den Umstand, dass Stoffe, welche vom festen Lande

stammen und von Flüssen ins Meer getragen werden, an ihrer Zusammensetzung nicht theilnehmen. In diesem allgemeinen Sinne können wir jene Gesteine auch heute als pelagische Ablagerungen bezeichnen, aber wir müssen uns hüten, dieselben als den Typus hochmariner Sedimente, als Tiefseeablagerungen zu betrachten. Es kann vielmehr keinem ernstlichen Zweifel mehr unterliegen, dass wir in solchen Kalk- und Dolomitbergen theils die Reste ehemaliger Korallenriffe vor uns haben, theils Ablagerungen, welche, aus denselben Stoffen wie diese zusammengesetzt, in innigstem Zusammenhange mit den Riffen gebildet wurden.

F. v. Richthofen hat zuerst in seinem im Jahre 1860 erschienenen geologischen Werke über Südost-Tirol¹⁾ die Ansicht aufgestellt, dass die berühmten Dolomitberge jener Gegend ehemalige Korallenriffe seien. Ungeachtet mancher Schwächen, welche diese Theorie damals noch aufwies, und mehrfacher Einwendungen,²⁾ die dagegen erhoben wurden, hat sie sich zu behaupten gewusst und eine sehr eingehende Begründung durch E. v. Mojsisovics erfahren, welcher den Dolomitriffen von Südtirol und Venetien ein eigenes Buch gewidmet hat.³⁾

Die auffallendste und bezeichnendste geologische Eigenthümlichkeit dieser Dolomitberge, zu welchen der Schlern und Rosengarten bei Bozen, der Langkofel, Plattkofel u. s. w. gehören, besteht darin, dass die zu meist ungeschichteten Dolomitmassen an der einen

Stelle von den unterlagernden älteren Schichten bis zu den überlagernden jüngeren Gebilden eine sehr bedeutende Mächtigkeit (bis zu 1000 *m*) aufweisen, wogegen diese Mächtigkeit an anderen nahe gelegenen Stellen weit geringer ist und oft nach einer Richtung äußerst rasch abnimmt, so dass die Dolomitmasse „auskeilt“, und die gleichzeitig mit dem Dolomit entstandenen dünngeschichteten Mergelbildungen und vulcanischen Gesteine der Wengener Schichten oder die höheren Cassianer Mergelkalke an ihre Stelle treten. Diese Gesteine bilden infolge ihrer weicheren Beschaffenheit und leichteren Verwitterbarkeit gerundete Bergrücken und wellige Hochflächen, welche mit grünen Matten und dunklem Nadelholz bedeckt sind, und auf dem großen landschaftlichen Gegensatze, in welchem dazu die hoch emporragenden, hellen, dolomitischen Felsenberge stehen, sowie auf der dadurch hervorgerufenen reichen Gliederung beruht wesentlich die eigenartige Schönheit und der Ruf, in welchem jene Gegenden heute — man kann sagen — bei den gebildeten Völkern der Erde stehen. Nahe der alten Völkerstraße des Eisack- und Etschthales gelegen, auf welcher so oft germanische Scharen über den Brenner her nach dem Süden zogen, konnten die senkrechten Wände und wilden Felszacken, welche im Sonnenglanze zu den abenteuernden Heerhaufen herüberleuchteten, auch ihre Wirkung auf die Phantasie jener alten Reisenden nicht verfehlen. Ich brauche nur König Laurins Rosengarten zu nennen,

um an die Rolle, welche dieser merkwürdige Theil der Alpen in der deutschen Heldensage spielt, zu erinnern.

Wir sehen also an einzelnen Stellen gewaltige Massen von sehr reinem marinen Sediment (Dolomit, mehr oder minder dolomitischen Kalk oder reinen Kalk) angehäuft, welche aus den gleichzeitig mit ihnen in ihrer Umgebung abgelagerten dünngeschichteten thonreichen Sedimenten oder den durch untermeerische vulcanische Ausbrüche geförderten Gesteinen schon zur Zeit ihrer Bildung emporragten, wie sich aus den Lagerungsverhältnissen ergibt. Es muss aber sogleich bemerkt werden, dass die steilen Wände, welche heute jene Bergmassen begrenzen, keineswegs eine ursprüngliche Erscheinung, sondern ein Werk einer vergleichsweise sehr jungen geologischen Zeit sind. Erst lange nach der Sedimentbildung, als die Aufrichtung des Gebirges so weit vorgeschritten war, dass es über den Meeresspiegel emporragte, begannen die Kräfte zu wirken, welche wir noch heute bei der Zerstörung, bei der Abtragung des Gebirges an der Arbeit finden; den mechanischen Wirkungen des Wassers verdanken die Dolomitberge in letzter Linie ihre jetzige äußere Begrenzung. Nur ausnahmsweise ist die ursprüngliche Außenseite der Masse, an welcher sie mit den Sedimenten der größeren Meerestiefen in Berührung kam, der Beobachtung zugänglich.

Wenn wir die Vorgänge der Sedimentbildung in den heutigen Meeren überblicken, so kennen wir nur einen, bei welchem wir ähnliche räumliche Verhält-

nisse und die Beziehungen zu den anders gearteten Sedimenten der Umgebung wiederfinden, den Vorgang der Korallenriffbildung. Aus dem ebenen Meeresboden der Umgebung und aus tieferem Wasser erhebt sich das Riff inselartig bis nahe an die Meeresoberfläche. „Ein Korallenriff ist ein isolirtes, über den Meeresboden sich erhebendes Kalklager, wesentlich gebildet durch ästige Korallen, welche den Detritussand auffangen und verhindern, dass er sich über den Meeresboden gleichmäßig ausbreite.“ In diesem Satze gibt J. Walther in einer jüngst erschienenen Arbeit die Definition eines Korallenriffes, und in der That scheint damit das Wesen der Riffbildung richtig erfasst zu sein.⁴⁾

Die Riffe der Jetztzeit sind keineswegs nur aus den gut erhaltenen kalkigen Gerüsten der Korallencolonien zusammengesetzt. Neben den lebenden Korallenstöcken theilhaftig an dem Aufbaue des Riffes in hervorragendem Maße der organische Kalksand, welcher aus den Harttheilen der außerordentlich reichen und mannigfaltigen Thierwelt entsteht, die das Riff bevölkert. Außer vielen Gattungen von Weichtieren, wie von Muscheln, finden hier Foraminiferen, Spongien, Echinodermen, Bryozoen, Brachiopoden, Krebse, Fische u. s. w. ihre Nahrung. Es gibt Fische und zahlreiche Holothurien, welche nur vom Abweiden der Korallenthier leben und dabei die Äste der Korallenstöcke zu Sand und feinem Schlamm zermalmen, und zahllose Krebse leben von den Leichen der

früher genannten Thiere, wobei sie die Schalen derselben mit ihren kräftigen Zangen zertrümmern. Ein großer Theil des auf diese Weise entstehenden Kalksandens wird durch die Brandung von der Oberfläche des Riffes hinweggespült und sinkt an der Außenseite zu Boden, wo er sich entweder an dem steilen Abhänge nach Art eines Schuttkegels in schon ursprünglich geneigter Schichtenstellung („Übergusschichtung“) anlagert oder, weiter hinausgetrieben, auch in größerer Entfernung vom Riffe auf dem Meeresboden zur Sedimentbildung beiträgt. Ein anderer Theil jedoch verbleibt auf dem Riffe und fördert das Wachstum desselben sehr erheblich, was dadurch ermöglicht wird, dass die Mehrzahl der Riffkorallen aus ästigen, vielverzweigten Stöcken besteht, in deren Zwischenräumen der Sand liegen bleibt. Da die ästigen Korallen überdies viel rascher wachsen als die massigen, so können sie mit Recht als die besten Riffbildner bezeichnet werden.

Die abgestorbenen Theile der Korallenstöcke erfahren sehr rasch stoffliche Veränderungen, so dass oft schon nach kurzer Zeit ihre organische Structur nicht mehr erkennbar ist. Die Brandung bricht fortwährend von der lebenden Außenseite Stücke und selbst größere Blöcke ab und wirft sie auf die Oberfläche des Riffes. Diese Trümmer bilden zusammen mit dem feineren Sand mit der Zeit einen festen Kalk, den sogenannten Riffstein, in welchem ebenfalls in der Regel kein organisches Gefüge zu beobachten ist. Auf

diese Weise bilden sich Koralleninseln, welche, wenn nicht andere Erscheinungen hinzutreten, nur so hoch über den Meeresspiegel und die Oberfläche des eigentlichen Riffes emporragen, als die größten Sturmfluten und weiterhin der Wind den Kalksand emporzutragen vermögen.

Auch das Pflanzenleben betheilt sich sehr häufig an dem Aufbaue des Riffes, indem kalkabsondernde Algen (Lithothamnien) in der Regel nahe dem äußersten Rande in großer Menge gedeihen und hier einen niedrigen Wall bilden, welcher zum Schutze des Riffes beiträgt, aber von jeder Flut überspült wird; die Äste der Kalkalgen werden daher ebenfalls zertrümmert und unterliegen demselben Schicksale wie die Gerüste der Korallen und die kalkigen Harttheile anderer Thiere. So mag es geschehen, dass oft nur der kleinste Theil des ganzen Baues aus eigentlichem Korallenfels besteht, während die übrigen Theile auf sehr verschiedene Weise entstanden sein können.⁵⁾

Kehren wir zu den Dolomitriffen der Südalpen zurück, so vermögen wir nun manche Eigenthümlichkeit derselben leichter zu erklären: ihr Emporragen aus den gleichzeitig gebildeten Sedimenten der Umgebung, ihre wechselnde Mächtigkeit, ihr Auskeilen nach jener Richtung, in welcher die anders gearteten Sedimente an ihre Stelle treten. In manchen Fällen ist die Grenze der Dolomitentwicklung gegen die Mergelentwicklung, das ist die ursprüngliche Außenseite

des Riffes, erhalten und der Beobachtung zugänglich. Dann erkennen wir die eigenthümliche „Überguss-schichtung“, welche geneigt und manchmal ziemlich steil geneigt ist, während die ganze Dolomitmasse horizontal oder doch sehr flach auf den unterlagernden Schichten aufruht. Diese Überguss-schichtung entspricht also der ursprünglichen Böschungsfläche des Riffes gegen das tiefere Meer. Zwischen die Überguss-schichten greifen an manchen Stellen die Wengener Schichten oder die höheren Cassianer Schichten ein, wodurch sich nachweisen lässt, dass die Hauptmasse des Dolomites gleichzeitig mit den Wengener Schichten, der davon untrennbare obere Theil desselben gleichzeitig mit den Cassianer Schichten gebildet wurde. Auch der Umstand, dass die sonst gleichmäßig ausgebildete Dolomitmasse an der Außenseite des Riffes häufig in ein Haufwerk von Blöcken übergeht, die „Blockstruc-tur“ des Dolomites, muthet uns jetzt nicht fremd-artig an.

Die Seltenheit von Versteinerungen im Dolomit erklärt sich aus der vielfältigen Zerstörung der organi-schen Structur, welche schon bei lebenden Riffen zu beobachten ist, und sie ist um so erklärlicher, wenn man erfährt, dass der Dolomit alle Kennzeichen eines umgewandelten, eines stark veränderten Gesteines an sich trägt. So sind von den Versteinerungen niemals die Schalen, sondern nur deren Hohldrücke erhalten. Übrigens gehören gerade Korallen noch zu den häufig-sten organischen Resten im Dolomit, sie finden sich an

manchen Stellen sogar in ziemlich bedeutender Menge. Wenn Ausläufer des Riffes in die Wengener oder in die Cassianer Schichten eingreifen, so geschieht dies größtentheils in Form von aus Blöcken bestehenden Kalken („Cipitkalke“), welche eine große Zahl von Versteinerungen, namentlich gut erhaltene große Korallenstöcke enthalten.

Der Dolomit der Südalpen, von welchem wir bisher gesprochen, wird nach seinem bekanntesten Vorkommen in der Regel als Schlerndolomit bezeichnet. Derselbe wird nach oben bedeckt von den „Schlern-plateau-Schichten“, welche den Raibler Schichten entsprechen und auch als solche bezeichnet werden, er ist also älter als diese.

In den Nordalpen kennen wir wahre Korallenkalke, welche über den Raibler Schichten (Cardita-Schichten) liegen, also jünger sind als diese, aber ebenfalls der oberen Trias angehören. Es sind dies die Salzburger Hochgebirgs-Korallenkalke, welche in einem zusammenhängenden Zuge und in einer Mächtigkeit von oft weit über 1000 *m* die südlichen Theile dieser bekannten Kalkstöcke, wie des Hochkönig, des Hagengebirges, des Tännengebirges, des Dachsteingebirges u. s. w., zusammensetzen. Diese massig ausgebildeten Korallenkalke entstanden zu derselben Zeit, als sich in anderen ausgedehnten Gebieten der Ostalpen der sehr mächtige, regelmäßig geschichtete „Hauptdolomit“ ablagerte, und werden daher auch als die Korallenriff-Facies des Hauptdolomites bezeichnet.

net. In den genannten Gebirgsstöcken gehen die Korallenkalke nach Norden allmählich in die regelmäßig geschichteten eigentlichen „Dachsteinkalke“ über, unter welchen sich viele mächtige Bänke befinden, die ebenfalls aus Korallenkalk bestehen. Diese Gesteine sind stellenweise durch das massenhafte Vorkommen der bekannten „Dachsteinbivalven“ ausgezeichnet, der großen „Herzmuscheln“ oder „Kuhtritte“, welche als Auswitterungen auf den Felsplatten hervortreten, Reste von riesigen Muscheln, die zweifellos Riffbewohner waren. Stellen die in den prachtvollen Südwänden jener Gebirge aufgeschlossenen massigen Kalke ehemalige Korallenriffe dar, so haben wir in den regelmäßig gebankten Dachsteinkalken der nördlich anschließenden Gebiete wahrscheinlich Ablagerungen vor uns, welche zum Theile in tieferem Wasser in der Umgebung der Riffe entstanden sind.

An der Zusammensetzung vieler lichten Triaskalke und -Dolomite der Ostalpen, so an jener des „Wettersteinkalkes“ und „Wettersteindolomites“ der Nordalpen sind Kalkalgen, die sogenannten Dactyloporen, hervorragend betheilt. Darin liegt kein Widerspruch zu der Auffassung, welche ganz ähnliche Kalke und Dolomite als Korallenriffbildungen betrachtet. Korallen und Kalkalgen erzeugen Kalke, welche einander äußerlich so ähnlich sind, dass sie, wenn nicht deutliche organische Reste vorliegen, nicht zu unterscheiden sind. Es kann daher eine und dieselbe ungeschichtete Kalk- oder Dolomitmasse der Haupt-

sache nach aus Korallen aufgebaut sein, und gewisse Theile derselben mögen doch ihre Bildung Kalkalgen verdanken. Ebenso können in mächtigen Folgen von geschichteten Kalken und Dolomiten ganze Bänke nur aus den sehr erhaltungsfähigen Resten von Dactyloporen aufgebaut sein, und doch mag ein großer Theil der übrigen Bänke hauptsächlich aus Korallensediment entstanden sein.

Gegenüber den gewaltigen Riffbauten der alpinen Trias sind die Korallenriffe der nächst jüngeren, der Juraformation, in den Alpen von keiner großen Bedeutung. Dagegen kennen wir in den Alpen noch aus weit älterer Zeit, aus dem paläozoischen Zeitalter, ungeheuer mächtige Riffe; es sind dies die Riffe der Devonformation, welche in den Karnischen Alpen, in den Karawanken und in der Gegend von Graz erhalten blieben. Aus den Karnischen Alpen beschreibt Frech Riffe, deren Mächtigkeit noch jetzt 1000—1200 *m* beträgt.⁶⁾

Außer den Korallenriffbildungen gibt es in der alpinen Trias auch Tiefseeablagerungen. Ich gedenke hier nur der Hallstätter Kalke der Nordalpen. Schon durch ihren Reichthum an Cephalopoden, besonders an zahlreichen Arten von vielgestaltigen und reichverzierten Ammoniten, welche gegenüber der kümmerlichen Meeresfauna der außeralpinen Trias eine ganz neue Welt darstellen, bekunden diese Gesteine, dass sie in weit offenem Meere zur Ablagerung gelangt sind.

Es wäre aber ein Irrthum, zu glauben, dass die obere Trias der Ostalpen nur aus Riffbildungen und Tiefseeablagerungen bestehe. Es sind auch Meeresbildungen vorhanden, welche zweifellos in seichtem Wasser in der Nähe der Küste entstanden sind. Thonreiche Kalke und Mergel mit einer überwiegend aus Zweischalern (Muscheln) bestehenden Fauna sind immer Küstenablagerungen. Der Umstand, dass wir derartige Bildungen den vielfach versteinerungsarmen hellen Kalken und Dolomiten zwischengelagert finden, gibt uns ein ausgezeichnetes Mittel zur Altersbestimmung und Gliederung der gewaltigen Massen von Alpenkalken. Gute Beispiele sind die schon erwähnten Raibler Schichten, welche uns ermöglichen, in den Kalken und Dolomiten der oberen Trias zwei große Abtheilungen zu unterscheiden, ferner die Kössener Schichten, welche der obersten, der „rhätischen Stufe“ der alpinen Trias angehören, einer Stufe, mit welcher auch der außeralpine Keuper nach oben abschließt. Solche Schichtengruppen deuten uns Zeiten weniger tiefen Meeres und größerer Küstennähe im Gebiete der heutigen Alpen an.

Bevor wir zu den Meeresbildungen des nächst jüngeren großen Zeitraumes, der Jurazeit, übergehen, empfiehlt es sich, einen Blick zu werfen auf die Vorgänge der Sedimentbildung, wie sie in den heutigen Meeren in größeren Tiefen zu beobachten sind. Durch die Tiefseeuntersuchungen der neueren Zeit, welche in diesem Kreise wiederholt besprochen wurden,⁷⁾ sind

wir über jene Vorgänge gut unterrichtet, und wir gewinnen daraus sehr wichtige Belehrungen zur Beurtheilung der Ablagerungen älterer geologischer Zeitabschnitte.

Unter den Tiefseeablagerungen kann man hauptsächlich zwei große Gruppen unterscheiden, eine, an deren Bildung Stoffe theilnehmen, welche vom Festlande stammen (Sand, Schlamm), die terrigenen Sedimente, welche in der Nähe der Küste abgesetzt werden, und eine Gruppe von Ablagerungen, in welchen derartige Bestandtheile nicht vorkommen, welche in küstenfernen Gebieten sich bilden und darum als pelagische Sedimente bezeichnet werden. Es hat sich gezeigt, dass die Beschaffenheit einer Tiefseeablagerung in erster Linie durch die Entfernung von der Küste und erst in zweiter Linie durch die Meerestiefe bedingt ist. Die vom Festlande stammenden Stoffe, mögen sie von den Flüssen oder von der Brandung geliefert werden, sinken im Meere verhältnismäßig rasch unter. Infolge einer Eigenthümlichkeit des Meerwassers fallen darin selbst die feinsten schwebenden Theilchen, von welchen man glauben sollte, dass sie in erregtem Wasser nie untersinken, sehr schnell (viel schneller als in süßem Wasser) zu Boden. Die terrigenen Tiefseesedimente nehmen zusammen mit den in seichtem Wasser gebildeten Küstenablagerungen ein Gebiet ein, welches sich vom Stande der Flut stellenweise bis zu ganz gewaltigen Tiefen erstreckt, sie beschränken sich aber auf einen verhältnismäßig schma-

len Saum um die Continente und continentalen Inseln, dessen Breite zwischen 15 und 75 geographischen Meilen wechselt.

An der Zusammensetzung der Tiefseesedimente nehmen einen hervorragenden Antheil die zahllosen kalkigen und kieseligen Harttheile von mancherlei Meeresthieren, welche nach dem Tode der Thiere auf den Grund gelangen. Je weiter man sich im Gebiete der terrigenen Sedimente von der Küste entfernt, desto mehr verkleinert sich das Korn der vom Festlande stammenden Gesteinstheilchen, und desto mehr nehmen die organischen Bestandtheile überhand, bis das Sediment in ein rein pelagisches übergeht, welches dann fast ausschließlich aus den kalkigen und kieseligen Resten von Meeresthieren besteht, also eine rein organogene Ablagerung darstellt. Unter den Meeresthieren, deren Reste zur Sedimentbildung beitragen, spielen die größte Rolle — die kleinsten, das ist die niedrigst organisierten Thiere, die sogenannten Urthiere oder Protozoën, und zwar die Foraminiferen mit ihren zumeist kalkigen Gehäusen und die etwas höher organisierten Radiolarien mit ihren aus reiner Kieselsäure bestehenden zarten Gerüsten. Die Foraminiferen, welche so tief stehen, dass ihre Weichtheile noch keine Differenzierung in Organe erkennen lassen, besitzen größtentheils gekammerte Schälchen von sehr mannigfaltigen Formen. Die Harttheile der Radiolarien sind äußerst zierliche Gerüste, aus einzelnen mit einander verbundenen Nadeln bestehend, oder

Kugeln, Glocken und andere Gestalten, welche ein fein durchbrochenes Gitterwerk darstellen; ihr Formreichthum ist ein außerordentlich großer.⁸⁾

Wir wollen nur zwei Typen von pelagischen Tiefseesedimenten wegen des Vergleiches mit alpinen Gesteinen herausgreifen. In den heißen und gemäßigten Zonen der großen Ozeane, welche ungefähr 110 Breitengrade zwischen den beiden polaren Zonen umfassen, bilden sich in Tiefen zwischen 900 und 4400 Meter an Stellen, welche die vom Festlande stammenden Stoffe nicht erreichen, Anhäufungen von Foraminiferenschälchen und anderen winzigen Kalkkörperchen von organischer Herkunft, in welchen die Foraminiferengattung *Globigerina*, deren Schälchen aus kugeligen Kammern bestehen, in so großer Menge vorkommt, dass nach ihr das Sediment den Namen Globigerinenschlamm erhalten hat. Man glaubte früher, dass der Globigerinenschlamm aus den Harttheilen der an der Meeresoberfläche schwimmend lebenden Foraminiferen gebildet wird, es hat sich aber durch die neueren Untersuchungen herausgestellt, dass 98, vielleicht sogar 99 Percent der lebenden Foraminiferenarten Tiefseethiere sind. Nur acht oder neun Gattungen, unter ihnen die Gattung *Globigerina*, leben an der Oberfläche (oder im Zwischenwasser), diese kommen aber in so ungeheuren Massen vor, dass sie den Charakter der Ablagerung, in welcher die Gehäuse der Grundbewohner mit jenen der eigentlich pelagischen Formen gemengt sind, bestimmen.

Obwohl nun die pelagischen Foraminiferen in wärmeren Breiten überall an der Meeresoberfläche in großen Mengen leben und nach ihrem Tode überall untersinken, so kommen sie doch in Tiefen, welche 4400 *m* übersteigen, nicht zur Ablagerung. Es rührt dies daher, weil in diesen großen Tiefen alle Kalkschalen infolge der dort im Meerwasser vorhandenen freien Kohlensäure und wahrscheinlich unter der Einwirkung des ungeheuren Druckes der überlastenden Wassermassen aufgelöst werden. In jenen Tiefen vermögen daher auch keine kalkschaligen Organismen mehr zu leben. In den ganz großen und küstenfernen Meerestiefen kommen also — abgesehen vom rothen Tiefseethon, über dessen Herkunft wir hier nicht sprechen können — fast nur Radiolarien zur Ablagerung. So bilden die Gerüste dieser Thierchen in den centralen Theilen des Stillen Oceans in Tiefen von mehr als 4500 *m* den wesentlichen Bestandtheil des Sedimentes, welches dann Radiolarienschlamm genannt wird. Radiolarien sind in allen Tiefseeablagerungen häufig vertreten, denn viele Formen leben wie die pelagischen Foraminiferen an der Oberfläche des Meeres, und ihre Gerüste sinken daher nach dem Tode der Thiere zu Boden und vermengen sich hier mit jenen der Bewohner größerer Tiefen. In manchen Gebieten nehmen sie einen beträchtlichen Antheil an der Bildung des Globigerinenschlammes. Die reichste Radiolarienfauna lebt aber in den ganz großen Tiefen von mehr als 5500 *m*. Wie groß die Formenmannig-

faltigkeit dieser kleinen Lebewesen ist, mag daraus entnommen werden, dass in dem großen Haeckel'schen Prachtwerke über die von der Challenger-Expedition und anderen neueren Tiefseeuntersuchungen herrührenden Radiolarien über 4300 Arten beschrieben werden, von welchen bei Erscheinen des Werkes mehr als 3500 Arten für die Wissenschaft neu waren.⁹⁾

Wir wenden uns zu den Meeresablagerungen der Jurazeit. Es kann keinem Zweifel unterliegen, dass wir in den außeralpinen Gebieten Mitteleuropas, in welchen die Juraformation auftritt, echte Meeresbildungen vor uns haben, welche zumeist sehr reich an marinen Versteinerungen (kalkigen Resten von Meeresthieren) sind. Aber in so großen Tiefen auch manche Schichte dieser reichgegliederten Formation abgelagert worden sein mag, so ist doch sicher, dass der Absatz der Gesammtheit dieser Schichten in jenem verhältnismäßig schmalen, küstennahen Meeresgebiete erfolgt ist, in welchem in den heutigen Meeren neben den eigentlichen Küstenbildungen die terrigenen Tiefseesedimente zur Ablagerung kommen. Es entspricht nur dem Gegensatze, welchen wir bereits zwischen der außeralpinen und der alpinen Trias kennen gelernt haben, wenn sich herausstellt, dass der marine Charakter des alpinen Jura noch viel schärfer ausgesprochen ist, und dass uns hier in weiter Verbreitung pelagische Tiefseesedimente, sogar solche entgegentreten, welche nur in den allergrößten Tiefen der küsternen Regionen zur Ablagerung gelangt sein können.

Die unterste große Abtheilung des Jura, der Lias, besteht in den Ostalpen in der Regel aus Ammonitenkalken, welche durch den Mangel jedes mechanischen Sedimentes, dessen Herkunft auf die Nähe des Festlandes hinweisen würde, ausgezeichnet sind. Es gibt darunter solche, in welchen sich die wohl erhaltenen Schalen einer außerordentlich reichen Fauna von Ammoniten und anderen Weichthieren finden, und die, wenn man einen Splitter des Gesteines im Dünnschliffe unter dem Mikroskope untersucht, sich im kleinen fast ganz aus vielgestaltigen Foraminiferenschälchen zusammengesetzt erweisen, also ein vollkommenes Äquivalent des Globigerinenschlammes der heutigen Meere darstellen. Der schöne bunte Salzburger (Adneter) „Marmor“, aus welchen die 24 Monolithe in der Centralhalle unseres Parlamentsgebäudes bestehen, ist ein Beispiel eines solchen alpinen Foraminiferenkalkes der Liaszeit.

Eine noch ausgesprochenere Tiefseebildung sind die im alpinen Jura weit verbreiteten Hornsteine, Kieselmergel und Kieselthone, welche sich unter dem Mikroskope als Anhäufungen von Radiolariengerüsten darstellen, neben welchen kalkige Organismenreste nicht zu bemerken sind. Diese Gesteine sind fossiler Radiolarienschlamm aus den größten Meerestiefen der Jurazeit, und ihnen gegenüber muss jeder Zweifel schwinden, dass uns unter den mesozoischen Gesteinen der Alpen Tiefseebildungen entgegentreten.

Man könnte vielleicht den Einwand erheben, es

könne sich in älteren Zeiträumen Radiolarienschlamm in geringeren Tiefen abgesetzt haben, und es könne ja auch gegenwärtig einmal Radiolarienschlamm in geringeren Meerestiefen gefunden werden. Es lässt sich aber ganz bestimmt sagen, dass dies in Bezug auf die Zeiträume, welche hier in Betracht kommen, und unter annähernd ähnlichen physikalischen Verhältnissen unmöglich ist. Allerdings leben Radiolarien in Menge an der Oberfläche des Meeres, und ihre Gerüste können sich daher in den verschiedensten Tiefen absetzen. Wir wissen aber, dass sich diese nur dort in großen Massen anhäufen können, wo weder mechanisches Sediment, noch kalkige organische Reste zur Ablagerung kommen. Wir kennen keine Verhältnisse, unter welchen diese Stoffe in ausgedehnten Gebieten abgehalten werden, sich am Meeresgrunde abzusetzen, als große Entfernung von den Küsten einerseits und die größten Meerestiefen andererseits. Die Foraminiferen z. B., diese wichtigen Kalkbildner, welche an der Meeresoberfläche in großen Mengen vorkommen, haben auch während der Jurazeit in reicher Entwicklung gelebt, und es wäre nicht einzusehen, welcher Vorgang die Foraminiferenschälchen hätte verhindern sollen, sich zugleich mit den Radiolariengerüsten auf dem Meeresgrunde anzuhäufen, wenn nicht die in den großen Tiefen stattfindende Auflösung der Kalkschalen.

Man hat den alpinen Jura als lückenhaft bezeichnet, weil man für eine große Zahl von Unterabtheilungen, welche man im außeralpinen Jura unter-

scheiden konnte, die entsprechenden versteinерungs-führenden Gebilde in den Alpen nicht vorfand. Es zeigt sich nun, was diesen Mangel an kalkschaligen Versteinерungen verursacht. Das Meer hatte sich während langer Zeitabschnitte keineswegs aus dem alpinen Gebiete zurückgezogen, sondern das letztere war damals im Gegentheile von einem außerordentlich tiefen Meere überflutet, von dessen reichen Faunen nur die mikroskopisch kleinen Kieselgerüste der Radiolarien erhalten blieben.

Es ist sehr wichtig, dass die Tiefseeablagerungen der Jurazeit in den Alpen nicht etwa regellos vertheilt sind und abwechselnd mit Sedimenten geringerer Tiefen vorkommen, sondern dass diese Formation durch die weit überwiegende Ausdehnung der Ostalpen aus Tiefseebildungen besteht. Ebenso finden sich in der verticalen Aufeinanderfolge der Schichten nirgends Bildungen küstennaher Meerestheile den pelagischen Tiefseesedimenten eingeschaltet. Es ist vielmehr von großer Bedeutung, dass von der obersten (rhätischen) Stufe der Trias an über den Küstenablagerungen der Kösener Schichten während eines langen Zeitraumes ganz gesetzmäßig Bildungen aus immer größeren Meerestiefen aufeinanderfolgen. Über den Cephalopodenkalken des untersten Lias mit den wohlerhaltenen Schalen einer reichen Meeresfauna, Sedimenten, welche dem Globigerinenschlamme der heutigen Meere entsprechen, folgen die rothen Knollenkalke der Adnetter Schichten, in welchen die Kalkschalen der Ammoniten größten-

theils aufgelöst sind, so dass diese Versteinerungen nur als schlecht erhaltene und oft ganz unkenntlich gewordene Steinkerne vorkommen. Wir sehen in dieser Erscheinung das Anzeichen, dass zur Zeit der Ablagerung dieser Knollenkalkes das Meer so tief geworden war, dass sich die auflösenden Wirkungen auf die Kalkschalen einzustellen begannen, wie in den heutigen Meeren in den Grenzgebieten des Globigerinenschlammes und der Sedimente der ganz großen Tiefen. Auf die Adneter Schichten, welche an vielen Stellen den ganzen Lias vertreten, folgt der mittlere Jura mit den früher erwähnten Radiolariengesteinen, welche in noch viel größeren Meerestiefen zur Ablagerung gelangt sind, und erst in der obersten Stufe des Jura stellen sich wieder Ablagerungen aus etwas geringeren Tiefen ein, welche den alpinen Liassgesteinen gleichen.

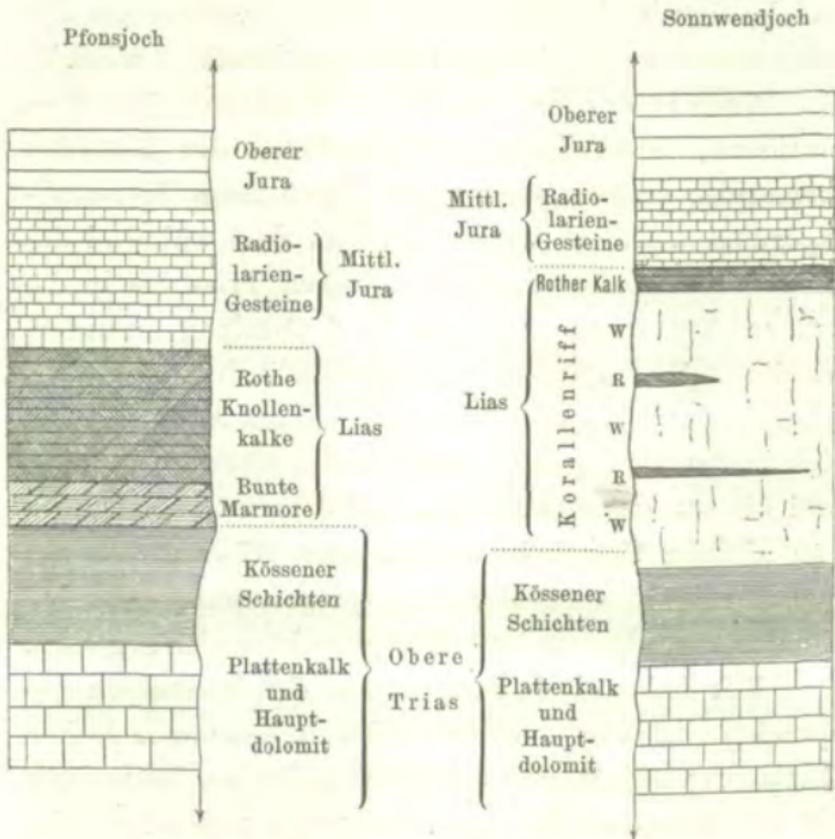
An manchen Stellen, wie im Gebirgsstocke des Vorderen Sonnwendjoches in Nordtirol, folgen über den Kössener Schichten nicht die Cephalopodenkalke des Lias, sondern weiße, theils massige, theils in mächtige Bänke gegliederte Korallenkalkes, deren Gesamtmächtigkeit zwar weit hinter jener der Korallenriffe der Triasformation zurückbleibt, aber immerhin einige hundert Meter erreicht. Eine Reihe von Structurercheinungen, welche wir in den Dolomitgebieten Südtirols kennen gelernt haben, finden wir bei den viel jüngeren Korallenbauten des Sonnwendgebirges wieder, so das Auskeilen der hellen Kalkmassen nach jener Richtung, in welcher sie in die gleichzeitig gebildeten

Sedimente größerer Meerestiefen übergehen, Überguss-schichtung an der Außenseite des Riffes und Wechsellagerung mit den Sedimenten der größeren Tiefen (insbesondere an den auskeilenden Enden der Riffmassen). Es ergibt sich daraus die Berechtigung, solche Strukturformen überhaupt als bezeichnend für die Korallenriffnatur von Kalk- und Dolomitmassen zu betrachten.

Die Ablagerungen größerer Tiefen, mit denen die weißen Riffkalke hier wechsellagern, und in welche sie seitlich übergehen, sind rothe Foraminiferenkalke der Liaszeit, welche wahrscheinlich in geringeren Tiefen abgelagert wurden als gewisse rothe Cephalopodenkalke und insbesondere als die rothen Adneter Knollenkalke, welche wir in den benachbarten Gebieten allenthalben im Lias antreffen. Nach oben werden die weißen Riffkalke ebenfalls von rothen Foraminiferenkalken bedeckt, und über diesen folgen dann die Hornsteine, Kieselmergel und Kieselthone des mittleren Jura, von welchen wir schon gehört haben, dass sie dem Radiolarienschlamm der heutigen großen Meerestiefen entsprechen. (Vgl. das Panorama.)

Wir sehen also hier in der Liaszeit an der einen Stelle Korallenbauten entstehen, während in der Nachbarschaft und in einem weit ausgedehnten Gebiete der heutigen Alpen Bildungen immer größerer Meerestiefen zur Ablagerung kamen, und wir sehen weiter, dass diese Korallenriffe nicht mehr weiterbauen konnten, als die Tiefe noch größer wurde, bis endlich nur mehr Radio-

larienschlamm den Meeresgrund bedeckte. (Vgl. die folgenden Profile.) Die Veränderungen des Meeresspiegels, welche wir hier erschließen können, sind



W = Weißer Riffkalk, R = Rother Foraminiferenkalk.

keine lokalen Erscheinungen, sondern durch den größten Theil des Gebietes der Ostalpen zu verfolgen, sie können daher nicht als Wirkungen örtlich begrenzter Vorgänge aufgefasst werden, wie es etwa Senkungen von Strecken

des Festlandes oder Meeresgrundes sind, es ist vielmehr am natürlichsten anzunehmen, dass wir es hier mit einem allgemeinen Ansteigen des Meeresspiegels während der Jurazeit zu thun haben, eine Annahme, welche durch eine große Reihe von Erfahrungen, die uns aus anderen Gegenden vorliegen, bestätigt wird.¹⁰⁾

Auch in der jüngsten der drei mesozoischen Formationen, in der unteren Abtheilung der Kreideformation, treffen wir in den Alpen noch Tiefseeablagerungen. Es ist wahrscheinlich, dass während des ganzen Zeitraumes von der unteren Trias bis in die untere Kreide im Gebiete der Ostalpen ununterbrochene Meeresbedeckung geherrscht hat. Erst die sogenannten Gosaubildungen der oberen Kreide finden sich in den Ostalpen in Buchten des älteren Gebirges, und die zu diesen Bildungen gehörigen Conglomerate von alpinen Gesteinen zeigen, dass Küstenflüsse aus den bereits über den Meeresspiegel emporragenden Theilen der Alpen in jene Meeresbuchten sich ergossen.

Wir haben bisher nicht von den Westalpen gesprochen, in deren Gebiete während des mesozoischen Zeitalters vielfach ganz andere Verhältnisse herrschten als in jenem der Ostalpen. So zeigt namentlich das Wenige, was dort von Triasgesteinen bekannt ist, viel mehr Ähnlichkeit mit außeralpinen Triasbildungen als mit den allseitig unter dem Namen der „alpinen“ Trias berühmt gewordenen Ablagerungen der Ostalpen. Auch in der Juraformation der Westalpen treffen wir vielfach große Ähnlichkeit mit der außeralpinen Entwicklungs-

weise, und wir werden uns daher bei den noch folgenden Betrachtungen wie bisher auf das Gebiet der Ostalpen beschränken.

Die Frage liegt nahe: War das alpine Gebiet während der Trias- und Jurazeit in seiner ganzen Breitenausdehnung vom Meere bedeckt, und wo lag die Küste? Der Umstand, dass das alpine Gebiet von einem sehr tiefen Meere überflutet war, während wir in den seichteren außeralpinen mesozoischen Meeren vielfach Anzeichen der Nähe des festen Landes treffen, weist schon darauf hin, dass wir das letztere außerhalb der Alpen zu suchen haben. In der That kennen wir solche geologisch alte Festländer; wir nennen hier nur die „böhmische Masse“, welche während des größeren Theiles des mesozoischen Zeitalters zweifellos trocken lag. Aber vielleicht ragte wenigstens die altkrystallinische Centralzone der Alpen, sei es nun als ein zusammenhängender schmaler Landstreifen, sei es als ein Inselgebirge über das Trias- oder Jurameer empor? Diese Anschauung ist in bejahendem Sinne von Geologen wiederholt vertreten worden.

Die Frage nach der Lage der Küste dürfte sich am leichtesten beantworten lassen, wenn wir eine jener Schichtengruppen ins Auge fassen, die nach der Beschaffenheit der Ablagerungen eine Zeit geringer Meerestiefe und größerer Küstennähe andeuten. Wenn wir einen solchen geologischen Horizont verfolgten und etwa nach einer bestimmten Richtung die Anzeichen, welche die Lage des Festlandes verrathen, sich mehren

sähen, während in entgegengesetzter Richtung die Ablagerungen einen mehr pelagischen Charakter annehmen würden, so wäre die Beantwortung der Frage entschieden näher gerückt.

Solche Ablagerungen sind die schon öfter genannten Raibler Schichten der oberen Trias. In den niederösterreichischen Voralpen, also in einem dem alten Festlande der böhmischen Masse nahe liegenden Gebiete, treffen wir die den Raibler Schichten gleichaltrigen Lunzer Schichten, das sind vorwiegend Sandsteine und Schieferthone mit Kohlenflötzen und Landpflanzen, eine Bildung, welche auffallend an die Lettenkohlengruppe des deutschen Keupers erinnert, wengleich sich nicht nachweisen lässt, dass beide genau in dem gleichen geologischen Zeitabschnitte entstanden sind. Es zeigt sich nun sehr deutlich, dass die Sandsteine der Lunzer Schichten gegen das Innere der Alpen zu an Mächtigkeit abnehmen, und dass gleichzeitig der marine Charakter der Ablagerungen stärker hervortritt. In dem im Süden der „Voralpen“ gelegenen eigentlichen Kalkhochgebirge ist der Horizont der Lunzer Schichten trotz der viel geringeren Mächtigkeit an vielen Stellen nachweisbar und bildet so einen guten Anhaltspunkt zur Unterscheidung einer älteren und einer jüngeren Kalk- und Dolomitstufe. An manchen Orten aber keilen diese Küstenbildungen vollkommen aus, so dass der Horizont nicht mehr nachweisbar ist und vollständig von pelagischem Riffkalk oder Dolomit vertreten wird. Südlich vom Kalkhoch-

gebirge ist der Horizont der Raibler Schichten wieder vorhanden, aber in der marinen Entwicklung, wie wir sie sonst in den Nordalpen kennen, es finden sich hier keine Sandsteine mehr.¹¹⁾

Für die Fauna der Raibler Schichten können wir in den Alpen zwei Verbreitungsbezirke, einen nördlichen und einen südlichen, unterscheiden, von welchen jeder durch einige häufig vorkommende Arten, die dem anderen Bezirke fehlen, gekennzeichnet ist. In Bezug auf die Frage, welche uns hier beschäftigt, ist es wichtig, dass die Grenze zwischen diesen beiden thiergeographischen Gebieten keineswegs in die Centralzone fällt, sondern dass zu dem nördlichen Bezirke noch ein Theil der südlichen Kalkalpen gehört, nämlich das schmale mesozoische Kalkgebirge, welches nördlich von dem aus älteren Gesteinen bestehenden Zuge der Karnischen Alpen und Karawanken gelegen ist. Ob nun die Trennung beider Gebiete durch eine klimatische Scheide, durch eine Meeresströmung oder, wie einige Geologen meinen, durch den eben genannten Zug älterer Gesteine bedingt war, die zur Triaszeit als Inselgebirge über den Meeresspiegel emporgeragt haben mochten, keinesfalls finden wir in der Beschaffenheit oder Verbreitung der Triasablagerungen Ursache, eine ähnliche Rolle für die Centralzone vorauszusetzen.¹²⁾

Von besonderer Bedeutung ist es, dass wir in den niederösterreichischen Voralpen, in demselben Gebiete, in dem in der oberen Trias die Lunzer Sandsteine ent-

wickelt sind, auch im Lias eine sonst für den alpinen Jura ungewohnte Entwicklungsweise treffen, welche auf die Nähe des Festlandes hinweist. Der Lias findet sich hier in der Facies der Grestener Schichten, welche wie die Lunzer Schichten als Sandsteine und Schieferthone mit Kohlenflötzen und Landpflanzen auftreten, und wieder können wir beobachten, wie diese Entwicklungsform gegen das Hochgebirge verschwindet, in welchem sie durch die früher geschilderten pelagischen Tiefseeablagerungen ersetzt wird. Auch im Jura stellt die Centralzone keine Scheide dar, sondern wir finden südlich derselben, in der Gegend von Lienz, den Lias in derselben pelagischen Entwicklung wie in den Nordalpen. Erst noch weiter südlich treffen wir den Lias vielfach in der Facies der „grauen Kalke“, als thonreiche Kalke mit Muscheln, einer Ablagerung, welche auf die Nähe der Küste hinweist. Neumayr sucht diese Erscheinung auf das im Südosten der Alpen gelegene alte „orientalische Festland“ zurückzuführen.¹³⁾

Nach dem Gesagten wird es sehr wahrscheinlich, dass auch das Gebiet der aus altkrystallinischen Gesteinen bestehenden Centralzone, welcher heute die höchsten Käme und Gipfel der Alpen angehören, während der Trias- und Jurazeit von tiefem Meere überflutet war. Übrigens sind in den Centralalpen mesozoische Bildungen erhalten geblieben, so in den im Nordwesten des Brenner gelegenen Stubaiier Alpen, welche grossentheils aus Triaskalken bestehen. Hier liegt auf dem Gipfel der Kesselspitze (2722 m) eine

Scholle von Liaskalken in der Facies der Adneter Schichten, welche wir als eine typisch alpine Ausbildungsweise des Lias, als eine pelagische Tiefseeablagerung kennen gelernt haben.¹⁴⁾

In dieser Hinsicht zeigen die Ostalpen eine Übereinstimmung mit den in den Westalpen zu beobachtenden Verhältnissen, wo wir den altkrystallinischen Schiefergesteinen vielfach marine Jurabildungen eingefaltet finden. Auf dem Gipfel der im Norden der Mont Blanc-Masse gelegenen Aiguilles Rouges (2956 m) liegen horizontal gelagerte Juragesteine auf den vertical gestellten krystallinischen Schiefen, und es ist wahrscheinlich, dass an dieser Bedeckung der alten Centralmasse eine mächtige Folge noch weit jüngerer Gesteine (der Kreide- und älteren Tertiärzeit) theilgenommen hat, bevor dieselben durch die Erosion bis auf diesen winzigen Rest entfernt wurden,¹⁵⁾ dass demnach die allgemeine Meeresbedeckung in den Westalpen noch länger (bis in jüngere geologische Zeiträume) gedauert hat als in den Ostalpen.

Es ist Ihnen gewiss schon aufgefallen, dass gerade in einem hohen Kettengebirge, wie es unsere Alpen sind, Tiefseeablagerungen eine so große Verbreitung besitzen. Aber es ist dies nicht bloß in den Alpen, sondern auch in anderen geologisch jungen Kettengebirgen der Fall, und diese Erscheinung gehört in Wirklichkeit zu den merkwürdigsten Zügen im Baue der Gesteinshülle unserer Erde. Ablagerungen aus so tiefen

und küstenfernen Meerestheilen kennen wir aus dem mesozoischen Zeitalter überhaupt nicht in Gegenden, welche sich durch einen ruhigen Schichtenbau auszeichnen, wir kennen sie nur aus Gebieten mit sehr weitgehenden Schichtenstörungen; wie sie eben die jungen Kettengebirge darstellen. Dem Umstande, dass diese Ablagerungen von der Gebirgsfaltung ergriffen und zu den grössten Höhen der Continente emporgehürmt wurden, verdanken wir es, dass wir die pelagischen Tiefseebildungen der mesozoischen Zeiten studieren können; sie würden sonst, der Beobachtung unzugänglich, noch heute unter dem Meere begraben liegen und von immer neuen Sedimenten jüngerer geologischer Zeiträume bedeckt werden.

Wir können hier nicht auf die Frage über das Wesen der gebirgsbildenden Kräfte eingehen. Es sei nur an die Anschauungen erinnert, als deren hervorragendster Vertreter E. Suess gilt, welche die Gebirgsbildung in letzter Linie auf die Abkühlung und das Kleinerwerden des heißen Erdinnern zurückführen, das in gewissen Theilen der Gesteinsrinde Senkung, in anderen Theilen seitlichen Zusammenschub, Faltung zur Folge hat.¹⁶⁾

Vor unseren Augen aber sehen wir das Gebirge der Zerstörung anheimgefallen. Das fließende Wasser schafft fort und fort große Mengen von Schutt in die weiten Alpenthäler, welche es sich selbst gegraben hat, in das Vorland der Alpen und in die ausgedehnten Tiefebenen, und die großen Ströme tragen in ungeheu-

ren Massen feinere Gesteinstheilchen in der Form von Trübung oder in Lösung ins Meer hinaus. Unter den gelösten Bestandtheilen des Flusswassers ist der kohlen-saure Kalk weitaus am stärksten vertreten, und er gelangt so ins Meer zurück, aus welchem er stammt, und welches ihn neuerdings durch Vermittlung des Lebens-processes in organische Form umsetzt und zur Bildung neuer Ablagerungen verwendet.

Wir sind damit zu einem der großen Kreisläufe gelangt, welche für den Haushalt der Natur von hervorragender Bedeutung sind, zu dem Kreislaufe des Kalkes, den Herr Prof. Toula im Vorjahre hier eingehend erörtert hat.¹⁷⁾ Diese Vorgänge: Bildung von organischen Kalkschalen im Meere, Sedimentbildung, Faltung und Aufthürmung der Meeresablagerungen zu Gebirgen und Wiederabtragung der letzteren, sie werden fort dauern, so lange die Sonne als Spenderin von Licht und Wärme organisches Leben auf Erden ermöglicht, und so lange die gebirgsbildende Kraft unseres alten Planeten noch nicht erloschen ist, so lange also die Erde noch nicht als ein kalter, starrer, todter Ball durch den Weltraum rollt.¹⁸⁾

Wenn Sie, meine Damen und Herren, wieder hinaustreten in die Alpen und die „ewigen Berge“, wie sie genannt worden sind, vom Standpunkte des Schönheitsgefühles auf sich wirken lassen, so erinnern sich vielleicht manche von Ihnen an einige der That-sachen, welche hier vorgebracht wurden. Das Gebirge wird Ihnen dann nicht als ein von Anfang Gegebenes,

Unveränderliches erscheinen, sondern Sie werden daran denken, dass es wie jeder Naturgegenstand seine Geschichte hat. Sie werden sich der großen Rolle erinnern, welche das organische Leben des Weltmeeres bei der ursprünglichen Entstehung der Kalkalpen spielte, Sie werden nicht vergessen auf die gewaltigen Veränderungen, welche seither an diesen alten Absätzen durch die gebirgsbildenden Kräfte, sowie durch die chemischen und mechanischen Wirkungen von Luft und Wasser hervorgebracht wurden, und die Berge werden Ihnen dann erscheinen als das, was sie sind, als schöne Ruinen, als Denkmale einer weit entlegenen Vorzeit.

Anmerkungen.

1. Richthofen, Geognostische Beschreibung der Umgegend von Predazzo, St. Cassian und der Seisser Alpe. Gotha 1860.

2. Gümbel, Geognostische Mittheilungen aus den Alpen. I. Das Mendel- und Schlerngebirge. Sitzungsber. der königl. bayr. Akademie der Wissensch., math.-phys. Classe, 1873, I, S. 14 (München). — III. Aus der Umgegend von Trient. Ebenda 1876, I, S. 51.

Richthofen, Über Mendola- und Schlerndolomit. Zeitschrift der Deutschen geolog. Gesellsch., 1874, S. 225.

3. Mojsisovics, Die Dolomitriffe von Südtirol und Venetien. Wien 1879.

4. J. Walther, Die Adamsbrücke und die Korallenriffe der Palkstraße, Sedimentstudien im tropischen Litoralgebiet. Ergänzungsheft Nr. 102 zu Petermanns Mittheilungen. Gotha 1891. S. 21—29.

5. Die Entstehung der Korallenriffe, dieser eigenartigen, in den tropischen Meeren weitverbreiteten Naturgebilde, ist so oft geschildert worden, dass wir uns hier kurz fassen konnten. Vgl. Toula, Die Korallenriffe. Diese Schriften, XVIII, 1877/78, S. 437—475. — Toula, Die Entstehung der Kalksteine etc. Diese Schriften, XXXI, 1890/91, S. 298 (36)—300 (38).

Einige wichtige Thatsachen seien noch erwähnt. Riffbauende Korallen benöthigen zu ihrem Fortkommen ganz

klares, ungetrübtes Wasser von dem gewöhnlichen Salzgehalte des Meeres; sie gedeihen nur in sehr warmen Meeren, in welchen die Temperatur der oberflächlichen Schichten des Wassers auch im Winter nicht unter 20° C. sinkt, und nur in verhältnismäßig geringen Tiefen, vom Meeresspiegel bis zur Tiefe von etwa 36 m, wenn auch einzelne lebende Exemplare hie und da in größeren Tiefen (nach neueren Angaben noch in Tiefen von 72 m) gefunden werden. Es gibt Koralleninseln, die mitten im Meere aus großen Tiefen mit sehr steilen Abhängen emporragen. Dieser Umstand und manche andere Eigenthümlichkeiten haben zu der Anschauung geführt, dass die großen Korallenbauten während einer allmählichen Senkung des Meeresgrundes entstehen, wobei zwar die tiefsten Theile des Riffes absterben, die höheren aber fortwährend nach oben bis zum Stande der Ebbe weiterbauen. Es ist klar, dass ein langsames Steigen des Meeresspiegels dieselbe Wirkung erzielen müsste, und man bedient sich daher in neuerer Zeit für einen derartigen Vorgang des von Suess eingeführten Ausdruckes: „positive Bewegung der Strandlinie“, wobei es unentschieden bleibt, ob das Feste oder das Flüssige der bewegte Theil ist.

Gegen diese Erklärungsweise sind manche Einwände erhoben worden, und insbesondere aus der letzten Zeit stammt eine Reihe anderer Erklärungsversuche, welche zahlreiche Anhänger gewannen, aber jene Geologen nicht befriedigen konnten, welche die aus älteren Perioden erhalten gebliebenen Korallenriffe der Alpen vor Augen hatten. Die Hauptschwierigkeit liegt darin, dass die heutigen Korallenriffe unter dem Meeresspiegel liegen, und dass wir daher ihren Bau nicht studieren können. Die bisher näher untersuchten Reste, welche uns in den sogenannten gehobenen jungen Rifften vorliegen, sind recht unbedeutend gegenüber den gewaltigen Bauten der geologisch alten Riffe, und eine Theorie, welche die Entstehung der letzteren nicht zu erklären vermag, kann einen Anspruch auf allgemeine Geltung nicht erheben. Nach

der heutigen Sachlage können wir dazu der Annahme einer positiven Bewegung der Strandlinie nicht entbehren.

Eine ausführliche Würdigung der neueren Literatur über diesen Gegenstand gibt R. Langenbeck, Die Theorien über die Entstehung der Koralleninseln und Korallenriffe und ihre Bedeutung für geophysische Fragen. Leipzig 1890.

6. Frech, Aus den Karnischen Alpen. Studien über die Entstehung der Gebirgsformen. Zeitschrift des D. und Ö. Alpenvereins, 1890, S. 373—418.

7. Toulou, Die Tiefen der See. Diese Schriften, XV, 1874/75, S. 43—82, 1 Karte, 1 Taf. — Marenzeller, Auf der Suche nach Tiefseethieren. Diese Schriften XXXI, 1890/91, S. 165—195. — Marenzeller, Das Heim der Tiefseethiere. Dieser Band, S. 149—177. — Eine Übersicht der heutigen Tiefseeablagerungen findet sich in Wähner, Aus der Urzeit unserer Kalkalpen. Zeitschrift des D. und Ö. Alpenvereins, 1891, S. 97.

8. Uhlig, Über die Beteiligung mikroskopischer Organismen an der Zusammensetzung der Gesteine. Diese Schriften, XXV, 1884/85, S. 1—38, 1 Taf.

9. Haeckel, Report on the Radiolaria (Report on the Scientific Results of the Voyage of H. M. S. Challenger. Zoology, Vol. XVIII, 1887).

10. Suess, Das Antlitz der Erde, II, S. 341—350. — Auch für die Frage über die Entstehung der Korallenriffe ist es von Bedeutung, wenn wir hier an einem gut untersuchten Beispiele zeigen können, dass die betreffenden Korallenbauten während einer Periode positiver Bewegung der Strandlinie entstanden sind.

11. Bittner, Aus dem Gebiete der Ennsthaler Kalkalpen und des Hochschwab. Verhandl. d. k. k. geol. Reichsanstalt, 1887, S. 89—98. — Weiter im Westen, in den Kalkhochgebirgen von Salzburg, Nordtirol und Bayern treffen wir im Horizonte der Raibler Schichten (Cardita-Schichten) stellenweise gleichfalls Sandsteine von sehr geringer Mächtigkeit.

12. Mojsisovics, Dolomitriffe, S. 66. — Teller, Die Triasbildungen der Košuta etc. Verhandl. der k. k. geol. Reichsanstalt, 1887, S. 267. — Frech, l. c. S. 387.

13. Neumayr, Die geographische Verbreitung der Juraformation. Denkschriften d. kais. Akademie d. Wissensch., L. Bd., 1885, S. 106, 107.

14. Frech, Über ein neues Liasvorkommen in den Stubaier Alpen. Jahrbuch d. k. k. geol. Reichsanstalt, XXXVI., 1886, S. 355—360.

15. A. Favre, Recherches géologiques dans les parties de la Savoie, du Piémont et de la Suisse voisines du Mont Blanc. Paris 1867. Vol. II, S. 316—326.

16. Suess, Die Entstehung der Alpen. — Suess, Das Antlitz der Erde, insbes. Bd. I, S. 142—189. — Neumayr, Erdgeschichte, S. 308—368.

17. Toula, Die Entstehung der Kalksteine und der Kreislauf des kohlen sauren Kalkes. Diese Schriften, XXXI, 1890/91, S. 263—302.

18. Neumayr, Theorien über die Zukunft der Erde. Diese Schriften, XXII, 1881/82, S. 109—136.

Tafelerklärung.

Dem vorstehenden Vortrage folgte eine längere Reihe bildlicher Darstellungen mit dem elektrischen Projectionsapparate, theils von an der Sedimentbildung beteiligten Organismen, grösstentheils aber von alpinen Landschaften nach photographischen Aufnahmen des Vortragenden. Auf die angeschlossenen Erläuterungen kann hier, da sie durch Bilder nicht unterstützt werden können, nicht eingegangen werden.

Das beigegebene Panorama der Nordwände des Sonnwendgebirges ist ebenso wie die im Texte eingeschalteten Profile (S. 235 [29]) meinem in der Zeitschrift des D. u. Oe. Alpenvereins (Jahrg. 1891) erschienenen Aufsätze „Aus der Urzeit unserer Kalkalpen“ entnommen; der Central-Ausschuss des D. u. Oe. Alpenvereins hat die Wiederbenützung der Zinkstöcke für den vorliegenden Zweck freundlichst gestattet.

Das Panorama lässt den Bau des Gebirgsstockes des Vorderen Sonnwendjoches (Rofangruppe) in Nordtirol mit einem Blicke übersehen. Es ist zusammengestellt aus fünf aneinanderschliessenden photographischen Ansichten, welche von dem westlich der Ampmoosalpe gelegenen Rosskopf (1938 m) aufgenommen wurden, und umfasst mehr als 180 Grad des Gesichtskreises; das linke Ende des Bildes ist im Osten, das rechte Ende im Nordwesten des Beschauers gelegen. Die Hauptmasse des Gebirgsstockes, der breite

Sockel, auf welchem die höheren Gebilde aufruhcn, besteht aus Hauptdolomit. Links und rechts im Bilde sieht man die zahlreichen Schichten desselben schief gegen das höhere Gebirge, ungefähr nach Süden, einfallen. Aus demselben Gesteine besteht der Ampmooser Rosskopf (von dem dem Plateau aufgesetzten „Rosskopf“ zu unterscheiden), unser Standpunkt. Auf den Hauptdolomit folgen die weichen, mergeligen Kössener Schichten, welche nur rechts, unter den schroffen Wänden der Hoch-Iss, sichtbar sind, an den übrigen Stellen aber von dem Schutt und den zahlreichen grossen Blöcken bedeckt sind, welche die Terrasse der Ampmoosalpe erfüllen. Diese Terrasse ist links, über dem Hauptdolomit des Sonntager Kopfes (Seileck-Spitze, 1979 *m*) und unter den Wänden des Rofan (im Querschnitt) sehr scharf ausgeprägt, zieht sich vor und unter uns durch den Vordergrund des Bildes und verliert sich nach rechts schief hinauf unter den Wänden der Hoch-Iss; sie verdankt ihre Entstehung den weichen, leicht zerstörbaren Kössener Schichten. Den Abschluss nach rechts bildet das aus Hauptdolomit und Kössener Schichten bestehende Köthalmjoch (2110 *m*).

Ueber der Terrasse erheben sich die weissen Riffkalkmassen der hohen Berge, links der Rofan (2260 *m*), an diesen anschliessend die Seekarspitze, sodann der höchste Gipfel der Gruppe, die Hoch-Iss (2299 *m*). Diese weissen Riffkalke sind nach oben stets von rothen Lias-Foraminiferenkalken bedeckt und wechsellagern mehrfach mit ebensolchen rothen Kalken. Darüber folgen Radiolariengesteine (Hornsteine, Kieselmergel, Kieselthone) und eine „Hornsteinbreccie“ (ein aus kalkigen und kieseligen Theilen gemischtes Sediment), dunkle Gesteine, welche z. B. den höheren Theil des Rofan zusammensetzen und als mittlerer Jura zusammengefasst werden können, ferner noch höhere Jurakalke, aus welchen andere Gipfel bestehen, so das im Panorama zwischen Seekarspitze und Hoch-Iss im Hintergrunde stehende Spieljoch (2237 *m*) oder der durch die

Scharte links vom Gipfel der Seekarspitze hervorsehende Rosskopf. Diese höheren Jurakalke lassen sich schon durch ihre dunklere Färbung und durch die regelmässige Schichtung von den tieferen weissen Riffkalcken unterscheiden, aus welchen die Hauptmasse des Plateaus zusammengesetzt ist.

Die Wand der Hoch-Iss besteht aus einer nahezu ungeschichteten Masse von weissem Riffkalk, welche nach oben schon ursprünglich unregelmässig abgegrenzt war. Die wenigen Bänke von rothem Foraminiferenkalk und die höheren Radiolariengesteine lagern sich in verschiedenen Höhen darüber, wie die dunkler gefärbten, im Panorama mit R bezeichneten Gesteinspartien erkennen lassen. Insbesondere zeigt sich, dass die Masse nach Westen (nach rechts) fast vollständig auskeilt. Hier, am auskeilenden Ende, lagern darum die von unserem Standpunkte nicht sichtbaren höheren Jurakalke in geringer Höhe (durch eine wenig mächtige Schichtenfolge getrennt) über den Kössener Schichten.

Die Wand des Rofan besteht im Osten (links in der Ferne) aus einer nur in der Mitte und oben geschichteten Masse von weissem Riffkalk. Die obere Hälfte dieser Masse keilt sich nach Westen (ungefähr unter dem Gipfel) vollständig aus; man kann sogar verfolgen, wie sich die einzelnen höheren Bänke nach rechts allmähig verlieren. Zugleich wird die auskeilende obere Partie von der unteren Masse dadurch getrennt, dass eine breite Zunge von rothen Foraminiferenkalken von rechts nach links in die weissen Riffkalke eingreift, welche sich dabei allmähig verschmälert und endlich auskeilt. Eine kleine weisse Kalkpartie leuchtet aus der rothen Kalkzunge weithin hervor. Weiter rechts greifen weisser und rother Kalk noch mehrfach ineinander ein.

An der Seekarspitze sind ähnliche Erscheinungen zu beobachten. Die obere Partie der Riffmasse keilt nach rechts aus, und zwar so rasch, dass die Böschungsfäche (an der Aussenseite des Riffes), welche oben noch verhältnissmässig schwach geneigt ist, nach rechts und unten immer

steiler wird, bis sie nahezu senkrecht steht. Die in der oberen Kalkmasse erkennbare Schichtung war schon ursprünglich (bei der Bildung des Gesteines) in geneigter Lage gegenüber den tieferen horizontalen Schichtflächen und entspricht dem, was man Uebergusschichtung nennt. Der rothe Foraminiferenkalk liegt steil auf der steil gestellten Böschungsfäche des Riffes und greift in zwei Zungen in den weissen Riffkalk ein, in einer tieferen, langen und horizontalen Lage und in einer höheren, kurzen, schwach geneigten Schichtenpartie.

Seileckspitze
1979 m

Rofan
2260 m

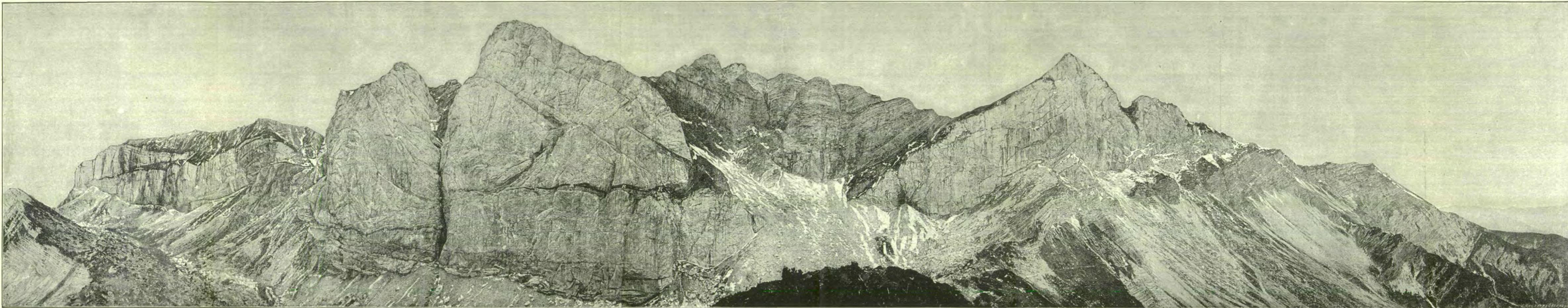
Rosskopf

Seekarspitze

Spieljoch
2237 m

Hoch-Iss
2299 m

Kothalmjoch



Autor phot.

Panorama der Nordwände des Sonnwendgebirges
vom Ampmooser Rosskopf (1938 m).

Phototypie von C. Angerer & Göschl.