

# Ueber den Bau der Flexuren an den Grenzen der Kontinente.

Von

**Dr. Johannes Walther.**

Hierzu Tafel X—XII.

„Unter den Gegenständen, welche sich in unmittelbarer Umgebung von Kontinenten und Inseln der Untersuchung darbieten, ist in erster Linie die Beschaffenheit jener Abdachung zu nennen, welche sich in wechselnder Breite den meisten Küsten anschließt und im Mittel bis zur Hundertfadenlinie reicht, wo dann in der Regel ein etwas stärkeres Einfallen beginnt. . . . . Das Problem dürfte sich zur Untersuchung empfehlen.“ Mit diesen Worten lenkt F. v. RICHTHOFEN in seinem neuesten Werk<sup>1)</sup> die Aufmerksamkeit der Geologen auf eine bisher nur wenig beachtete Erscheinung.

Seit mehreren Jahren studiere ich an italienischen Vulkanen die genetischen Beziehungen zwischen Gebirgsbildung und Vulkanismus; durch Herrn v. RICHTHOFEN wurde ich auf neue Verhältnisse aufmerksam und ich betrachte es als die wesentliche Aufgabe vorliegender Studie, den ursächlichen Zusammenhang gewisser Erscheinungsgruppen aufzudecken und zur erneuten Prüfung des empirischen Materials anzuregen. Ich würde mich freuen, wenn Diskussionen angeregt würden und wenn tektonische Arbeiten über genau bekannte spezielle Küstengebiete den Anlaß böten, um die Rätsel des Meeresgrundes dem Verständnis näher zu bringen und die hier behandelten Fragen gründlicher zu bearbeiten, als es auf Grund des heute vorliegenden Kartenmaterials mir möglich war.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, Herrn Geh. Admiraltätsrat Dr. NEUMAYER, der mir die reichen Kartenschätze der kaiserl. deutschen Seewarte in Hamburg öffnete, meinen verbind-

---

1) Führer für Forschungsreisende. S. 414.

lichsten Dank für seine große Liebenswürdigkeit an dieser Stelle auszusprechen.

#### Inhalt der Abschnitte:

1. Die Entstehung der Spaltenthäler.
2. Die Küstenflexuren und die Hundertfadenlinie.
3. Die Wallriffe.
4. Die Küstenvulkane.
5. Ozeanische Gräben und Brüche.
6. Kontinent und Festland.
7. Die Abhängigkeit der Vulkane von tektonischen Senkungen.

#### 1. Die Entstehung der Spaltenthäler.

Zwei Faktoren bedingen die Stärke der Erosion und Denudation. Einerseits die Menge und Kraft der erodierenden Agentien, andererseits die Beschaffenheit des zu erodierenden Materials; und hier ist wiederum die Oberflächengröße desselben das wichtigste Moment. Denn je mehr Spalten und Risse ein Gestein durchsetzen, desto leichter wird es der Verwitterung, Abschlämmung und Zerstörung unterliegen. In unseren regenreichen Breiten entsteht keine Erosions- oder Denudationsform ohne die Mitwirkung fallenden Wassers, aber ebensowenige entstehen ausschließlich durch dasselbe; die physikalische Beschaffenheit des Materials ist bei solchen Vorgängen immer ein bedeutungsvoller Faktor. Und in allen Fällen, wo durch gleiche Erosionskräfte ungleiche Erosionswirkungen erzeugt wurden, müssen wir untersuchen, inwieweit die physikalische Beschaffenheit des Gesteines von Einfluß war.

Beide Faktoren wirken auch gemeinsam bei der Bildung der Täler. Ich meine nicht die tektonischen synklinalen Muldenthäler, oder die versenkten Grabenthäler, sondern jene Thalrinnen, welche wesentlich durch fließendes Wasser gebildet wurden die Erosionsthäler.

Eine Thalform aber dürfte der genetischen Erklärung einige Schwierigkeiten bieten: die Spaltenthäler; und indem wir die frühere Hypothese der „cratères d'explosion“ als unbeweisbar völlig übergehen und auch die Möglichkeit einer Gletschererosion für diese Fälle für ausgeschlossen halten, wollen wir die Frage untersuchen, ob die Spaltenthäler Erosionsthäler seien oder ob die Erosion bei der Bildung derselben nur eine untergeordnete Rolle spielte.

Ein klassisches Gebiet für das Studium der Spaltenthäler bleibt der Jura von Solothurn, welcher seit GRESSLY'S grundlegenden Arbeiten immer von neuem durchforscht wurde, immer neue, anziehende Probleme bot. Dort ist die Heimat der Spaltenthäler. Allein nicht minder häufig treten Spaltenthäler in anderen Gebieten auf; denn tektonisch ausgedrückt gehören die Spaltenthäler zu den Antiklinalrücken und solche, von einem medianen Thal durchschnittene Antiklinalen finden sich in den meisten alpinen Profilen. So häufig und so schön ausgebildet möchten sie selten sein, wie wir sie im Schweizer Jura finden, wo eine Anzahl fast paralleler Ketten nebeneinander herziehend auf ihrem Kamm tiefe Thalrisse zeigen.

Was aber dort nicht minder auffällt, ist die Thatsache, daß die Synklinalen zwischen den gefalteten Juraketten keine Thaleinschnitte zeigen, daß dort die Molasse wohl durchschnitten, aber die darunter liegende Juramulde völlig unberührt geblieben ist. Auf dem schmalen Kamm der Bergketten also finden wir tiefe Täler durch den Malm bis in den Dogger und Lias eingeschnitten, dagegen in den synklinalen Thalmulden, welche die Wasser sammeln und in welchen daher die erodierende Thätigkeit desselben unverhältnismäßig stärker wirkt, als auf den hohen, schmalen Bergrücken, dort hat das Wasser sich nicht einmal in den Malm einzuschneiden vermocht. Der scharfe, augenfällige Gegensatz zwischen eingeschnittenen Antiklinalkämmen und intakten Synklinalmulden tritt wohl nirgends so schroff auf, wie im Münsterthal, er ist um so auffallender, als er sich überall wiederholt.

Man kann sich nicht vorstellen, daß die Antiklinalrücken früher entstanden sind, als die dazwischenliegenden Mulden; und wenn man auch annehmen wollte, daß die letzteren am Boden des Molassemeeres vor Erosion länger geschützt blieben, so ist doch ein solcher Erklärungsversuch für die Mehrzahl der in anderen Gebirgen vorkommenden Spaltenthäler nicht ausreichend. Denn beim Vergleichen beliebiger Profile aus Faltengebirgen erkennt man durchgängig: daß sich in Synklinalmulden keine Täler eingeschnitten haben, daß hingegen benachbarte Antiklinalrücken durch tiefe Einschnitte geteilt erscheinen.

Die Wirkung der erodierenden Kräfte kann also nur eine nebensächliche sein gegenüber dem wichtigeren Faktor, der physikalischen Beschaffenheit des Gesteinsmaterials. Da aber nun in

benachbarten Faltenteilen die ursprüngliche Gesteinsbeschaffenheit der Schichten als gleichmäßig angenommen werden kann, so muß durch den Faltungsprozeß selbst eine nachträgliche Verschiedenheit erzeugt worden sein.

Um über diese Frage Klarheit zu erlangen, scheint es nützlich, die Bildung tangentialer Gebirgsstörungen näher zu betrachten und unbekümmert um die Gründe der Faltenbildung den Faltungsvorgang zu diskutieren: Es wird die Bildung einer Falte in verschiedener Weise erfolgen, je nachdem die Ursachen derselben oberflächlich wirken, oder einen mächtigeren Schichtenkomplex betreffen, und ich bezeichne der Kürze halber als Normalebene der Faltung jenen Horizont in der zu faltenden Schichtengruppe, auf welchen das Maximum der faltenden Kraft wirkte und welcher als die eigentlich gefaltete Ebene betrachtet werden darf (in ähnlicher Weise, wie man das Gewicht einer Kugel sich in dem geometrischen Mittelpunkt gelagert denkt). Die Normalebene kann nun eine verschiedene Lage haben; sie kann bei ganz oberflächlichen Falten fast mit der äußeren Begrenzungsfläche zusammenfallen, oder unter der Oberfläche in beliebiger Tiefe liegen. Im ersteren Falle bleibt die Oberfläche der Antiklinale unverletzt, aber unter der Voraussetzung, daß die einzelnen Schichten sich nicht aufeinander verschieben, wird in jedem anderen Falle, also wenn die Normalebene tiefer liegt als die äußere Schichtenfläche, diese letztere in Spalten zerrissen, welche nahe bis zur Normalebene in die Tiefe reichen. Es ist vielleicht zu viel gesagt, wenn ich von „Spalten“ spreche, und ich will das dahin modifizieren, daß der laterale Zusammenhang der betreffenden Schichten gemindert und somit die Spaltenbildung eingeleitet wird. Einen bedeutenden Einfluß auf die Art solcher Lockerung wird immer die Beschaffenheit des Gesteins haben und thonige Mergel werden anders reagieren als kristallinische Kalke.

Ist der Zusammenhang der Schichten einmal gelöst, dann weichen beim Weiterfortschreiten der faltenden Bewegung die beiden Antiklinalflügel auseinander, und indem der Faltungsvorgang viel, die Erosion etwas wirkt, entstehen jene Thalformen, welche man als Spaltenthäler bezeichnet. Dieselben werden umso tiefer sein, je tiefer die Normalebene der Falte unter der Oberfläche der gefalteten Schichtengruppe lag, je tiefer die faltende Kraft gewirkt hat. Auch die Länge der Faltenflügel dürfte ein wesentlicher Faktor sein für die Tiefe der Spaltenthäler und im

Interesse eines weiter unten zu behandelnden Problems wird es von hohem Wert sein, Erfahrungssätze zu eruieren über die besprochenen Verhältnisse. Solche Sätze können nach Literaturangaben nicht aufgestellt werden, das kann nur der mit seinem Gebiete nach allen Seiten wohlvertraute Forscher. Unzerspaltene Antiklinalen sind Ausnahmen ebensosehr wie geteilte Synklinalen, und so kommen wir zu dem Schluß, daß bei der Bildung der Spaltenthäler die Erosion nur wenig wirkt gegenüber dem aktiven Auseinanderweichen der Sattelflügel.

Allein die Ketten des Juragebirges zeigen noch eine andere ähnliche Erscheinung, welche nicht geringeres Interesse erregen muß. Indem man den Jura von Solothurn mit einem Baume vergleicht, dessen Faltenstamm sich teilt und allmählich in 13 verschiedene Ketten gabelt, berücksichtigt man nur das kartographische Projektionsbild. Denn die sogenannte Teilung der Juraketten ist eigentlich eine Anlagerung neuer Ketten an die vorhandenen. Die Ketten tauchen aus der Ebene empor, um nach einer gewissen Strecke darunter zu verschwinden. Somit ergibt das Längsprofil durch eine dieser Ketten auch einen Antiklinalsattel, welcher nur bedeutend breiter ist, als das Querprofil. Die Sätze, welche wir für das Querprofil des Antiklinalrückens aufstellen konnten, gelten somit in ähnlicher Weise für das Längsprofil; und jene Dehnung der Schichten über der Normalebene, welche die longitudinalen Spaltenthäler erzeugte, muß auch longitudinal gewirkt haben und die Bildung transversaler Thalrisse begünstigen.

Die Miniaturfalte von St. Verène nahe bei Solothurn mit ihrem tiefeingeschnittenen Querthal ist das beste und schönste Paradigma für diese Verhältnisse.

Und fast alle großen Ketten zeigen dieselbe Erscheinung. Man könnte diese Querthäler des Jura für Erosionsformen halten, welche auf durchgehenden „Blatt“flächen entstanden seien, allein dann müßten sie in benachbarten Ketten genau mit einander korrespondieren. Dem entgegen findet eine direkte Fortsetzung eines Querthales in ein benachbartes nicht statt, das Münsterthal ist vielfach gebogen und die Querthäler in anderen Ketten entsprechen sich noch weniger. Wir dürfen daher die Bildung dieser Querrisse nicht auf gemeinsame Ursachen zurückführen, sondern wir müssen annehmen, daß jede Kette von der anderen unabhängig geteilt worden ist.

Doch ich fürchte schon zu viel gesagt zu haben über ein

Thema, welches oft behandelt, oft gestreift worden ist. Das was ich hier über die Bildung der Spaltenthäler bringen konnte, ist nicht neu, sondern entspricht wohl den gangbaren Anschauungen. Aber ich mußte eine kurze Besprechung dieser Verhältnisse vorausschicken, weil sie überaus eng zusammengehören mit den weiter zu behandelnden Fragen.

Wir wiesen soeben darauf hin, daß Synklinalmulden selten durch eine Erosionsrinne vertieft sind, obgleich sich in ihnen bedeutendere erodierende Wassermengen sammeln, als auf den Kämmen der Antiklinalen. Und wie wir die Entstehung der Spaltenthäler vornehmlich als eine Wirkung des tektonischen Auseinanderziehens der gefalteten Schichten über der Normalebene erkannten, so liegt es nahe, für die benachbarte Erscheinung nach ähnlichen Ursachen zu forschen. Die Synklinale ist das Gegenstück, eine umgekehrte Antiklinale; und wenn hier alle Schichten oberhalb der Normalebene gedehnt und zerrissen wurden, so wurden die synklinalen Schichten oberhalb der Normalebene zusammengedrückt. Nur dadurch können wir erklären, warum synklinale Mulden so überaus seltene Erosionsrinnen besitzen. Alle jene Erscheinungen, welche bei antiklinaler Schichtenbiegung eine Lockerung der Schichten, eine Oberflächenvergrößerung des Gesteinsmaterials erzeugten, die wirkten bei Synklinalen im umgekehrten Sinne. Die Schichten oberhalb der Normalebene wurden seitlich zusammengedrückt und die erodierende Wirkung des Wassers war, wenn nicht verhindert, so doch erschwert.

Allein indem wir die verschiedenartige Wirkungsweise antiklinaler und synklinaler Schichtenbiegung vergleichen, dürfen wir das nicht verkennen, was beiden gemeinsam ist. Denn das was bei der Antiklinale für die Schichten oberhalb der Normalebene gilt, das muß bei der Synklinale für die Schichten unter der Normalebene gelten, und in derselben Weise wie bei Synklinalen die Schichten über der Normalebene reagieren, so müssen sich bei der Antiklinale alle Schichten unter derselben verhalten.

Die antiklinalen Spaltenthäler sind nur unter der Annahme zu erklären, daß der Schichtenverband über der Normalebene gelockert wurde, und so werden wir zu der Anschauung geführt, daß bei synklinaler Schichtenbiegung eine Schichtenlockerung unterhalb der Normalebene stattfindet. Mag sich diese Lockerung in einfacher Kohäsionsverminderung oder in der Bildung wirklicher Spalten äußern, die Notwendigkeit

ähnlicher Erscheinungen wird zugegeben werden müssen. Im Gegensatz hierzu dürfen wir annehmen, daß bei antiklinaler Schichtenbiegung alle Schichten unter der Normalebene zusammengedrückt werden.

Unter sonst gleichen Verhältnissen wird die Tiefe der Spaltenthäler einen Maßstab abgeben für die Stärke jener Lockerung der Schichten, welche unterhalb der Normalebene von benachbarten Synklinalen stattgefunden hat.

## 2. Die Küstenflexuren und die Hundertfadenlinie.

Die Meeresbecken werden heutzutage nicht mehr als Lücken aufgefaßt, welche die einzelnen Kontinente trennen und isolieren. Seitdem Süß kühne Brücken von Europa nach Nordafrika und von Südafrika nach Indien geschlagen hat, gewinnen die dazwischen liegenden Depressionsgebiete eine höhere Bedeutung, sie trennen nicht mehr, sondern sie verbinden und fügen sich ein als gesunkene Teile zwischen die kontinentalen Horste der einst gleichmäßig den Erdball umspannenden Rinde. Ich hoffe in folgendem neue Beweise für diese Anschauung zu bringen, jetzt will ich sie voraussetzen, als ob sie schon tektonisch bewiesen wäre.

Es ist von hohem Interesse zu sehen, wie diese Einsturzbecken im allgemeinen immer kleiner werden, je älter die Erde wird; wie die Becken der Ozeane ein hohes Alter haben, wie dagegen die Senkungsgebiete neuerer Erdperioden meist einen kleineren Durchmesser besitzen. Man wird zu der Vermutung geführt, daß die erkaltenden und sich kontrahierenden Teile des Erdinneren allmählich auf kleinere Räume, kleinere Maculae reduziert werden, so daß die Erdrinde nur noch auf geringere Erstreckung radialen Dislokationen unterworfen wird. Und wenn man die Oberfläche des Mondes mit seinen kesselartigen Vertiefungen betrachtet, so kann man sich des Eindrucks nicht erwehren, daß die sogenannten Mondkratere nichts Anderes sind als tektonische Kesselbrüche des senilen Trabanten.

Wenn nun die Becken der Ozeane eingesunkene Teile einer kontinuierlichen Erdrinde repräsentieren, so ist es notwendig, daß dieselben von Flexuren<sup>1)</sup> umgeben sind. Eine solche Anschauung

---

1) Als Flexur bezeichnet man neuerdings eine  $\lrcorner$ -förmig gebogene Falte.

würde der allgemeinen Abdachungsform der Meeresküsten am meisten entsprechen, wobei nicht ausgeschlossen ist, daß diese Flexuren einen verschiedenen Krümmungshalbmesser besitzen, daß sie in Verwerfungen mit geschleppten Flügeln, oder in wahre Verwerfungen übergehen, daß endlich Überschiebungen und verwandte Erscheinungen eintreten können. Im allgemeinen jedoch werden wir der Wahrheit am nächsten kommen, wenn wir die Flexur als den Typus der Küstenbegrenzung betrachten.

Es war ein revolutionäres Wort, als zum ersten male ausgesprochen wurde, daß der Meeresspiegel veränderlich sei und keinen stabilen Horizont repräsentiere. Das sichere Mittel, um den Abstand eines Punktes der Erdrinde vom Erdmittelpunkt zu bestimmen, das ist zerstört, und wie die einzelne Woge, so bewegt sich schwankend auf und nieder der Spiegel des Ozean. Die erste Konsequenz dieser Anschauung aber ist die, daß die Grenzen des Meeres in keinem bestimmten Verhältnisse stehen zu den Umrissen der Meeresbecken, daß dort ein Meeresbecken vom Wasser kaum gefüllt wird, daß hier weite Gebiete der Beckenumgebung überflutet sind. Der Steilabfall des atlantischen Ozeans liegt 5 Längengrade westlich von den Scillyinseln und die ganze Nordsee ist eine 200 m tiefe Flachsee. Wo sind nun die Grenzen der Kontinente?

Bei Besprechung der adriatischen Senkung<sup>1)</sup> spricht Süss in Anschluß an STUR und STACHE die Anschauung aus, daß der nördliche Teil des adriatischen Meeres eine junge Bildung sein müsse, und daß sich die einstige Nordküste längs der Inseln Lagosta-Palagosa-Tremiti erstreckt haben müsse. — Diese Inselreihe aber steht auf der Hundertfadenslinie, südlich von ihnen beginnt der Abfall des Meeresgrundes,<sup>2)</sup> und es tritt die Aufgabe an uns heran, zu prüfen, ob die genannte Linie nicht im Zusammenhang stehe mit der tektonischen Begrenzung des Kontinentes.

Wir gehen also von der Voraussetzung aus, daß die Kontinente von Flexuren umgeben werden. Eine Flexur wird gebildet von einem oberen Antiklinalensattel und einer tiefer liegenden Synklinalmulde. Die Küsten der Kontinente werden daher von Antiklinalen, die Grenzen der Tiefsee aber von Synklinalen gebildet sein. Und diejenigen Sätze, welche wir vorher im allgemeinen

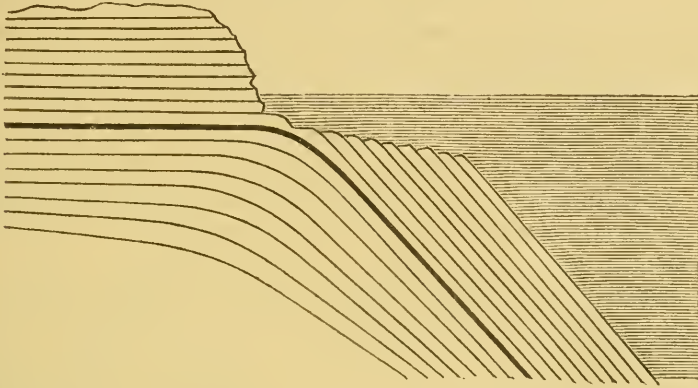
1) Antlitz der Erde. S. 346.

2) Stieler, Handatlas. Bl. 33.



deduktiv gewonnen haben, müssen auf den speziellen Fall ihre Anwendung finden.

Antiklinalrücken sind gewöhnlich durch ein Spaltenthal gespalten, daher wird auch der Antiklinalsattel der Küstenflexur durch ein Thal geöffnet und das Profil einer als Flexur gebauten Küste folgendermaßen beschaffen sein:



Die Normalebene wurde breiter gezeichnet.

Diesen theoretisch ermittelten Verhältnissen entspricht die Abdachung des Meeresgrundes an den meisten Küsten. Viele Tausende genauer und sorgfältiger Peilungslinien beweisen an allen Küsten der Erde, daß die Abdachung des Meeresgrundes bis zu einer gewissen Tiefe (gewöhnlich 200 m oder 100 Faden) sehr langsam und unbedeutend sinkt, daß dann der Böschungswinkel ein wesentlich steilerer wird und der Abfall zu den großen Tiefen des Ozeans sehr rapide erfolgt. Anstatt vieler Beispiele wähle ich eine Peilungslinie, welche von Cap Ghir an der westafrikanischen Küste beginnt und westwärts verlaufend in gleichen Abständen folgende Tiefen <sup>1)</sup> erkennen läßt: 9. 36. 50. 65. 85. 95. 136. 311. etc.

Es würde müßig sein, weitere Zahlenreihen zu nennen, und ich will lieber nur eine kurze Übersicht über die morphologischen Verhältnisse der Küsten geben:

Wie schon erwähnt, gehört die Ostsee und die Nordsee mit Ausnahme eines Grabens längs der südnorwegischen Küste ganz zum Gebiete der Küstenstufe. Fünf Längengrade westlich der

1) West Coast of Africa. Sh. 2. Azamor to Sta Cruz 1228.

Scillyinseln erfolgt der Absturz in 100 Faden, fünf Längengrade westlich von Irland in 500 Faden zu Tiefen von 2—3000 Faden.

Die Küstenstufe verschmälert sich auf 3° längs der französischen Küste im Golf von Biscaya und schlingt sich als 100 klm breiter Gürtel ziemlich gleichmäßig um die spanischen Küsten. Setzt sich ebensobreit längs der westafrikanischen Küste fort und scheint nur zwischen S. Cap Blanco und C. Verde zu fehlen. Wenigstens ziehen hier englische Übersichtskarten die Kontinentallinie mit der Küstenlinie zusammen (genauere Peilungen scheinen zu fehlen). Die Küste von der Kongomündung südlich ist ungenügend bekannt. An der Südküste Afrikas fällt die breite Agulhasbank auf. Hier ist jedoch jenseits der Bank eine langsame Tiefenzunahme und es fragt sich, ob die Agulhasbank nicht wie die Bank von Newfoundland dem Triftmaterial der daselbst schmelzenden Eisberge ihre Existenz verdankt hat.

Zwischen Port Elizabeth (Algoa B.) und Delagoa Bai am Eingang der Straße von Mozambique ist die Küstenstufe wohl abgegrenzt und 50—100 klm breit. Die mittlere Meerenge scheint ganz zur Küstenstufe zu gehören. Von Mozambique bis Zanzibar ist die Stufe gleichmäßig, dann verschmälert sie sich stark bis Magadoxa, um wieder breiter zu werden und beim Eingang des Golf von Aden die Insel Socotra mit einzuschließen.

Der Golf von Persien<sup>1)</sup> ist ein flaches Becken von 50 Faden. Von Bombay aus setzt sich die Küstenstufe südlich über die Laccadiven und Maldiven bis zum Chagosarchipel fort und nähert sich dort den flachen Koralleninseln, welche auf Lemurien sich angesiedelt haben, ein anderer Zweig überbrückt die Colonstraße und verknüpft Ceylon mit dem Festland. So teilt sich auch bei Bassein die Zone flacheren Meeresgrundes, um einerseits der hinterindischen Küste zu folgen, andererseits durch Andamanen und Nicobaren Sumatra zu erreichen und somit ein tiefes Becken nördlich der Straße von Malacca zu umgrenzen, in dessen Mitte ein Vulkan steht. Große Gebiete des hinterindischen und pazifischen Archipels gehören zum Gebiet der Küstenstufe, so das ganze Meer zwischen Australien und Neu-Guinea, und endlich das ganze breite Meeresgebiet zwischen der Ostküste Asiens und jenen Inselreihen, welche von den Philippinen über Japan bis nach Kamtschatka ziehen; auch das Behringsmeer ist größtenteils Flachsee.

1) Indian Ocean Northern Portion Bl. 1486.

Am schwierigsten zu beurteilen sind die Verhältnisse längs der Westküste Amerikas, wenigstens zeigen die mir zugänglich gewesenen vielen Kartenblätter dieser Küsten fast überall Peilungen nur bis 100 Faden, und ganz sporadische größere Tiefen, so daß sie für meine Zwecke kaum zu verwenden waren. Und überall da, wo man sich ein annäherndes Bild des Bodenreliefs herauslesen konnte, schien die Küstenstufe zu fehlen. So glaube ich zwischen Cap Paquica und Cap Lobos<sup>1)</sup> das Fehlen konstatieren zu können, es finden sich hier Peilungen von 200, 300, 400, 500 Faden in sehr wechselnder, aber solcher Entfernung, daß man nur an einzelnen Stellen ein flacheres, gewöhnlich ein gleichmäßiges aber sehr rapides Absinken erkennt. Auch ein folgendes Blatt<sup>2)</sup> der chilenischen Küste zwischen 25° und 28° S. Br. spricht gegen die Anwesenheit der Küstenstufe, so daß hier längs der Küste entweder ein Bruch verläuft, oder aber, was mir wahrscheinlicher ist, die ursprüngliche Kontinentalgrenze im Innern des Landes jenseits der Küstenvulkane zu suchen ist.

Die Tiefen längs der chilenischen Küste wechseln ganz auffällig, so daß z. B. unter 32° 40' S. Br. an der Quitero Bai in 20' Küstenabstand 880 F. einen Grad südlicher an der Natividad Bai nur 140 F. in dem gleichen Küstenabstand angegeben werden. Von 34° — 39° 30' scheint die Kontinentalstufe wieder wohl entwickelt, wenigstens ist auf diesem Gebiete eine sehr geringe Tiefenzunahme bis 100 F., tiefere Peilungen fehlen.

Die Breite der Kontinentalstufe auf der Ostküste von Südamerika sei hier nur erwähnt; so ist dieselbe bei Riogrande do Sul 4° breit, dann finden sich sofort 1875 Faden. Sie verschmälert sich von Rio de Janeiro nördlich, gabelt sich bei Porto Seguro (s. u.) und verläuft von St. Roque ziemlich gradlinig nordwestlich bis Trinidad.

Yukatan und Florida, mit sehr breiter Küstenstufe, werden durch eine schmalere Stufe längs der mexikanischen Küste verbunden. Von Florida nördlich, an der Ostküste der Vereinigten Staaten, wird die Küstenstufe stetig breiter, um endlich in der Neufundlandbank 47° W. L. zu erreichen; an der Küste von Canada wird sie schmaler.

Das sind in flüchtigen Zügen die Verbreitungsgebiete der Kontinentalstufe, welche sich überall durch anfängliche geringe,

1) South America West Coast Sheet XI. 1836—65. Bl. 1278.

2) South America West Coast Sheet IX.

später sehr rasche Tiefenzunahme auszeichnet. Eine Reihe von Küstengebieten, welche uns noch spezieller beschäftigen sollten, wurden hier übergangen.

Jedenfalls ist die Kontinentalstufe eine Erscheinung, welche fast an allen Küsten auftritt, und nachdem somit Theorie und Erfahrung sich gegenseitig Recht geben, spreche ich aus: Die Kontinente sind gewöhnlich von Flexuren umgeben und der Verlauf der sogenannten Hundertfadenlinie entspricht dem gesenkten Flügel des Antiklinalrückens. Das Gebiet der Hundertfadenstufe besteht aus Schichtenköpfen, also aus anstehendem Gestein, und gehört nicht zum Meeresbecken, sondern zum Kontinent.

Es ist auch eine andere Anschauung über die Entstehung der Hundertfadenstufe denkbar, welche ihren Ausdruck findet in dem Profil, das v. RICHTHOFEN<sup>1)</sup> S. 415 giebt und mit folgenden Worten erläutert: „Die Tiefe von 200 m entspricht demjenigen Abstand von der Oberfläche, bis zu welcher an den Küsten der offenen Ozeane eine Umlagerung des dem Festlande entnommenen Zerstörungsmaterials durch die Wellenbewegung des stürmisch aufgeregten Meeres nachgewiesen ist.“ Es würde dann das Profil der Hundertfadenstufe einem Schuttkegel lockeren Materials entsprechen, welcher sich längs der Küsten gebildet hat.

Diese Anschauung hat viel Verlockendes und ich muß sie diskutieren, ehe ich die weitere Durchführung der meinigen versuche.

Der Kernpunkt der eben geschilderten Anschauung liegt einerseits darin, daß die Hundertfadenstufe aus aufgeschüttetem Materiale entstand, anderseits darin, daß die über die ganze Erde relativ gleichmäßigen Kräfte der Brandung auch überall gleiche, oder annähernd entsprechende Wirkungen hervorgebracht haben.

Die englischen Admiralitätskarten ziehen die Hundertfadenlinie um alle Küsten gleichmäßig herum; und es könnte so scheinen, als ob jede Küste eine allmähliche Neigung bis zu 200 m, dann ein steileres Abbrechen erkennen ließe. Diese Meinung wird noch dadurch bestärkt, daß die Mehrzahl der Peilungslinien mit der Tiefe von 100 F. aufhören, daß größere Tiefen nur sporadisch gelotet werden. Dem praktischen Seemann bietet das tiefere Fahrwasser keine Gefahren und daher kein Interesse und eine Küste, welche bis zu 100 F. genau durchlotet wurde, ist für nau-

---

1) l c.

tische Zwecke gründlich durchforscht und bekannt — nicht so für unsere Studien. Es ist ein Irrtum, wenn man die Hundertfadenlinie gleichmäßig um alle Küsten zieht und daraus schließen will, daß überall auch eine Hundertfadenstufe vorhanden sei, die Verhältnisse der Küstenabdachung sind zwar gesetzmäßig, aber ebenso mannigfaltig als die Morphologie der Kettengebirge.

Auf die Küstengebiete Süditaliens läßt sich das Schema der Hundertfadentiefe nicht anwenden, der innere Golf von Neapel ist allerdings 200 m tief und hier ganz gleichmäßig gestaltet, dann folgen größere Tiefen und ein viel differenziertes Bodenrelief, aber der Golf von Salerno sinkt von Positano<sup>1)</sup> südlich zu 8, 15, 32, 44, 51, 52 Faden, dann steigt der Meeresboden zu 363, 385, 422 F. und wahrscheinlich noch größeren Tiefen. Die Deutung, welche ich in einer brieflichen Mitteilung<sup>2)</sup> dem geschilderten Profil gegeben habe, als einem staffelförmigen Absinken, halte ich nach weiteren genauen Studien auch heute noch aufrecht. Hier ist die Küstenstufe, wenn man von einer solchen sprechen darf, durch Verwerfungen gebildet und keine Erosions- oder Brandungsform.

Die Meerenge von Gibraltar<sup>3)</sup> ist zwischen 5° 40' und 6° 15' Oe. L. gleichmäßig gebaut wie ein Becken, die Horizontalen von 200, 300, 400 F. folgen in ihren Abständen und Biegungen genau der Küstenlinie und der Hundertfadenlinie und erst im östlichen Teile läßt sich eine flache Küstenstufe von einem steileren Einfallen jenseits der Hundertfadenlinie trennen und unterscheiden.

Ein Profil durch die Floridastraße von Sandkey nach Havana<sup>4)</sup> zeigt von Nord nach Süden eine fast völlig proportionale Tiefenzunahme von 950 F. auf eine Strecke von 1° 15', dann aber steigt die Küste von Cuba in 10' empor, das ist eine anfängliche Senkung von 13 F. pro Minute, dann eine Steigung von 95 F. pro Minute, aber beides gleichmäßig ohne Küstenstufe.

Diese drei Beispiele mögen hier genügen, um zu beweisen, daß die Hundertfadenlinie und die Hundertfadenstufe keine ausnahmslose Erscheinung sei, daß ihr kontinuierlicher Verlauf auf den Seekarten

1) Gulf of Naples 1857—78. Bl. 1728.

2) Zeitschr. d. d. geol. Gesellsch. XXXVII Heft 2.

3) Strait of Gibraltar 1859. Bl. 142 und Gibraltar to Alicante 1877. Bl. 2717, auch Stieler Handatlas Bl. 35a.

4) Straits of Florida (General Chart of the Coast) X.

nur ein praktisches Merkmal ist und keine wissenschaftliche Thatsache verbürgt. Die Hundertfadenlinie fehlt an manchen Küstenteilen.

Auf die wechselnde Breite der Hundertfadenstufe macht schon v. RICHTHOFEN aufmerksam. An der Westküste von Cornwall ist sie 550 km breit, an der Südküste von Norwegen kaum 10 km<sup>1)</sup>. Auf der Westküste von Florida<sup>2)</sup> beträgt der Abstand der Hundertfadenlinie von der Küstenlinie 2° 40', auf der Ostküste nur 5'. Am auffallendsten ist der Breitenunterschied der Küstenstufe an den Küsten Südamerikas. Während dieselbe auf der Westseite des Kontinentes kaum bemerkbar die Küste säumt, erreicht sie zwischen Rio de Janeiro und dem Feuerland eine Breite von 5—8°, an den Falklandsinseln sogar gegen 12 Längengrade. Die Hundertfadenstufe oder „Küstenstufe“, d. h. der Abstand zwischen Küstenlinie und Hundertfadenlinie oder „Kontinentallinie“ ist an benachbarten Küsten von sehr wechselnder Breite. Das zuletzt genannte Beispiel erläutert aber noch ein anderes Verhältnis: Wenn die Küstenstufe aus aufgeschüttetem Material bestünde, so müßte sie in einem gewissen Sinne abhängig sein von Meeresströmungen. Denn, wenn eine Strömung an einer halbinselartigen Landbarriere vorbeizieht, so müßte auf der Leeseite mehr transportiertes Material abgesetzt werden, als auf der der Strömung zugewandten Küste. Eine Thatsache spricht allerdings für das eben Gesagte. Denn die Halbinsel Yukatan<sup>3)</sup>, an welcher der Golfstrom vorbeiströmt, besitzt auf ihrer Ostseite eine überaus schmale Küstenstufe. Bei der Arrowsmithbank in 21° N. Br. verbreitert sich dieselbe ganz rapid<sup>4)</sup> und erreicht nördlich beim Eintritt des Golfstroms in den Golf von Mexico fast 2½°. Allein das Verhältnis ist gerade umgekehrt beim Austritt des Golfstroms zwischen Florida und Cuba. Die Küstenstufe ist auf der dem Golfstrom zugewandten Seite von Florida 2° 40' breit, auf der Leeseite der Halbinsel dagegen nur ⅓ der genannten Breite, also gerade umgekehrt, wie es die Theorie verlangte.

Die Kontinentallinie längs der Ostküste von Nordamerika zeigt drei stärkere Ausbuchtungen unter 27°, 29°, 33° N. Br.:

1) Stieler Handatlas Bl. 15 a.

2) East coast of North America from New York to Florida street. 1874.

3) Gulf of Mexico Westindies Sheet 4. 392 d.

4) East of Yukatan Sheet I. Bl. 1205.

die als „Cold Wall of the Gulf stream“<sup>1)</sup> bezeichnete Außenströmung des Golfstromes geht geradlinig über diese Ausbuchtungen hinweg, sie folgt also weder dem Bodenprofil, noch bedingt sie dasselbe. Endlich bieten die Mündungsgebiete der größeren Flüsse das beste Objekt, um zu beweisen, daß lockeres Material nur eine lokale Bedeutung besitzt für die Gestalt des Küstenabfalls. Das Sediment des Amazonasstromes reicht nur wenig seawärts, denn nach 2<sup>o</sup> Küstenabstand<sup>2)</sup> kommen Lotungen von 500 und 2010 F. und die Kontinentallinie zieht ganz gleichmäßig über das Mündungsgebiet dieses Flusses hinweg. An der Senegalmündung<sup>3)</sup> fehlt die Kontinentallinie und an dem Delta des Mississippi wie des Ganges kann man sich überzeugen, wie wenig dasselbe der Annahme entspricht, daß lockeres Material als Küstenstufe längs der Kontinente aufbereitet werde.

Es dürfte wohl kaum bestritten werden können, daß Schuttmassen, welche dem Meere zugeführt werden, sich als eine Schutthalde auch an den Küsten anhäufen und daß durch die oberflächliche Wellenbewegung bis zu wechselnder Tiefe ein Profil entstehen kann, welches dem Profil der Küstenstufe entspricht. Allein es fragt sich, ob diese Schutthalden jene Ausdehnung und jene überaus wechselnden Dimensionen erhalten können, welche die Küstenstufe thatsächlich besitzt, und das Fehlen der Küstenstufe ist unter solcher Voraussetzung besonders schwierig zu erklären. Außerdem erfolgt beim Vorhandensein einer Küstenstufe der Übergang der flachen in die steile Neigung so rasch, wie er unter Meer aus Schutt kaum entstehen und beharren dürfte. Endlich aber spricht noch eine gewichtige Thatsache dagegen. Ich habe im Verlauf meiner Auseinandersetzungen das Wort Hundertfadenlinie allmählich durch Kontinentallinie und Hundertfadenstufe durch Küstenstufe oder Kontinentalstufe ersetzt, um eine Ideenassociation zu vermeiden, welche nahe lag, daß nämlich jene Grenze stärkeren Küstenabfalls immer in der Tiefe von 100 Faden liege. Ebenso wie die Hundertfadenlinie fehlen kann, so kann sie sich auch in eine Fünfhundertfadenlinie verwandeln, mit anderen Worten, der steile Küstenabfall ist an keine bestimmte Tiefe unter dem Meeresniveau gebunden. Allein diesen Satz im einzelnen überall nachzuweisen, ist vorläufig nicht mög-

1) East Coast of North America 1874.

2) South America East coast Sheet III.

3) North Atlantic Ocean 1883. Bl. 2059.

lich. Die Seekarten sind in diesem Sinne nicht objektiv genug, die Lotungen hören oft in der Tiefe von 100 F. auf und werden dann spärlich und ungenau und so sind es gegenwärtig nur die europäischen und Mittelmeerküsten, welche vereinzelte Beiträge zu diesem Kapitel liefern. Westlich von Irland erfolgt der Küstenabfall in 500 F. Tiefe (Procupinebank) und diejenige Isobathe, welche Cypern mit Kleinasien verknüpft und jenseits deren der Steilabfall beginnt, ist ebenfalls 500 F. tief. Wenn erst die deutsche Kriegsmarine so genaue und sorgfältige Karten aus fremden Meeren liefert, wie wir sie jetzt von Nord- und Ostsee besitzen, dann wird auch auf diese interessante Frage Licht geworfen werden.

Alles das aber, was ich bisher vorgebracht habe, und viele weitere Thatsachen, welche sich denselben anschließen, beweisen, daß die Küstenstufe nicht durch aufgeschüttetes Material entstand, wir werden später sogar nachzuweisen versuchen, daß sie wesentlich von anstehendem Fels gebildet wird.

Allein wenn die Küstenstufe nicht aus lockerem Material besteht, so wäre denkbar, daß sie wesentlich Abrasionsform sei, daß also die Breite der Küstenstufe einen Schluß machen lasse auf das Alter einer Küste. Je weicher ein Küstengestein ist, um so leichter kann es die Brandung bearbeiten, und vulkanische Inseln müßten dann am deutlichsten und schärfsten die Küstenstufe erkennen lassen. Als Beleg für eine solche erodierte Küstenstufe möchte ich die vulkanische Insel Galita anführen an der Küste von Tunis<sup>1)</sup>. Die Lotung von Kap Serrat über Galita hinaus läßt folgende Tiefen erkennen: 15, 76, 90, 104, 81, 59, 40, 45, 36, Galita 14, 53, 65, 145, 240, 1092 Faden. Also allmähliches Sinken der Küste, darauffolgendes Ansteigen der vulkanischen Insel (Taf. X, Fig. 2), welche sich auf einem 60—100 Faden tiefen Plateau erhebt, das seewärts aus 1394 Faden steil ansteigt. Aber an anderen vulkanischen Inseln habe ich trotz aller Sorgfalt kein derartiges Profil finden können. Gewöhnlich besitzen die ozeanischen Vulkane unter Meer eine fast ebenso steile gleichmäßige Böschung, als über dem Wasserspiegel und die Erscheinung der Küstenstufe, welche an den Grenzen der Kontinente so regelmäßig auftritt, fehlt an isolierten Inseln fast ebenso regelmäßig. (Siehe Taf. X, Fig. 3).

Ebenso wenig wie die Annahme von lockeren Schutthalden das Problem der Küstenstufe löst, so vermag auch die Abrasion

1) Sardinia to Malta 165.



der Brandung für sich das Problem nicht aufzuklären, und, wie so oft, werden wir auch hier zu der Anschauung geführt, daß verschiedene Faktoren gemeinsam zusammenwirken.

Indem wir nun zurückblicken auf das, was wir bisher festgestellt haben, kommen wir zu folgendem Resultat: Die Küsten der meisten Meere zeigen ein allmähliches Zunehmen der Meerestiefe bis gegen 100 Faden, dann wird der Böschungswinkel wesentlich steiler. Die Grenze der auf solche Weise abgegrenzten Kontinentalstufe, welche wir mit dem Namen Kontinentallinie bezeichnen, ist jedoch an die Tiefe von 100 Faden nicht gebunden und kann auch in anderen Tiefen verlaufen. An manchen Küsten scheint die Kontinentalstufe überhaupt zu fehlen. Es ist nicht anzunehmen, daß diese Böschungsform durch lockeres Schuttmaterial entstand, noch daß es eine bloße Erosionsrinne sei. Dagegen harmoniert die Thatsache der Kontinentalstufe vollständig mit der Annahme, daß die Kontinente von Flexuren umgeben seien, denn dann muß infolge der Dehnung aller Schichten über der Normalenebene des Antiklinalsattels der Flexur und bei der hohen Erosionskraft des Meeres in der Brandungszone ein Spaltenthal entstehen, welches längs der Küsten verläuft. Das Fehlen der Kontinentalstufe erklärt sich dadurch, daß an solchen Stellen die Küstenflexur in eine Verwerfung übergegangen ist oder durch eine noch näher zu untersuchende Verschiebung des Meeresniveau. Die Breite und Tiefe der Kontinentalstufe ist abhängig von dem Krümmungshalbmesser der Schichtenbiegung.

### 3. Die Wallriffe.

Es ist überaus schwierig, die Untergrundverhältnisse genau zu ermitteln, welche günstig sind für das Wachstum der Korallenriffe. Denn indem ein Korallenlager entsteht, ist es als solches nicht zu erkennen, und wenn es seine Bildungshöhe erreicht hat, so ist der Untergrund verdeckt. An vereinzelten Stellen tropischer Küsten hat man pleistocäne Riffe gefunden. Ich beziehe mich hier wesentlich auf EHRENBERG, welcher über ein Jahr hindurch am Roten Meere weilte und die dortigen Riffe untersuchte<sup>1)</sup>. Auf S. 46 sagt der Autor: „Die lebenden sowohl toten Korallenstämme bilden nirgends im roten Meer übereinander gehäufte hohe Lagen, sondern sie geben nur den einfachen Überzug der meisten unter-

1) Über die Natur und Bildung der Koralleninseln im roten Meer. Berlin 1834.

seeischen Felsen . . . . . Nur Felsboden zeigte dichten Korallenüberzug, im Sande fanden sich keine, oder nur kümmerliche, verschlagene Korallen“.

In anderen Korallengebieten sind ähnliche Beobachtungen gemacht worden, und nachdem an verschiedenen jung entblößten Riffen die geringe Mächtigkeit derselben nachgewiesen worden war, hat man verallgemeinert und sucht im Gegensatz zu DARWIN alle Korallenriffe für flache Krusten zu erklären. Die 1000 m mächtigen Korallenkalke der Alpen sollten vor solchen Schlüssen zurückhalten, und wenn für eine Reihe von Riffen die geringe Mächtigkeit nachgewiesen wurde, so darf dieses Urteil noch immer nicht auf alle Fälle angewandt werden.

Ich mußte diese Worte vorausschicken, um den Verdacht zu beseitigen, als ob ich verallgemeinern wolle, was ich für eine Anzahl von Fällen nachweisen kann, daß gewisse Korallenriffe nur eine geringe Mächtigkeit besitzen.

Beschäftigt mit einer geologischen Durchforschung des Golfes von Neapel, hatte ich mir die Aufgabe gestellt, die Verbreitung und Entstehung der Sedimente zu untersuchen und die Bildung aller jener Reliefformen des Meeresbodens zu studieren, welche für das Tierleben im Golfe von beeinflussendem Werte sind. Im Golfe von Neapel und dem von Salerno sind Kolonien von *Coralium rubrum* nicht selten und die Standorte desselben sind wohlbekannt. Diejenigen Stellen, auf denen Korallen gefischt werden, haben immer einen felsigen Untergrund. Es ist wohl schwierig, den Meeresgrund in Tiefen von 60—250 m sicher beurteilen zu wollen, allein es giebt Wege genug, um indirekt zu einem Schlusse zu kommen. Und auf Grund langer sorgfältiger Studien habe ich dort erfahren, daß jene Felsen, auf denen Korallen wachsen, entweder von Schichtenköpfen des Apenninkalkes, oder von Denudationsresten vulkanischer Inseln gebildet werden. Die Korallen fehlen stets, wo der Boden gleichmäßig eben ist und wo Schichtentafeln denselben bilden.

Eine Frage bleibt immer noch zu lösen, nämlich, ob nicht die Korallenkolonien, welche an einer kleinen Klippe zu wachsen anfangen, im stande sind, sich zu verbreitern und auszu dehnen auf benachbartes nichtfelsiges Terrain. Die Korallenfischer von Castellamare bei Neapel verkaufen fußgroße Stücke eines Korallengesteins von der Korallenbank bei Sciacca zwischen Sizilien und Afrika. Diese Bank liefert bekanntlich die meisten Edelkorallen, merkwürdigerweise aber sind alle dort ge-

fundenen Korallen abgestorben (vielleicht infolge der Eruption von San Ferdinanda). Jenes Korallengestein besteht aus Zweigen von *Corallium*, von *Oculina*, von *Dendrophyllia*, dazwischen liegen Echinodermenfragmente, viele *Megerlea* und andere Reste, welche alle zu einem maschigen, aber sehr festen Gestein verkittet wurden. Diese Stücke können wohl als Belege dafür dienen, daß am Meeresgrund durch die Thätigkeit der Korallen selbst eine Art Rost entstehen kann, welcher der Kolonie erlaubt, auch auf nicht-felsigem Terrain weiter zu wachsen. Aber auch für solche Fälle glaube ich annehmen zu sollen, daß das Wachstum an felsigen Stellen begonnen habe. Und es scheint mir wichtig, darauf hinzudeuten, daß zu den beiden Faktoren, welche DARWIN, DANA und andere Forscher als notwendig erkannten für das Leben der Riffkorallen, noch eine dritte Vorbedingung hinzugefügt werden müsse, daß tropische Breite, geringe Meerestiefe und felsiger Untergrund zusammenwirken müssen, wenn ein Korallenlager gedeihen soll. Fehlt einer dieser Faktoren, so können auch keine Korallenriffe entstehen und ich zweifle nicht, daß es auf solche Weise gelingen wird, die rätselhafte Verteilung der Korallenriffe in den Ozeanen zu erklären. Folgende Thatsachen mögen als Vorstudien für eine derartige vergleichende Arbeit gelten.

Das bekannteste und typische Wallriff befindet sich auf der Ostküste Australiens<sup>1)</sup>, es ist das Great barrier reef. Als oft unterbrochener Gürtel folgt es der Küste (s. Taf. XII, Fig. 2), die Lücken aber zwischen den einzelnen Riffstrecken werden von der Hundertfadenlinie eingenommen. Zwar ist der darauffolgende Steilabfall nicht so tief wie an afrikanischen oder amerikanischen Küsten, aber an mehreren Stellen werden doch Tiefen von 1400 Faden angegeben (Taf. XII, Fig. 2). Jedenfalls darf als sicher betrachtet werden, daß das Great barrier reef auf dem Gebiete der Kontinentalstufe gewachsen ist.

Ein Gleiches gilt für die ostafrikanische Küste. Sansibar<sup>2)</sup>, eine Koralleninsel, liegt innerhalb der Kontinentalstufe. Das schönste Beispiel bietet das Rote Meer, allein das dortige Profil (Taf. XI, Fig. 4) wird durch eine neue Erscheinung kompliziert oder vielleicht besser vereinfacht, welche wir im folgenden Abschnitt spezieller besprechen werden. Ich will daher nur hervorheben, daß auch die Korallenriffe des Roten Meeres auf den Gebieten der

1) Western Pacific Chart 2 1886.

2) Kilwa Pt. to Zanzibar Channel 1876 Bl. 662.

Kontinentalstufe wachsen. Ein Gleiches gilt von den Korallenriffen des Golfes von Mexico, dessen Topographie wir oben schilderten.

Wenn unsere Erklärung der Kontinentalstufe als eines Spaltenthales die richtige ist, so muß das Gebiet derselben von den Schichtenköpfen des gesenkten Antiklinalflügels gebildet werden; dieser Schluß wird bestätigt durch die Anordnung der Wallriffe von Australien, Zentralamerika und Afrika, welche auf der Kontinentalstufe gewachsen sind und mit großer Wahrscheinlichkeit den Schluß erlauben, daß die Kontinentalstufe von anstehenden Felsklippen gebildet wird.

Wir werden somit zu der Anschauung geführt, daß die genannten Korallenriffe eine nur geringe Mächtigkeit besitzen, vielleicht nur wenige Meter unter den Meeresspiegel hinabreichen.

Und wenn es wahr ist, was aus den vorhandenen Peilungen hervorzugehen scheint, daß die Westküste des tropischen Südamerikas keine Kontinentalstufe besitzt, so ist das Fehlen von Barrièrenriffen daselbst genügend erklärt; warum die Westküste Afrikas keine bedeutenden Korallenriffe besitzt trotz der Anwesenheit einer Küstenstufe, ist freilich noch zu erklären, vielleicht war die Vulkanreihe ein Hindernis des Korallenwachstums; oder spielt das Alter des Meeresbeckens und die Tiefe der Kontinentalstufe eine wichtigere Rolle?

#### 4. Die Küstenvulkane.

Die Hundertfadenstufe konnten wir als den antiklinalen Teil einer Flexur erklären und das, was wir als den Ausgangspunkt der Erörterungen voraussetzten, das wurde im Verlaufe derselben bewiesen: daß die meisten Küsten von einer Flexur gebildet werden, wir fanden zweitens in den Thatsachen einiger bedeutender Wallriffe Beweise dafür, daß die Kontinentalstufe aus anstehenden Felsen gebaut ist. Allein wir haben den Beweis für die Anwesenheit von Flexuren nur an der Antiklinalhälfte durchgeführt und müssen nun die synklinalen Teile der Küstenflexuren einer Prüfung unterwerfen. Das Vorhaben ist ungleich schwieriger, denn die Lotungen jenseits der Hundertfadenlinie sind spärlich und das Meer ist tief.

In dem einleitenden Kapitel hatten wir S. 6 folgendes feststellen können: „Die antiklinalen Spaltenthäler sind nur unter der Annahme zu erklären, daß der Schichtenverband über der Normalenebene gelockert wurde, und so werden wir zu der Überzeugung gebracht, daß bei synklinaler Schichtenbiegung eine Lockerung der

Schichten unterhalb der Normalebene stattfinden. Mag sich diese Lockerung in einfacher Cohäsionsverminderung oder in der Bildung wirklicher Spalten äußern, die Notwendigkeit ähnlicher Erscheinungen wird zugegeben werden müssen.“

Man hat sich heute zu der Anschauung gewöhnt, daß vulkanische Eruptionen abhängig sind von tektonischen Störungen; und obwohl die hier vorgelegten Studien den Zweck haben, neue und tektonisch präzisere Beweise für jenen Grundgedanken zu bringen, so wollen wir ihn doch jetzt aus methodischen Gründen als die Voraussetzung unserer Darlegung betrachten. Das eruptive Material der Tiefe steht unter dem Druck der umspannenden Rinde und vermag nur da flüssig zu werden und emporzudringen, wo eine Festigkeitsverminderung in der Erdrinde eintritt und der Druck nachläßt. Die Eruption ist davon abhängig und wird um so leichter erfolgen, je tiefer die Lockerung unter der Erdoberfläche hinabreicht. Somit wird bei antiklinale Schichtenbiegung der ungünstigste Fall vorliegen. Denn hier tritt eine oberflächliche Lockerung der Schichten ein, während alle Schichten unter der Normalebene zusammengedrückt und dichter werden. Und obwohl ältere Vulkanischemata (bis auf das bekannte Schema der Erhebungskrater) eine antiklinale Stellung der Schichten um den Eruptivschlund postulieren, so bezweifle ich entschieden, ob auch nur ein sicherer Fall solcher Art beobachtet worden ist.

Eine Eruption wird um so leichter und nachhaltiger erfolgen können, je mehr sich die daselbst vorhandene Dislokation einer synklinale Schichtenstörung nähert. Bei allen tektonischen Senkungen aber werden synklinale Schichtenbiegungen ausgeführt. Inmitten der Einsturzkessel, welche die Westküste Italiens säumen, befinden sich Vulkane, der Kessel des Ries ist ein Schauplatz vulkanischer Thätigkeit gewesen; die Euganeen tauchen aus der lombardischen Ebene und vulkanische Inseln umgrenzen das Mittelmeer. So konnte Süss<sup>1)</sup> das Wort aussprechen: „Wir sind gewohnt vulkanische Erscheinungen an Senkungen auftreten zu sehn.“ Ob dieser Erfahrungssatz allgemeine Gültigkeit habe, wollen wir im letzten Abschnitte besprechen, hier genüge uns die Thatsache, daß Vulkane an Senkungen auftreten, und daß bei Senkungen eine synklinale Schichtenstellung das Empordringen eruptiven Materials erleichtert.

1) Antlitz der Erde Bd. I S. 198.

In allen den Fällen, wo Küstengebiete genau durchlotet und wohlbekannt sind, kann man nachweisen, daß die Küstenvulkane jenseits der Hundertfadenlinie aus der synklinalen Mulde der Küstenflexur emporsteigen.

Die Ponzainseln erheben sich jenseits der Continentalstufe, desgleichen treten die Liparen und Ustica aus Tiefen von 1000 Faden zum Meeresspiegel empor. Pantelleria<sup>1)</sup> steht in dem Winkel der breiten sizilischen und afrikanischen Küstenstufen auf 400 Faden Tiefe, Linosa ausserhalb der Stufe aus 300 Faden, Lampedusa steht auf der Grenze der Stufe, wahrscheinlich ist sie durch Aufschüttung mit dem Continent verbunden. Das Aufsteigen Galita's aus 1394 Faden Seetiefe jenseits der Kontinentalstufe zeigt das schon besprochene Profil (Taf. X, Fig. 2). Die kleinen Vulkane der nordafrikanischen Küste stehen ebenfalls am Rande der Stufe. Die kanarischen Inseln zeigen geradezu typische Verhältnisse und das Profil (Taf. XI, Fig. 3) von Cap Juby über Fuerte ventura spricht für sich. An diesen, wie an weiteren Profilen wurde eine punktierte Linie als die Basis des Vulkanes nach den Lotungen beiderseits der Vulkaninsel eingezeichnet, welche somit dem Bodenprofil entspricht, auf dem der Vulkan aufgeschüttet wurde. Die Azoren und Kap Verdischen Inseln liegen zu fern von der Küste, um über ihr Verhältniss zu derselben einen Schluß machen zu können. Dafür habe ich ein Profil (Taf. X, Fig. 3) gegeben<sup>2)</sup>, um den sanftwelligen Boden zwischen San Miguel und Terceira zur Darstellung zu bringen, welcher keine Erosionsformen erkennen läßt, die der Küstenstufe entsprächen.

Sehr belehrend ist wieder ein NW—SO Profil im Golfe von Guinea quer über Fernando Po<sup>3)</sup>, welcher zeigt, wie die vulkanische Inselreihe St. Thomas-Kamerunberg aus einem muldenförmigen Graben austritt. Die Komoroinseln stehen jenseits der afrikanischen, die Inseln Mauritius und Bourbon jenseits der madagassischen Kontinentalstufe.

Das Profil (Taf. XI, Fig. 4) ist quer durch den südlichen Teil des Roten Meeres gelegt, dort wo die vulkanischen Inseln Jebel Teir und Jebel Zebayir aus 250 Faden emporsteigen<sup>4)</sup>. Die beiden Küsten werden begrenzt von dem hier sehr breiten

1) Sardinia to Malta including Sicily Bl. 165.

2) Nach Azores Bl. 1950.

3) Nach West Coast of Africa Sheet XIX. Bl. 1357. 1876.

4) Nach Red Sea Sheet 4. 1873. 8 d.

Gebiete der Kontinentalstufe, besetzt mit Korallenriffen und Tiefen von 26—40 Faden, beiderseits von Zebayir sind Tiefen von 226 und 225 Faden gelotet. Die Beziehungen der Riffe und der Vulkane zu den einzelnen Teilen der Doppelflexur bedürfen keiner Erläuterungen. Das Ganze beweist nur, daß dieser Teil des Roten Meeres kein durch Brüche abgeschnittener Graben, sondern eine Grabenmulde ist. Über die Vulkane der Sundainseln, der Philippinen, Japans und der Kurilen<sup>1)</sup> darf ich nicht sprechen, denn hier sind die mir zugänglichen Seekarten für diesen Zweck durchaus ungenügend; dafür ist das Behringsmeer mit den Aleuten ein guter Beleg für die hier vertretenen Anschauungen. Wie Taf. X, Fig. 1 zeigt<sup>2)</sup>, finden sich in der Behringssee, deren östlicher Teil sehr genau durchlotet ist, Tiefen von 30—100 Faden, das ganze Gebiet ist Flachsee und gehört zur Küstenstufe. Gegen Süden, nahe an der vulkanischen Inselreihe erfolgt ein ganz rapider Absturz zu 900—1200 Faden, jenseits dessen die Aleuten mit ihren Krateren aus dem Meere heraustreten. Südlich der Aleuten nimmt die Tiefe des Meeres von 1000 Faden stetig zu. Zwischen den einzelnen Aleuten sind ebenfalls Tiefen von 900 Faden gelotet, ein Beweis, daß dieselben nicht auf einem submarinen Kamme, sondern in der Tiefe einer topographischen Mulde stehn. Ostamerika trägt eine Vulkanreihe nicht jenseits sondern auf der Küste, welche Verhältnisse hier walten, kann ich nicht bestimmen. Dagegen ist das Profil vom Cap St. Roque über Fernando Noronha nach dem bekannten Schema gebaut. Über die Vulkane der Antillen haben wir im nächsten Abschnitte zu handeln. Ich glaube aber durch die hier gebrachten Thatsachen den Satz genügend belegt zu haben: daß die Küstenvulkane an den synklinalen Teil der Küstenflexur gebunden sind, und daß die regelmäßige Anordnung der Eruptivpunkte jenseits der Hundertfadenlinie ein neuer Beweis dafür ist, daß die Küsten meist von Flexuren gebildet werden.

##### 5. Ozeanische Gräben und Brüche.

Große Gebiete des Festlandes sind durch Vegetationsdecken dem prüfenden Auge des Geologen verborgen und nur schwer vermag er die tektonischen Grundzüge einer solchen Gegend zu

1) The Kurile Islands Bl. 2405.

2) Nach Pacific Ocean Sheet 2 Bl. 2460.

entziffern. Wie viel schwieriger ist es die Tektonik des Meeresgrundes enträtseln zu wollen und den Bau von Gebieten zu beurteilen, welche dem Auge und der Beobachtung durch große Wassermassen und junge Sedimente entzogen werden. Und doch bietet gerade das dunkle unerforschte Meer die anziehendsten Probleme und verleitet zu kühnen, vielleicht voreiligen Schlüssen. Wenn aber längere Beschäftigung mit dem Meeresgrund, wenn eine große Zahl eigener Peilungen und das sorgfältige Studium von etwa 1200 Seekarten ein gewisses Recht zum Urteil geben, so darf ich es wagen den unsicheren Boden zu betreten.

Die Ozeane sind Depressionsgebiete, sie werden von Flexuren, an manchen Küsten wohl auch von Brüchen umgeben — das haben wir bisher nachzuweisen vermocht. Depressionen aber werden heute aufgefaßt als eine Folge der Schrumpfung der Erdrinde. Die Volumenverringering des Erdinnern soll sich auf der Erdrinde in lateralen Faltungen, also tangentialer Bewegung, oder im Sinken einzelner Schollen, also radialer Bewegung äußern. Aber in welchem Verhältnis stehen tangentiale und radiale Bewegungen zu einander? Vertreten und ersetzen sie sich gegenseitig, oder stehen sie in einem causalen Abhängigkeitsverhältnis? Welches ist Ursache, welches Folge? Vielleicht ist die Gegenwart noch nicht berechtigt diese Frage zu beantworten, ehe nicht die tektonischen Züge des Antlitzes der Erde vollendet ausgearbeitet sind; aber stellen darf man die Frage und auf das darin enthaltene Problem hinweisen. Wenn gesenkte Gebiete später gefaltet werden, oder wenn tangential dislozierte Rindenteile später radialen Bewegungen unterworfen werden, so sind diese beiden Bewegungsarten nicht solche, welche sich gegenseitig vertreten, sondern sie müssen dann in einem anderen Verhältnis zu einander stehn.

Unter den Reliefverhältnissen des Meeresgrundes sind nächst den Formen der Kontinentalstufe vor allem anderen jene schmalen Senkungsrinnen auffällig, welche ich als Gräben deuten und bezeichnen möchte.

Während die Nordsee eine ziemlich gleichmäßige Tiefe von nicht unter 100 Faden besitzt, und Skandinavien steil mit schmalen, oder vielleicht ohne Küstenstufe absinkt, zieht sich vom Nordfjord ab ein 2° breiter Graben der norwegischen Küste entlang von Bergen nach Stavanger, Kristiansand und endet zwischen Udevalla und der jütländischen Nordspitze. Der Graben ist durchschnittlich 500 Faden tief und bildet eine parabolische Figur.

Als einen Graben fast Süß die Meeresenge von Messina



auf; es ist interessant zu sehen, wie zwischen Catania und Syrakus der Graben längs der sizilianischen Küste sich fortsetzt, denn während dort nahe der Küste Tiefen von 1600 Faden gelotet werden, zieht parallel derselben eine Bank von nur 30 Faden Tiefe<sup>1)</sup>. S. Taf. XII, Fig. 1. Der 3200 m tiefe Graben ist von steilen Wänden, also von Verwerfungen begrenzt und bildet die Verlängerung der Meerenge von Messina. Ein ganz ähnlicher Graben findet sich an der südamerikanischen Küste von Rio Janeiro<sup>2)</sup> zwischen 10° und 17° S. Br.; die Hotspurbank, welche ihn vom atlantischen Ozean trennt, liegt 55—170 Faden tief, der Graben durchschnittlich 800 Faden.

Zwischen Cuba und der Bahamabank verläuft ebenfalls ein ziemlich tiefer und abschüssiger Graben; Cuba, Jamaica und St. Domingo haben so scharfe und steile Ränder, daß es Horste sein müssen von Brüchen umgeben. So lotet man von Jamaica nach Santiago de Cuba<sup>3)</sup>: 800, 1100, 1419, 1337, 1461, 1612, 1737, 2147, 3138, 2636, 1311, 507 Faden, ohne Andeutungen einer Küstenstufe.

Ein ganz merkwürdiger Graben dringt südlich der kleinen Sundainseln bis 133° Östl. L. vor. Der Golf von Carpentaria<sup>4)</sup> ist nur 36 F. tief, die Arafurasee nur 80 F. Südlich von Moa, Sermattan, Masella, Timorlaut dringt nun eine schmale, aber 1700 Faden tiefe Rinne herein. Von dieser schmalen und verhältnismäßig kleinen Depression abgesehen, ist Neuguinea mit Australien topographisch eng verbunden durch ein von seichtem Wasser bedecktes ebenes Gebiet, während Kaiser Wilhelms Land aus 2000 Faden steil emporsteigt.

Diese kurzen Angaben mögen genügen, um darauf hinzuweisen, daß auch am Meeresgrund die schärfsten Niveauunterschiede vorkommen, daß tiefe und schmale Gräben in flache Meeresbecken einschneiden, oder in parallelem Zuge die Küste begleiten. Ich führe diese Thatsachen an, um auf die Mannigfaltigkeit der tektonischen Verhältnisse hinzuweisen und die Anschauung zu bestätigen, daß Verwerfungsbrüche auch am Meeresgrund eine Rolle spielen und somit wahrscheinlich auch manche

---

1) Sardinia to Malta including Sicily Bl. 165.

2) South America east coast Sheet V. Pernambuco to Brazil Bl. 529.

3) West India Islands and Caraibbean Sea Sheet III. Bl. 763.

4) Australia Northern Portion 1862—75 Bl. 2759.

Küsten nicht von Flexuren, sondern von Verwerfungen umgeben werden. Ist aber das letztere der Fall, so muß Küstenstufe und Küstenvulkan fehlen und die Küste in gleichmäßiger Böschung absinken, aber ein Barriärenriff kann sich auf den Schichtenköpfen des hängenden Bruchrandes recht wohl bilden.

Besonders eigentümliche Verhältnisse zeigt Mittelamerika. Topographisch besteht das amerikanische Mittelmeer aus drei einzelnen Becken, zwischen denen Züge von Inseln stehen blieben. 1) Der Golf von Mexico, nach Süden begrenzt durch die Misteriosabank und die Kaimansinseln. 2) Die See von Cuba nach Süden begrenzt durch den Inselzug Honduras — Rosalindbank — Serranillabank — Pedrobank — Jamaika und 3) das Caraimische Meer.

Von den schon erwähnten Steilrändern der großen Antillen und den breiten Küstenstufen bei Yukatan und Florida abgesehen, bieten die beiden ersten Becken wenig Interesse, sehr eigentümlich dagegen ist das Caraimische Meer gestaltet. Es bildet<sup>1)</sup> eine längliche Schale von gleichmäßiger Tiefenzunahme bis 2680 Faden, rings umgeben von flachen Rändern. Jenseits der Landenge von Panama ebenso wie östlich der kleinen Antillen sinkt das Meer steil bis über 3000 F. hinab. Am besten durchlotet ist der östliche Teil bei den Antillen und nach den neuesten Angaben wurde das Profil auf Taf. XI, Fig. 1 entworfen, welches SW—NO über Monserrat nach Antigua, dann (besserer Lotungen wegen) S—O von Antigua über Barbuda führt.

Das Profil schneidet die bekannte dreifache Inselreihe der kleinen Antillen; die innere Reihe (Monserrat) ist vulkanisch, die mittlere von Süß als mittelamerikanische Cordilliere bezeichnete Inselreihe besteht aus älteren Sedimentgesteinen, die äußere aber aus jüngsten Bildungen, darunter auf Barbados das bekannte Radiolarienlager. Das isolierte Auftreten eines heute nur in den größten Tiefen sich bildenden Sedimentes erlaubt den Schluß, daß das betreffende Gebiet einst in großer Meerestiefe gewesen, später aber aktiv oder passiv gehoben worden sei. Gegen eine passive Hebung spricht die Thatsache des isolierten Vorkommens am Außenrande eines Beckens. Denn wenn Barbados nur durch den Rückzug des Meeresspiegels entblößt worden wäre, so müßten sich verwandte Tiefsee-Sedimente an benachbarten Stellen auch finden. Vielleicht aber sind die Verhältnisse des neapolitanischen

---

1) West India Islands and Caribbean Sea. Sh. II. Bl. 762.

Beckens geeignet, das Rätsel seiner Lösung näher zu bringen, und ich verweise auf Profil Taf. XI, Fig. 2, welches NW—SO durch den Golf von Neapel und den Golf von Salern gelegt wurde. Der mittlere trennende Horst, die Halbinsel von Sorrent, ist der Bruchrand eines Beckens, welcher die Steilwand eines zweiten Beckens bildet. Die Bohrmuscheln, welche sich dort in 200 m Höhe finden, die durch Meereserosion entstandenen domartigen Grotten, welche auf der Südküste der Halbinsel von Sorrent in ungefähr 450 m und 200 m scharfe Horizonte bilden, sind Beweise für die bedeutende Verschiebung des Meeresstrandes an dieser Küste. Die Vulkane von Neapel stehen innerhalb des Beckens an einer Stelle synklinaler Schichtenbiegung; jenseits des Horstes von Sorrent auf den submarinen Klippen wachsen reichlich Kolonien von Korallen.

Die Übereinstimmung dieses Profiles mit dem Profil der kleinen Antillen ist von den Dimensionen abgesehen, eine sehr große. Eine mittlere Reihe von Horsten wird auf der Innenseite des Beckens von einer Vulkanreihe begleitet und trägt auf der Außenseite die deutlichen Spuren einer Strandverschiebung resp. Sedimente der Tiefsee. Die Vulkanreihe entspricht einer Zone synklinal gesenkten Gebietes und die äußeren Inseln entstanden auf dem Bruchrande des Kessels.

## 6. Kontinent und Festland.

Die Worte Kontinent und Festland werden oft in gleichem Sinne gebraucht, aber nachdem sich die Anzeichen mehren, daß das Meer aktive Bewegungen auszuführen vermag, ist es naturgemäß, daß sich die Grenzen und der Umfang des festen Landes verändern, ohne daß eine Veränderung der Gestalt der Reliefformen auf der Erdrinde damit parallel geht. Die Kontinente sind jene großen Reliefformen der Erdoberfläche, welche als älteste und größte Horste zwischen einsinkenden Rindenteilen stehen blieben, Festland aber ist alles feste Land im Gegensatz zu den wasserbedeckten Gebieten der Erdoberfläche. Ein Kontinent kann vom Meere transgredierend völlig überspült werden, das Festland verschwindet, aber der Kontinent bleibt erhalten. Wenn auch bei Afrika die Kontinent- und Festlandgrenzen ziemlich einander entsprechen, so ist das doch ein zufälliges Verhältnis und der Gegensatz der beiden Begriffe wird dadurch nicht vermindert.

Wir haben nachzuweisen versucht, daß die Kontinente an den

meisten Küsten von Flexuren umgeben werden, daß diese Flexuren aber auch durch Verwerfungsbrüche ersetzt werden können. Sind die Flexuren wohlentwickelte, so ist der antiklinale Teil derselben durch ein Spalenthal geteilt und es entsteht die Küstenstufe oder Kontinentalstufe, welche eine wechselnde Breite und wechselnde Tiefe besitzen kann, gewöhnlich aber durch die Isobathe von 100 Faden der Hundertfadelinie, oder besser Kontinentalinie seewärts abgegrenzt wird. Küstenvulkane treten in der Mehrzahl der Fälle jenseits der Kontinentallinie auf, in jener Zone, welche dem synklinale Teil der Küstenflexur entspricht. Allein solche Verhältnisse walten nicht überall, und die tektonische Struktur der submarinen Erdrinde steht an Complication und Mannigfaltigkeit hinter dem Bau der wasserentblößten Gebiete nicht zurück. Jeder einzelne Küstenteil muß gründlich und gestützt auf ein reicheres als das heute zugängliche Thatsachenmaterial bearbeitet werden. Der Geograph muß mit dem Steinhammer und dem Lotungsapparat gleichzeitig arbeiten, wenn wir einen Einblick gewinnen wollen in den Bau der Meeresbecken und seiner Grenzen.

Die erste Vorbedingung aber jeder derartigen Arbeit ist die, daß man die Festlandskarten durch Kontinentalkarten ersetzt, daß man jenes unsichere Element der Wasserbedeckung ausschaltet und reine Reliefkarten der Erdoberfläche geographischen oder geologischen Studien zu Grunde legt<sup>1)</sup>. Die mittlere Masse Europas wird eine ganz andere, wenn man berücksichtigt, daß Nord- und Ostsee von seichtem Wasser bedeckte Kontinentalegebiete seien (siehe Taf. XII, Fig. 1). Es wird die Aufgabe weiterer Arbeiten sein, aus der Breite der Kontinentalstufe an verschiedenen Teilen der Kontinente, Schlüsse zu ziehen und auf solche Weise ein methodisches Hilfsmittel zu gewinnen für die Beurteilung transgredierender Bewegungen des Meeresspiegels. Das Verhältnis von Wasser zu Land auf der südlichen Hemisphäre ist ein viel größeres, als auf der nördlichen Halbkugel.

---

1) Ich möchte bei dieser Gelegenheit auf einen den meisten marinen Übersichtskarten eigenen Fehler aufmerksam machen. Man zieht gewöhnlich nur die Isobathen von 100. 1000. 2000. 3000 Faden. Daß hierbei der Gegensatz der flachen Küstenstufe und des ziemlich ebenen Bodens der Meeresbecken gegenüber dem starken Steilabfall jenseits der Kontinentallinie vollständig verschwindet, ist lebhaft zu bedauern, und es wäre zu wünschen, daß man die Tiefseekarten der Atlanten in diesem Sinne objektiver und korrekter ausführe, entweder nur Isobathen von 100 oder solche von 500 eintrage.

Wenn man aber berücksichtigt, daß auch das Behringsmeer, daß die Ost- und Nordsee zum Kontinente gehören, daß die Kontinentalstufe längs der nordamerikanischen Ostküste eine ganz auffallende Breite besitzt, so wird jenes Verhältnis um so rätselhafter, sofern nicht ein antarktischer Kontinent vorhanden ist.

Alles das aber sind Probleme, die hier nur flüchtig gestreift werden können, vieles übergehe ich ganz.

## 7. Die Abhängigkeit der Vulkane von tektonischen Senkungen.

Der größere Teil der hier vorliegenden Studie war druckfertig ausgearbeitet, als ich Kenntnis erhielt von einer kürzlich erschienenen Arbeit A. v. KÖNEN'S: Über das Verhalten von Dislokationen im nordwestlichen Deutschland.<sup>1)</sup> In dieser Arbeit werden die Beziehungen der Spaltenthäler und vulkanischer Eruptionen zur Faltenbildung in einer Weise charakterisiert, welche dem Grundgedanken meiner Arbeit vollständig entspricht. Ich möchte eine umso größere Bedeutung der v. KÖNEN'schen Arbeit beilegen, weil der Verfasser zu seinen Schlüssen gelangt, auf Grund eines Thatachenmaterials, welches ganz andere als die von mir behandelten Gebiete betrifft. Die Abhängigkeit der Vulkane von synklinaler Schichtenstellung wird dort klar ausgesprochen und durch eine schematische Figur erläutert. Denn v. KÖNEN sagt S. 72: „Zu bemerken ist ferner, daß nach allem, was ich gesehen habe, der Basalt weit häufiger aus Muldenspalten (Synklinalen) als aus Sattelspalten (Antiklinalen) hervorgekommen ist. Es kann dies wohl zum Teil dadurch erklärt werden, daß die unten weiter klaffenden Muldenspalten leichter dem Basalt den Durchtritt gewährten, vielleicht ist aber hiermit noch verbunden, zu denken, daß bei der Sattel- und Muldenknickung vor allem in den Muldenlinien ein Druck auf die Unterlage ausgeübt, und diese, falls sie feurigflüssig resp. plastisch war, durch die entstandene Spalte emporgedrückt wurde.“ Es werden mehrere Beispiele aus der Rhön angeführt, welche den Zusammenhang von synklinaler Schichtenstellung und Vulkanen zur Darstellung bringen. Indem ich mich also hier auf die von v. KÖNEN ausgesprochene Ansicht berufe, möchte ich erwähnen, daß auch frühere Litteraturangaben über dies Verhältnis vorliegen. So giebt

---

1) Jahrbuch der Königl. preuss. geol. Landesanstalt 1885.

schon POULET SCOPE in seinem trefflichen Werk „Über Vulkane“ auf S. 244 in Figur 65 ein schematisches Bild der Eruption auf synklinalen Schichten. E. v. MOJSISOVICS sagt in seinen „Dolomiterriffen von Südtirol“ auf S. 506: „Es ist nun im hohen Grade bemerkenswert, daß die Eruptionsstellen der Augitporphyr-laven an der Grenze der Gebiete schwächerer und stärkerer Senkung stehn“. Das Profil auf S. 381 zeigt zur Evidens, daß der Eruptionsstock von Predazzo zwischen synklynal gestellten Schichten hervorbrach. Ich erwähne REYHER, welcher ein Gleiches von den Euganeen<sup>1)</sup> konstatiert, und wahrscheinlich bietet die Litteratur noch viele derartige Beobachtungen.

Nachdem ich aus den Thatsachen der Kontinentalstufe und der Wallriffe Beweise für die Anschauung gebracht habe, daß die Kontinente häufig von Flexuren umgeben seien, konnten wir feststellen, daß die Mehrzahl der Küstenvulkane an den synklinalen Teil der Küstenflexur gebunden, also auf synklynal gestellten Schichten aufgeschüttet seien. So sprechen für diesen Zusammenhang: Ponza, Liparen, Ustica, Pantelleria, Linosa, Lampedusa, Galita, die kleinen algerischen Küstenvulkane, die Canaren, Fernando Po, Comoro, Mauritius, Bourbon, Aleuten und Fernando Noronha. Innerhalb einer Grabenmulde stehen Jebel Teir und Jebel Zebayir im roten Meere. In einem Senkungsbecken steht die Reihe der vulkanischen Antillen und der neapolitanischen Vulkane. Gemeinsam ist allen diesen Fällen die synklinale Schichtenstellung, es wechselt allein die Form des Senkungsgebietes.

Wie schon durch v. KÖNEN hervorgehoben wurde, würde es einseitig sein, die genannten Thatsachen allein dadurch erklären zu wollen, daß die Schichten synklynal gestellt seien. Die synklinale Stellung der Schichten selbst scheint eine Folge und Begleiterscheinung der Senkung zu sein. Bei Senkungen aber treten meines Erachtens vier Gruppen von Erscheinungen auf:

- 1) Ein Teil der Erdrinde wird dem Erdmittelpunkt genähert und dadurch in eine wärmere Umgebung gebracht;
- 2) durch Umsetzung der hierbei erfolgenden Bewegung und innere Reibung entsteht Wärme;
- 3) die einsinkende Rinde übt einen Druck auf das darunter befindliche Magma aus;

---

1) Die Euganeen, Bau und Geschichte eines Vulkanes. S. 94.

- 4) die Schichten der sinkenden Platte werden synklinal gebogen. Dadurch aber tritt eine zentripetale Lockerung der Schichten unterhalb der Normalebene ein.

Ich habe in der vorliegenden Untersuchung nur den letzten dieser Faktoren berücksichtigt und besprochen, die einseitige Betonung der tektonischen Verhältnisse mag jedoch nicht für Einseitigkeit gehalten werden.

Von REYHER ist die Anschauung ausgesprochen worden, daß die synklinale Schichtenstellung eine Folge der Eruption sei, daß durch die Ausstoßung des eruptiven Magma Lücken unter der Erdrinde entstehen und dieselbe in die Tiefe sinkt. Allein die Vulkane, selbst die größten, besitzen ein so geringes Volumen gegenüber den Räumen tektonischer Senkungsgebiete, daß man die Senkung nicht als eine Folgeerscheinung der vulkanischen Eruption auffassen sollte. Denn auch unter diesem Gesichtspunkt halte ich die Vulkane für eine Begleiterscheinung der tektonischen Bewegungen. Ein Nachsacken der Vulkane wird lokal recht wohl erfolgen können und zur Beobachtung gelangen, allein die synklinale Schichtenstellung in der Nähe größerer Eruptionspunkte wird dadurch nicht erklärt.

Ich will nicht sagen, daß die Eruption erfolgt, nachdem die synklinale Schichtenstellung durch Senkung entstand. Ich formuliere meine Ansicht vielmehr dahin: Der Kontraktion des Erdinneren folgt die Erdrinde, indem sich lokale Senkungen bilden. Diese Senkung kann eine stetige sein, sie kann infolge von Reibungswiderständen und Spannung auch eine momentane werden. Bei solchen Senkungen kann die Rinde kontinuierlich bleiben, meist aber werden die Schichten unter der Normalebene an einzelnen Stellen gelockert. Indem diese Lockerung und dadurch synklinale Schichtenstellung eintritt, werden Bedingungen geschaffen, welche das Austreten eruptiven Materials ermöglichen.

Bei jeder folgenden Gestaltsveränderung des Senkungsgebietes werden sich diese Bedingungen wiederholen. Erweitert sich das Senkungsgebiet, so treten Lockerung und synklinale Schichtenstellung in peripherischen Teilen auf, vertieft sich das Senkungsgebiet, so entstehen sie in zentral gelegenen Gebieten. Hierin aber glaube ich den Schlüssel zu finden für jenes durch Süss für

die südamerikanischen Vulkane konstatierte Wandern der Eruptivstellen.

Doch ich verlasse auch diese Frage, welche fernerer Untersuchungen und gründlicherer Bearbeitung wartet; um noch einen letzten Faktor zu besprechen, welcher mir wichtig scheint für das Zustandekommen vulkanischer Eruptionen.

Es ist auffallend, daß es in manchen Gebieten bisher unmöglich war, bestimmte Dislokationen nachzuweisen, welche die vulkanischen Erscheinungen verursacht haben sollten. Ich denke hier besonders an die Eifel, wo es meines Wissens noch nicht gelungen ist, jenen Zusammenhang zu konstatieren, obgleich oft und viel darnach gesucht worden ist. Zwar ist die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, daß diese Frage noch in dem Sinne gegenwärtiger Anschauungen gelöst werde, allein wenn das nicht der Fall sein sollte, so würde diese Thatsache zum Nachdenken auffordern und die Frage vorlegen, ob immer und in jedem Falle eine oberflächlich sichtbare Dislokation der Vulkanbildung vorausgegangen sein müsse. Und es scheint mir nicht wertlos, darauf hinzuweisen, daß die Mächtigkeit und Dicke der Erdrinde doch eine nicht unwesentliche Rolle für derartige Vorgänge spiele. Eine Eruption muß wesentlich leichter erfolgen, wenn nur die Thonschiefer bis zum Devon durchbrochen werden, als wenn die ganze folgende mesozoische Schichtenreihe bis zu 1000 m mächtigen krystallinischen Kalken, wie bei Neapel, darüber lagert. In dem letzteren Fall ist meines Erachtens eine Eruption ohne vorhergegangene Dislokation undenkbar, ob aber in dem ersteren Falle scharfe Brüche notwendig waren, oder ob nicht unbedeutende Gleichgewichtsstörungen schon hinreichten, um die Vorbedingungen einer Eruption zu schaffen, das sollte vergleichend studiert werden.

Es ist eine der vornehmsten Aufgaben der spekulativen Geologie, Induktionssätze zu eruieren, welche als Werkzeug dienen können für die Auflösung geologischer Probleme. Solche Sätze haben wesentlich nur einen methodischen Wert, indem sie zur wiederholten Prüfung der Thatsachen auffordern und Fingerzeige geben über den kausalen Zusammenhang der Erscheinungen. Sie sind ein gefährliches Werkzeug, wenn man sie isoliert und dogmatisch benutzt. In der Hand aber des kritischen Forschers, der ihren eigentlichen relativen Wert zu würdigen versteht, eröffnen sie neue tiefere Einblicke in das geheimnisvolle Walten der Naturprozesse. Und nachdem wir theoretisch abzuleiten und mit verschiedenartigen Thatsachen zu belegen versucht haben, daß antiklinale Schichten-



stellung das Empordringen eruptiven Materials erschwert, daß synklinale Stellung dasselbe erleichtert, kommen wir zu folgendem Schluß:

Synklinale Stellung der Schichten im Liegenden einer mächtigeren vulkanischen Gesteinsmasse ist, nächst anderen, ein Beweis dafür, daß dieselbe dort emporgedrungen ist. Fehlt die synklinale Stellung der Schichten, so ist zu untersuchen, ob das betreffende Eruptivgestein nicht an einem anderen Orte ausgebrochen sein kann, vielleicht als später isoliertes Ende eines Stromes oder Deckenergusses aufgefaßt werden darf.

## Erklärung der Tafeln.

---

Die Profile wurden nach den durch handschriftliche Nachträge immer neu redigierten englischen und deutschen Kartenblättern der kaiserl. deutschen Seewarte in Hamburg entworfen. Diese Karten sind in verschiedenen Maßstäben ausgeführt. Da wiederum die Abstände benachbarter Lothungszahlen überaus wechseln, so war eine Reduktion der verschiedenen Profile auf denselben Maßstab nur sehr schwer durchzuführen und Fehlerquellen hätten kaum vermieden werden können. Ich sah daher von einer Reduktion der Profile auf denselben Maßstab ab und trug die Zahlen einer Lothungslinie direkt in den Originalabständen auf. Hierbei wurden Zahlen benachbarter Peilungslinien nur selten mit hereingezogen und lieber Lücken gelassen.

Alle Tiefen sind in der üblichen Weise stark überhöht. Als Norm wurde 1 : 50 angenommen, allein dieses Verhältnis konnte wegen des wechselnden Maßstabes der Karten nur annähernd durchgeführt werden. Mit Hülfe der sicher fixierten Zahlen über den Profilen und der sicher fixierten Küstenpunkte ist das Verhältnis der einzelnen Profile leicht zu beurteilen.

Das Meer wurde horizontal eng schraffiert. Vulkanische Inseln durch ein Dampfwölkchen als solche charakterisiert und der vulkanische Aufschüttungskegel schräg schraffiert. Die untere Grenze der vulkanischen Inseln wurde konstruiert auf Grund der Peilungslinien beiderseits der vulkanischen Insel und darf daher als Profil des eigentlichen Meerbeckens gelten, auf welchem das vulkanische Material aufgeschüttet wird. Die Sedimentbedeckung konnte nicht berücksichtigt werden, da über die Mächtigkeit derselben kein Urteil möglich ist. Unter allen Umständen aber darf man annehmen, daß das Profil des Meeresbodens wesentlich tiefer liegt, als man einzutragen imstande ist. Deshalb aber kann die synklinale Biegung der Schichten noch als bedeutender betrachtet werden. Korallen und ähnliche Bildungen wurden durch Kreuzchen angedeutet.

**Tafel X.**

- Fig. 1. Profil von Alaska nahe der Cooksstraße durch das flache Behringsmeer. Jenseits des Küstenabfalles treten die Aleuten (Ou Nalashka) heraus. Nach Pacific Ocean Sh. 2. 2460.
- Fig. 2. Profil von Cap Serrat an der tunesischen Küste nördlich über Galita. Der vulkanische Aufschüttungskegel steht jenseits der Kontinentallinie. Durch Meereserosion ist ein Teil desselben abradiert und bildet eine nicht tektonische Küstenstufe. Nach Sardinia to Malta including Sicily. 165.
- Fig. 3. Profil eines Teiles der Azoren ohne Hundertfadenstufe, Terceira und San Miguel sind auf dem (früher abradierten?) sanftwelligen vulkanischen Plateau aufgeschüttet. Nach Azores. 1950.
- Fig. 4. Profil von Kamerun nordwestlich über Fernando Po. Der Vulkan steht inmitten einer synklinalen Mulde jenseits der wohlausgebildeten Küstenstufen. Nach West Coast of Africa. Sh. XIX 1357.

**Tafel XI.**

- Fig. 1. Profil vom östlichen Teil des Caraibischen Beckens über die vulkanischen Antillen (Montserrat), die mittelamerikanische Cordilliere (Antigua) und die flachen jungtertiären Inseln der Außenzone (Barbuda), dieselben scheinen auf dem Bruchrande entstanden zu sein, welcher zu großen Tiefen östlich absinkt. Nach West India Islands and Carraibbean See. Sh. II. Bl. 762.
- Fig. 2. Bringt das Verhältnis der neapolitanischen Vulkane zu der Halbinsel von Sorrent zur Ansicht. Die Halbinsel wird gegen den Golf von Salerno durch einen Doppelbruch begrenzt, welcher das staffelförmige Heraustreten der Inseln Galli bedingt. Die letzteren wie die Halbinsel bestehen aus festem Apenninkalk, welcher nach NW. einfällt (die Schichtung wurde angedeutet). Im Golf von Neapel wie in dem tyrrhenischen Küstengebiete der phlegräischen Felder (Bajae) finden sich submarin die Denudationsreste von vulkanischen Inseln

(Secca). Auf diesen, wie auf den Schichtenköpfen des Bruches im Golf von Salerno wachsen Korallen.

Fig. 3. Profil von Cap Juby über die vulkanische Insel Fuerteventura, welche jenseits der westafrikanischen Kontinentalstufe aufgeschüttet ist. Nach West Coast of Africa. Sh. XIX. Bl. 1357.

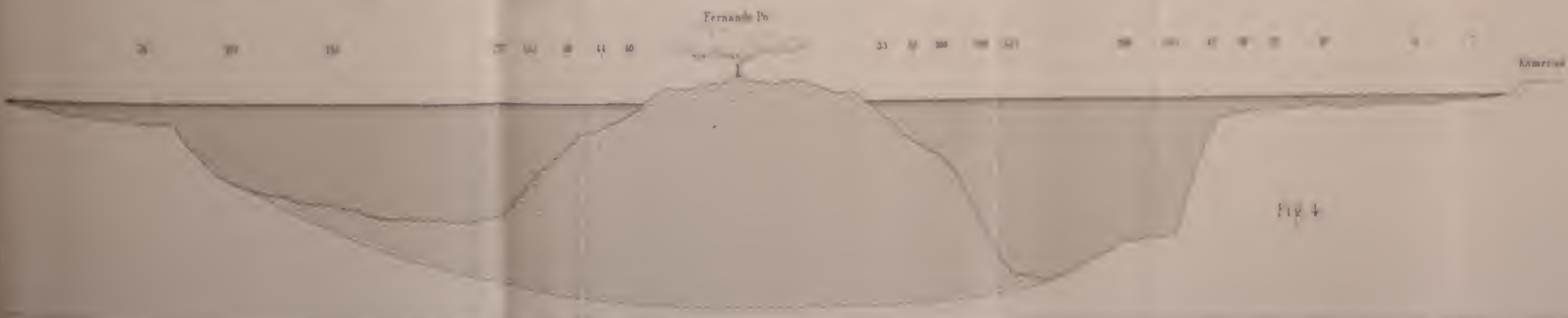
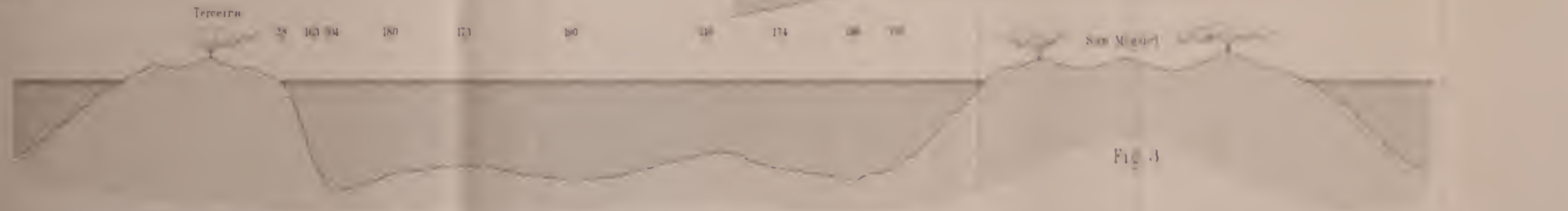
Fig. 4. Profil durch den südlichen Teil des Roten Meeres. Beiderseits ist die Küstenstufe mit Korallenriffen bedeckt, während aus der mittleren Grabenmulde das vulkanische Jebel Teir heraussteigt. Nach Red Sea. Sh. 4. 1873.

### Tafel XII.

Fig. 1. Übersichtskarte von Westeuropa und Nordwestafrika. Die Seebecken sind schraffiert, das Gebiet der Küstenstufe aber als zum Kontinent gehörig weiß gelassen. Einige wichtigere Vulkane des Festlandes sind durch Kreise bezeichnet, die Küstenvulkane aber schwarz gedruckt.

Fig. 2. Nordostaustralien. Die eigentliche Tiefsee ist schraffiert mit Ausnahme der darin gelegenen Korallenriffe, welche wahrscheinlich auf vulkanischen Inseln aufsitzen, die jenseits der Kontinentallinie entstanden waren. Der Golf von Carpentaria und das Gebiet des Greatbarrierreef sind als zum Kontinent gehörig weiß gelassen. Die äußere Grenze des Wallriffes ist oft unterbrochen. Die Lücken werden von der Hundertfadenlinie ausgefüllt. Nach Challenger, Narrativ Bd. I Th. I. Sheet 27. Sydney to Wellington.

Fig. 3. Schematisches Profil einer Flexurenküste mit Wallriff auf den Schichtenköpfen der Kontinentalstufe. Jenseits der Hundertfadenlinie (Kontinentallinie) ist ein thätiger Küstenvulkan auf synklinalen Schichten aufgeschüttet worden. Die aufeinanderfolgenden Aschendecken sind durch Lavaergüsse unterbrochen, ein stärkerer Lavastrom hat einen seitlichen Ausweg gefunden, ein parasitischer Kegel ist entstanden und ein mannigfach verästeltes System von Lavagängen durchsetzt Aschendecken und Lavaströme.





17 12 15 7

Fig. 1.

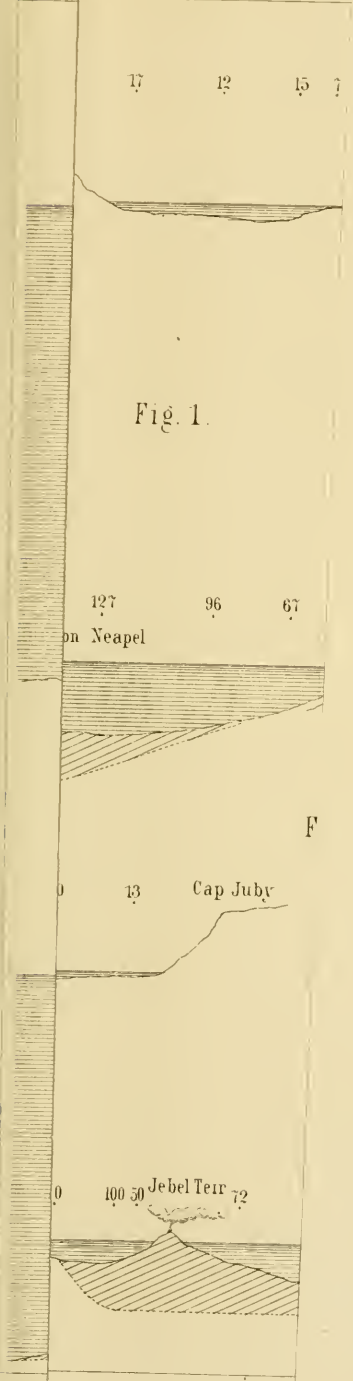
127 96 67

on Neapel

F

13 Cap Juby

100 50 Jebel Teir 72







1276

183°

640

700

800

900

1000

1100

1200

1300

1400

1500

1600

1700

1800

1900

2000

2100

Carabisches Meer

Monserrat

Sancti Spiritus

Barbuda

Atlantischer Ocean

Fig. 1

740

Cyrenaisches Meer

1200

1300

1400

1500

1600

1700

1800

1900

2000

Bajar

Serra

Saint des Saings

Saint des Saings

Saint des Saings

Fig. 2

1000

1100

1200

1300

1400

1500

1600

1700

1800

1900

2000

2100

2200

Fort de Saint

Saint des Saings

Fig. 3

1000

1100

1200

1300

1400

1500

1600

1700

1800

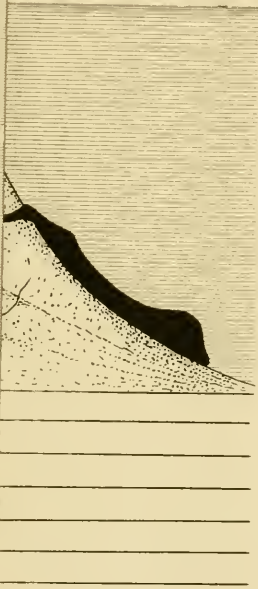
1900

Saint des Saings

Saint des Saings

Fig. 4





Wallriff.

erbrochen durch  
des Wallriffs

Gustav Fischer

Lin Anst. v. A. G. Linschoten



Fig. 1.



Kontinent- und Festlandsgrenzen von Westeuropa.

— Grenzen des Festlandes. — Hundertfadenlinie oder Grenze des Kontinents  
 • Vulcane des Meeres • Vulcane des Festlandes.

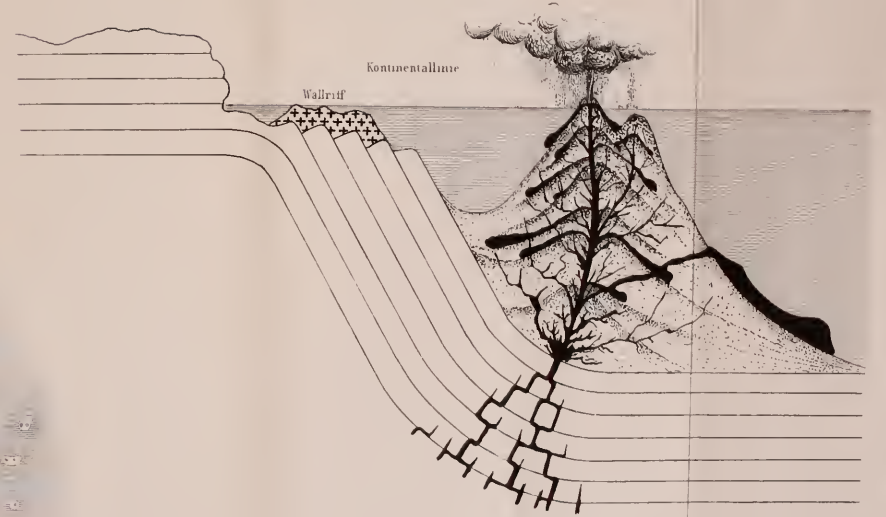
Fig 2



Das ostaustralische Wallriff.

*Hundertfadenlinie (unverbrochen durch die äussere Grenze des Wallriffes)*

Fig. 3.



Schematisches Profil einer Flexurenküste  
 mit Wallriff auf der Kontinentalstufe und  
 Küstenvulkan jenseits der Kontinentallinie.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Jenaische Zeitschrift für Naturwissenschaft](#)

Jahr/Year: 1887

Band/Volume: [NF\\_13](#)

Autor(en)/Author(s): Walther Johannes

Artikel/Article: [Ueber den Bau der Flexuren an den Grenzen der Kontinente. 243-278](#)