

Zur Deutung der Vertikalbewegungen der Festländer und Meere.

Von Franz E. Sueß.

Die nachfolgende Umschau über eine Anzahl die Vertikalbewegungen der Erdkruste betreffende Arbeiten bringt keine neuen Thesen. Sie beabsichtigt nur zu zeigen, daß auf diesem, wie so oft auch auf anderen Gebieten der Geologie verfrühte Erklärungsversuche zu weit ausgebauten aber wenig verlässlichen Hypothesen geführt haben, die wieder nicht ohne Einfluß geblieben sind auf die Auslegung der Beobachtungen selbst.

Zum Zwecke einer genaueren Fassung der hier behandelten Fragen sei es gestattet, einige wiederholende Bemerkungen über ziemlich Bekanntes voranzuschicken.

Es sind nun schon mehr als 30 Jahre vergangen, seit mein Vater, E. SUSS (1)¹⁾, den groß angelegten Versuch unternommen hat, durch Zusammenfassung der verstreuten Angaben über Bewegungen des Meeresstrandes an allen Küsten, über die Geschichte der Meere der Vergangenheit und aus dem Bau der Kontinente Klärung zu gewinnen über die für das Geschehen auf der Erde so wichtige Frage, ob das wiederholte Übergreifen von Meeresbildungen über alten Landsockeln in der geologischen Vergangenheit im wesentlichen durch Bewegungen des Erdfesten oder der Wasserhülle bewirkt worden sind, ob die Lithosphäre oder die Hydrosphäre ihre Gestalt verändert haben. Damals galt es vor allem, die Lehre von den »säkulären Hebungen und Senkungen der Kontinente«, welche durch PLAYFAIR und L. v. BUCH und besonders durch LYELL in hervorragender Weise vertreten worden war, abzuwägen gegenüber den Vorstellungen von CHAMBERS, EUGÉN ROBERT, DOMEYKO, ADHÉMAR, CROLL, TRAUTSCHOLD u. a., von denen jeder auf seine Weise Veränderungen der Gestalt der Wasserhülle glaubhaft zu machen suchte.

Zwei Beobachtungsreihen leiteten den Gedankengang. Die eine suchte aus der größeren oder geringeren Ausdehnung gleichzeitiger Sedimente über weit entlegene Erdräume und aus der Beschaffenheit der Ablagerungen Anhaltspunkte zu gewinnen über den Rhythmus und die Natur der Bewegungen. Die zweite verwertete die Anzeichen jugendlicher Veränderungen des Strandes an den heutigen Meeresküsten.

Die Ähnlichkeit der Schichtfolgen auf alten Tafelländern in verschiedenen Teilen der Erde, deutlich ausgeprägt in der Wiederkehr der gleichen Lücken, weist auf steigende und sinkende Bewegungen des Meeresspiegels. Es ergab sich, nach den Worten von E. SUSS, »daß die Lehre von den säkularen Schwankungen der Kontinente nicht geeignet ist, die wiederholten Überflutungen und Trockenlegungen des festen Landes zu erklären. Die Veränderungen sind viel zu ausgedehnt und viel zu gleichmäßig gewesen, als daß sie in Bewegungen der Erd feste ihren Grund haben könnten«.

Auch die Eigentümlichkeiten junger Strandmarken, ihre Verbreitung an allen Küsten in verschiedenen geographischen Breiten, ihr horizontaler Verlauf auf große Strecken und dabei ihre Unabhängigkeit von den Einzelheiten der Struktur des durchschnittenen Festlandes, die Gleichartigkeit ihrer Merkmale an den Küsten alter Tafelländer wie an den Küsten junger und alter Faltengebirge können nur durch Schwankungen des Meeresspiegels und nicht durch Hebungen und Senkungen des festen Landes erklärt werden.

Dabei wird hervorgehoben, daß ein sicheres Mittel fehlt für die zeitliche Gleichstellung der Marken verschiedener Küsten, und daß bei wiederholten Schwankungen die negativen Zeichen dem Beobachter

¹⁾ Die Literaturnachweise folgen am Schluß.

leichter zugänglich bleiben, als die positiven. Doch fehlen auch nicht Merkmale jungen Anstieges des Meeres; in äquatorialen Meeren wird er durch die Korallenriffe angezeigt. Die Gesamtheit der Beobachtungen deutet auf wiederholte Schwankungen des Wasserspiegels in abwechselnd größeren und kleineren Oszillationen; wie auch in vergangenen Formationen ähnliche kleine Schwankungen sich innerhalb allgemeiner positiver Bewegungen kundgeben, z. B. durch die Bankungen der Rätkalke in den Alpen oder durch den Wechsel von Süßwasser und Meeresbildungen im englischen Purbeck. Breitere Strandterrassen wurden bei langsamem Anstieg des Meeres ausgearbeitet. Nur durch plötzliche Senkung des Wasserspiegels konnten sie bloßgelegt werden. Es wechseln somit langsame positive mit raschen negativen Bewegungen.

Allen diesen Erscheinungen sucht die Theorie der sog. eustatischen Vorgänge gerecht zu werden. Verhältnismäßig rasch werden durch Einbrüche neuer Meeresbeckungen die Senkungen des Meeresspiegels bewirkt; ungemein langsam aber vollzieht sich Auffüllung der Meerestiefen mit dem Schutt der verwitternden Kontinente. Sie bewirkt allmähliche positive, eustatische Bewegungen, welche die Strandterrassen abhobeln und zu langandauernden Transgressionen anschwellen können.

Die Wirksamkeit solcher eustatischen Vorgänge hat E. SUËSS als unzweifelhaft angesehen; doch wird zugegeben, daß sie nicht hinreichen, um die Gesamtheit der Erscheinungen zu erklären. Abwechselnde Verschiebungen der Wasserfläche vom Pol zum Äquator scheinen noch dazu zu kommen und die Möglichkeit wird angedeutet, daß durch allgemeine tellurische oder kosmische Ursachen eine zeitweise Vermehrung oder Verminderung der Wassermenge auf der Oberfläche des Planeten sich einfügt in die eustatischen Elemente.

Die Angaben über eine junge Hebung der skandinavischen Küsten wurden als Täuschungen erklärt, hervorgerufen durch Spiegelschwankungen des Bottnischen Meeres, das wegen seines beschränkten Abflusses sich ähnlich verhält wie ein Binnensee und dessen Wasserstand wechselt mit den Niederschlägen und mit der Zufuhr von Meerwasser, die zeitweise durch Stürme bewirkt wird.

Gewiß wurde diese Auffassung vor allem mitbestimmt durch das allgemeine Bewegungsbild der großen Störungen in der Erdkruste, wie es von E. SUËSS aufgefaßt wurde. Gerade die auffallendsten und bedeutendsten Aufragungen der Erdkruste, die jungen Kettengebirge, sind augenscheinlich durch Schub von der Seite zu liegenden Falten und Decken übereinander getürmt worden. Die Verschiebungen im vertikalen Sinne, die Verwerfungen, fügen sich im großen zu dem Bilde mehr oder minder einheitlicher Senkungsgebiete, entweder mit parallelen Richtungen zu Grabenversenkungen zwischen Horsten oder mit bogenförmigem Verlaufe zu kesselförmigen Einbruchsfeldern. Rein passives Sinken der Kruste muß eintreten, sobald die Unterlage nachgibt; »aber

keine Kraft ist bekannt, welche imstande wäre, größere oder kleinere Gebirgsmassen unabhängig voneinander emporzuheben und dem Einflusse der Schwere entgegen dauernd schwebend zu erhalten.

Der Standpunkt ist der gleiche geblieben bis zum Abschluß des großen Werkes (1909). Die Theorien der Isostasie und Kompensation wurden abgelehnt; jene mit Berufung auf die Unstimmigkeiten der Beobachtungen in verschiedenen Gebirgen und die ungleichen Auffassungen der Ausgleichberechnungen verschiedener Autoren. Daß aber die Kontinentaltafeln nicht aus dem Meere emporgestiegen sind, zeigt ihr Bau. Die indische Halbinsel ist ein deutliches Bruchstück, darüber liegen die gleichen Formationen mit den gleichen Lücken der Schichtfolge wie in Afrika. Die Art und Weise, wie die asiatischen Gebirgsbögen vom alten Scheitel des Baikals gegen außen aneinander gefügt sind, wie sie in den äußersten jüngsten Ästen, im burmanischen Bogen und in den Bonin-Inseln hinauslaufen ins Meer, widersprechen der Hypothese von BAYLEY WILLIS, daß der schwere Untergrund des Pazifischen Ozeans hineinfließe unter den leichteren asiatischen Kontinent. An den baikalischen und den an den altaischen Scheitel im Innern der großen Landmasse reihen sich mit Beibehaltung des Bauplanes im großen immer jüngere gegen außen konvexe Gebirgsbögen; und aus dem Grunde des Ozeans steigen die jüngsten Ketten mit heute noch andauernder Gebirgsbildung. Auch der meerwärts konvexe Verlauf der Inselkränze stimmt nicht gut zu der Vorstellung, daß sie durch Unterströmung vom Meere her erzeugt seien.

Die größere Schwere, welche Barometer und Siedepunktbestimmungen von HECKER und MOHN über einem großen Teil der Ozeane ergeben haben, wird durch weite Ausbreitung schwerer jungvulkanischer Felsarten über dem Meeresgrunde erklärt.

Als tektonische Geschehnisse von entscheidender Bedeutung sind sonach die Senkungen anzusehen. In den negativen Bewegungen des Strandes seit alter Zeit tritt ihre Bedeutung zutage. Was als »epirogenetische Bewegungen« gedeutet wird und »durch irgendeine unbekannte Kraft erzeugt worden sein soll, sind entweder örtliche Vorkommnisse, die mit dem allgemeinen Bau des Landes in Verbindung stehen, wie z. B. die jungtertiären Meeresablagerungen, welche DIENER auf dem zersplitterten Bruchnetze der Palmyrenischen Wüste traf, oder sie beruhen auf Gestaltveränderungen der Hydrosphäre (Antlitz III. 2, S. 723). Nur solche Vertikalbewegungen wurden zugegeben, die aus tangentialen Spannungen hervorgehen.

Diese Anschauungen fanden keineswegs allgemeine Anerkennung. Andere Theorien beherrschen die heutige Literatur.

Die Lehre von der jugendlichen und noch heute andauernden Hebung Skandinaviens, von der die Elevationstheorie PLAYFAIRS und BUCHS ausgegangen war, hat neue und ausführliche Unterstützung gefunden; und zu ihr gesellten sich die genauere Erforschung der jungen, abwech-

selnden Krustenbewegungen im kanadischen Schild. Hebungen und Senkungen großen Maßstabes, als epirogenetische Bewegungen unterschieden von den Faltungszonen beschränkter orogener Bewegungen, spielen eine bedeutende Rolle in den herrschenden Anschauungen und bilden die Grundlagen umfassender Theorien über das tektonische Geschehen auf der Erde.

GILBERT hatte den Ausdruck epirogenetische Bewegungen in die geologische Literatur eingeführt (2). Mit diesem Ausdruck sollen von den orogenetischen Verschiebungen der Erdkruste, durch welche die eigentlichen Kettengebirge entstehen, jene breiteren Verschiebungen unterschieden werden, denen Kontinentalplateaus, ozeanische und Kontinentalbecken ihre Entstehung verdanken. »Es mag wohl sein«, sagte GILBERT, »daß orogenetische und epirogenetische Kräfte von Vorgängen gleicher Art herrühren, solange aber wenigstens, als beide unbekannt sind, scheint eine geordnete Betrachtung angemessen.«

Ein örtliches Beispiel, die Verbiegung der Strandterrassen des ehemaligen Boneville-sees, hatte GILBERT zur Aufstellung des neuen Begriffes veranlaßt. Zahlreiche Verwerfungen zerteilen das Gebiet in streifenförmige Schollen; sie haben zugleich die Terrassen verbogen und winkelig abgestuft. Junge Laven sind an den Brüchen hervorgetreten.

Die Aufwölbung der Terrassen ist am stärksten in der Mitte und im Süden des Bonneville-Gebietes. Sie erreicht aber auf Entfernungen von etwa 40 Meilen nur wenig über 100 Fuß. Dieser Betrag ist gering im Vergleich zum Gesamtbetrage, den die Summe älterer Schollenverschiebungen schon früher im Laufe der Zeiten erreicht hatte. Häufige und heftige Erdbeben (Sonora 1887, Owens Tal 1872, San Francisco 1906 u. a.), hochliegende Strandmarken und junge Meeresbildungen an den Küsten sind berechte Zeugen für die Fortdauer gebirgsbildender Vorgänge in den westlichen Randgebirgen Nordamerikas.

Die sorgfältige Erforschung der Bodenverschiebungen vor und während des großen Erdbebens von San Francisco hat gelehrt, daß der Bildung des großen, langen Erdbebenrisses eine unmerklich langsame Verschiebung des Bodens vorausgegangen ist (3). Es bestätigte sich GILBERTS Vermutung, daß durch die plötzlichen Zerreißen bei Erdbeben allmählich angehäuften Spannungen ausgelöst werden. Es scheint nicht notwendig, die Verbiegung der Schollen in ihren letzten Ursachen von ihrer Auflösung an Längsbrüchen zu sondern, und es wäre wohl schwer zu denken, daß weitgehende Zerstückelung und Verschiebung des Landes ohne Zerrungen und Verbiegungen der einzelnen Streifen vor sich gehen könnte.

GILBERT erwog noch andere Erklärungsmöglichkeiten. Er ließ vor allem die Möglichkeit offen, daß elastische Entspannung nach dem Schwinden der Wasserlast die Aufwölbung der ehemaligen Seemitte bewirkt habe.

E. SUSS meinte, es bleibe unentschieden, ob der große Bewegungs-

vorgang hier die Bildung einer neuen Antiklinale vorbereitet, oder ob einseitige Senkung gegen den Abhang des Wasatch stattfindet (Antlitz I, S. 742).

In jedem Falle bleibt es fraglich, ob gerade die Verschiebungen am Bonneville-See als typisches Beispiel epirogenetischer Bewegungen in der heute üblichen allgemeineren Bedeutung angeführt werden dürfen.

Fast in allen neueren Lehrbüchern der Geologie werden nun aber neben den eigentlichen gebirgsbildenden, orogenetischen Bewegungen als eine zweite gleichwertige Gruppe unter den tektonischen Vorgängen die epirogenetischen Bewegungen unterschieden. Im allgemeinen deckt sich die mit dieser Bezeichnung verbundene Vorstellung mit dem älteren Begriffe der säkularen Hebungen und Senkungen. Nach der von ANDRÉ (4) gegebenen Fassung z. B. werden durch die epirogenetischen Bewegungen in langen Zeiträumen durch mehr oder weniger gleichmäßige Absenkungen oder Hebungen Meere und Kontinente geschaffen. Durch orogenetische Bewegungen entstehen die gefalteten Gebirge in bestimmten, mehr episodischen Phasen, welche die epirogenetischen Bewegungen unterbrechen. »Nach ihren Beziehungen zur Erdgestalt könnte man die epirogenetischen Bewegungen als radiale, die orogenetischen als tangentialen Störungen der Lithosphäre bezeichnen.« TORNQUIST sagt in seinem neuen Lehrbuche der Geologie (1916): »Bei den epirogenetischen Bewegungen kommt es weder zur Ausbildung von Falten, noch finden regelmäßig Brüche statt. Die Bewegungen erscheinen als umfassende Auftreibungen der Erdkruste, welche neben anderen zu gleicher Zeit einsinkenden Gebieten liegen können.«

Als die vornehmlichsten und überzeugendsten Belege säkularer Hebungen werden in den Lehrbüchern fast stets die heute nicht mehr zweifelhaften jungen Hebungen von Fennoskandia und des nördlichen Nordamerika angeführt. Daneben werden in der Regel noch mancherlei gegenwärtige und ältere Veränderungen des Strandes meist ohne nähere Unterscheidung hierher gerechnet. Tertiäre und jüngere Terrassen an verschiedenen Küsten, untergetauchte Wälder, Kulturschichten oder Bauwerke an Uferändern des Mittelmeeres und der nördlichen Meere, die altberühmten, muschelzerfressenen Säulen des Serapistempels von Pozzuoli, die Anhaltspunkte für gegenwärtige Senkung der flandrisch-holländischen Küste, daneben die Koralleninseln des Stillen Ozeans, nach der von DARWIN und DANA gegebenen Deutung, ferner die als versenkte Flußtäler gedeuteten, bis über 1000 m tiefen untermeerischen Rinnen vor den Mündungen vieler Flüsse, z. B. des Kongo, des Hudson, des Indus, des Ganges u. a. werden als Belege für epirogenetische Hebungen und Senkungen in eine Reihe gestellt.

Aber auch vertikale Verschiebungen in beschränkteren Gebieten und örtlichen Zonen, Auftreibungen von einzelnen Horsten, Verschiebungen des Gesamtkörpers von Kettengebirgen, die anscheinend den inneren Faltenbau nicht beeinflussen, werden von vielen unter den

Begriff der epirogenetischen Bewegungen eingeordnet (5). Nach der Annahme vieler Geographen haben die meisten jungen Kettengebirge nach Abschluß der Faltung noch epirogenetische Bewegungen, insbesondere Hebungen ihres gesamten Baues erfahren. Als Beweis langandauernder, gleichförmiger, epirogenetischer Senkungen in orogenetischen Zonen gelten ferner mächtige Aufschüttungen gleichförmiger Seichtwasserablagerungen, durch welche nach HAUG die Sedimentmassen der Geosynklinalen, d. i. der Faltungszonen, gekennzeichnet sind. Hier werden die Begriffe orogenetisch und epirogenetisch auf zeitlich einander folgende Phasen bezogen, während ihnen GILBERT in seiner ersten Aufstellung regionale Bedeutung gegeben hat.

STILLE (6) glaubt einen wiederholten Wechsel beider Bewegungsarten dem postvariszischen Bau der mitteldeutschen Gebirge entnehmen zu können. Durch andauernde epirogenetische Vorgänge, im großen ganzen, durch gleichförmige Abwärtsbewegung werden Sedimentationsräume zwischen aufsteigenden Festlandsschwellen («Rahmen») geschaffen. In engumgrenzten Zeiten setzen orogenetische Vorgänge ein, bewirkt durch episodische Steigerung des den ganzen Vorgang beherrschenden tangentialen Druckes; sie äußern sich als Aufwärtsbewegung in Form von Auffaltungen und Schollenverschiebungen an Verwerfungen. Örtliche oder allgemeine Verbreitung von Sedimenten über dem Festlande gilt nach verbreiteter Auffassung als unzweifelhafter Nachweis der späteren Emporhebung überschwemmter Länder, und die Gleichzeitigkeit großer Transgressionen in entfernten Teilen der Erde hat zu der Lehre von den allgemeinen diastrophalen Vorgängen geführt. In Amerika ist diese Lehre zu einem geschlossenen Systeme ausgebildet worden. Der Begriff der diastrophalen Vorgänge faßt in sich alle Verschiebungen des Erdfesten, sowohl orogenetische als auch epirogenetische Bewegungen. CHAMBERLIN, BAYLEY WILLIS sind die vornehmlichsten Vertreter der Ansicht, daß auf der Erde nach großen Ruhepausen Zeiten des Diastrophismus eintreten, der verschiedene Kontinente gleichzeitig befällt. Die Vorgänge auf den Landmassen sollen sich dabei reziprok verhalten zu denen am Meeresgrunde; dieser senkt sich, während die Kontinente gehoben werden. Hierdurch soll zeitweise eine erdumfassende, allgemeine Erneuerung der Kontinente und der Ozeanbecken bewirkt werden.

Eine erschöpfende Behandlung aller in Betracht kommenden Befunde aus allen Teilen der Erde, welche dem großen Stoffe in allen Einzelheiten gerecht werden sollte, könnte Bände füllen. Aber schon eine allgemeine Übersicht über das Wichtigste und Auffälligste aus einigen neueren Darstellungen läßt deutliche Unterscheidungen hervortreten.

Von den verschiedenartigen Fragen, welche sich bei näherem Eingehen in das schier unübersehbare Stoffgebiet ergeben, sollen hier vor allem zwei näher beleuchtet werden, die bedeutsam sind für das Verständnis der tektonischen Vorgänge. Sie sollen lauten: 1. »Sind wir berechtigt,

rein senkrechte Bewegungen, Hebungen und Senkungen des gesamten Körpers von Faltengebirgen anzunehmen, die verschiedener Art und unabhängig sind von dem die Faltung bewirkenden tangentialen Zusammenschub?« und 2. »Gibt es vertikale Bewegungen des Festen, welche unabhängig und wohl unterschieden sind von den durch tangentialen Spannungen bewirkten orogenetischen Vorgängen im engeren Sinne und welche imstande sind, weite Kontinentalgebiete gleichzeitig unter den Meeresspiegel zu versenken und wieder emporzuheben?«

A. Junge Strandlinien.

Einige neuere Arbeiten bestätigen die ältere Angabe, daß in historischer Zeit keine Verschiebung des Ozeanspiegels in nachweisbarem Betrage stattgefunden hat.

Wie Veränderungen des Strandes durch mancherlei Umstände vorgetäuscht werden können, zeigte D. W. JOHNSON (7, 8). COOK hatte an den Küsten von New Jersey und Long Island Anzeichen einer gegenwärtigen Senkung von $\frac{1}{2}$ m in 100 Jahren zu erkennen geglaubt, und es verbreitete sich fast allgemein die Annahme, daß die atlantische Küste zwischen Prince Edward-Insel und Florida allmählich untertauche. Die Schätzungen liegen zwischen 20 und 75 cm im Jahrhundert. JOHNSON untersuchte fast die ganze genannte Küstenstrecke, sowie auch zahlreiche Punkte der Küsten von England, Schweden und Holland. Er wurde zu dem Schlusse geführt, daß an diesen Küsten in den letzten Jahrtausenden keine Verschiebung des Wasserspiegels, die den Betrag von 30 cm übersteige, stattgefunden haben könne; daß überhaupt kein hinreichender Nachweis für irgendeine Senkung in den letzten Jahrtausenden zu erbringen sei.

Täuschungen, die zu den irrigen Schlußfolgerungen geführt haben, wurden zumeist veranlaßt durch die Reste von überfluteten oder an den Wurzeln im Salzwasser erstickten Wäldern. Derartiges kann aber auch bei unveränderter Strandhöhe auf verschiedene Weise entstehen. Der plötzliche Durchbruch eines Küstendamms kann die Ausbreitung des Salzwassers über den vorher geschützten Waldgrund ermöglichen. Wind oder Wasser können den Waldboden mit Sand überschütten. Die Ansammlung des Salzwassers in Tümpeln am Waldboden, oder nur dessen salzige Durchtränkung durch sturmgeschleuderte Wellen reicht hin zur Tötung der Bäume. Die toten Wälder an den Küsten von New Jersey, Carolina und Georgia sind gewiß nur örtliche Erscheinungen, bewirkt durch die zeitweiligen Hochfluten.

Die angeblich ertränkten Baumstümpfe bei Elisabeth-City in N. Carolina (DAVIS) sind Zypressenwurzeln, die durch die abspülende Arbeit der Brandung am Torfboden bloßgelegt worden sind. An allen Teilen der atlantischen Küsten fand man versenkte Baumstümpfe bis zu 10 Fuß unter dem Ebbespiegel. In manchen Fällen sind es nicht Stämme,

sondern nur mißdeutete Pfahlwurzeln; in anderen sind Reihen von Baumstämmen am unterwaschenen Steilrande bis unter den Wasserspiegel hinabgerutscht. Anderwärts wieder ist der gesamte Torfboden hinabgedrückt worden, sei es durch das Gewicht der Bäume selbst, sei es durch das Gewicht einer landeinwärts vorüberwandernden Barrièredüne, oder sei es durch eine Senkung des Spiegels des Grundwassers, wenn dieses gegen die landeinwärts wandernde, unterspülte Steilküste entleert wurde.

An vielen Orten sind überflutete Wagenspuren und Hufspuren von Herdentieren als Beweise für jüngste Küstensenkungen angeführt worden; alle diese Fälle erklären sich durch Niedersinken der Torfunterlage. Haben doch Brunnenbohrungen und sonstige Untersuchungen gezeigt, daß künstliche Senkungen des Grundwasserspiegels ein Nachsacken des Torfbodens im Betrage von mehreren Metern zur Folge haben kann.

An der Küste bei Boston ist eine Küstendüne im Laufe von 12 Jahren 70 m weit landeinwärts gewandert. Hier werden nun Baumstümpfe und Pferdespuren zur Ebbezeit überflutet.

Überdies genügt unter Umständen der Durchbruch oder Aufbau einer Walldüne, um eine örtliche Veränderung im Gezeitenstand zu bewirken. Verschiedene Küstengestalt kann Unterschiede der Fluthöhe bis zu 1 m bedingen.

Die unberechtigte Gleichstellung junger und alter Strandmarken hat zur irrigen Annahme einer ununterbrochenen, bis heute andauernden Senkung geführt. Die sichergestellten Strandverschiebungen sind stets sehr alt; hierher gehören die versenkten Baumstümpfe an der Fundybay und manche versenkte Moore. Sie gehören zumeist in das frühe Postglazial.

Anzeichen älterer Strandverschiebungen, sowohl im positiven wie im negativen Sinne, von diluvialen und noch höherem Alter fehlen an den atlantischen Ufern ebensowenig, wie an den meisten übrigen Meeresküsten.

Zu den gleichen Schlußfolgerungen, wie JOHNSON im Atlantischen Ozean, gelangten LAMOTHE (10, 11) und CAYEUX (12) im Mittelmeere; beide behaupten auch hier Unveränderlichkeit des Strandes in historischer Zeit. NÉGRIS hatte geglaubt, Beweise für ein ganz jugendliches Ansteigen des Mittelmeeres gefunden zu haben; und zwar soll sich nach der großen negativen Bewegung im Quartär der Wasserspiegel in den letzten 2000 Jahren um 3 m, in den letzten 2500 Jahren um 2,5 m gehoben haben.

Durch eine Zusammenstellung über verschiedene das Mittelmeer und die europäische Westküste betreffende Daten gelangte GNIES (13) zu einem ähnlichen Ergebnisse. Das Mittelmeer soll in den letzten Jahrtausenden um etwa 2 m gestiegen sein. Er meinte hier die Fortdauer der allgemeinen positiven Bewegung zu erkennen, die durch die Rück-

kehr der Wassermassen vom abschmelzenden Inlandeis und von den austrocknenden Kontinenten verursacht wurde. Auf Unveränderlichkeit in historischer Zeit aber schloß CAYEUX aus Beobachtungen auf der Insel Delos und an anderen Punkten. Nach seiner Angabe sind die angeblich ertrunkenen Ruinen zumeist Reste von Kaimauern und Hafengebäuden, die unter Wasser angelegt worden waren. Hier und anderwärts läßt sich zeigen, daß die Uferhöhen unverändert geblieben sind. Man sieht neuerdings, welche Sorgfalt in der Auslegung auch der scheinbar so klaren und eindeutigen Beobachtungen geboten ist; und daß unzweifelhafte positive oder negative Strandverschiebungen in nachrömischer Zeit, wie sie durch GÜNTHER aus dem Golf von Neapel, durch TH. FISCHER und GRADMANN aus dem Hafen von Tiposa in Algier beschrieben worden sind, nur auf örtliche Strecken, nicht auf den gesamten Spiegel des Mittelmeeres Bezug haben können.

Nach obigen Angaben hat die aus anderen Gründen sichergestellte, postglaziale, positive Bewegung des gesamten Meeresspiegels sowie an anderen Küsten auch an den Küsten des Mittelmeeres innerhalb des geschichtlichen Zeitraumes keinen nachweisbaren Betrag mehr erreicht.

Eingehende Studien über die postpliozänen Terrassen von Algier verdanken wir General LAMOTHE (11), er erkannte weithin zusammenhängende Senkungsstufen. Die höchsten reichen bis 325 m; sie enthalten eine tropische Fauna. Die scharfe Abstufung der Abrasionsflächen zeigt den plötzlichen Einsatz der raschen negativen Bewegungen an, denen lange andauernde Zeiten sehr langsamen Anstieges gefolgt sind. Acht postpliozäne Linien treten deutlich hervor; die tiefsten liegen in 35 und 15—20 m über dem heutigen Spiegel. LAMOTHE verweist auf die Übereinstimmung dieser Terrassensysteme mit denen der Rhône, des Rheins, der Maas und der Donau.

Das Aufundnieder des Meeres folgte, wie LAMOTHE hervorhebt, dem Rhythmus, der von eustatischen Bewegungen zu erwarten ist. Der Senkung entsprechen plötzliche Einbrüche; ihnen folgten Zeiten ungestörter und äußerst langsamer Auffüllung des Meeresbodens mit Sedimenten; es waren außerordentlich lange Zeiträume verhältnismäßiger tektonischer Ruhe. Demgemäß befinden wir uns gegenwärtig in einer positiven Phase. Die schöne morphologische Studie von GRADMANN (18) bestätigt dies. Ältere Dünen sind unter den Meeresspiegel versenkt. Die der Küste vorgelagerte Brandungsplatte sinkt bis 100 m unter den Meeresspiegel, also etwa 30 m unter den Wirkungsbereich der Wellen; um diesen Betrag beiläufig muß nach LAMOTHE und nach GRADMANN die Küste zuletzt gesunken sein; und so zeigen nun die algerischen Ufer unter den jüngsten deutlichsten Terrassen in 15—20 m Höhe die bezeichnende »kleinzügige Unregelmäßigkeit der fein zerrissenen Küstenlinie« einer sinkenden Calaküste. Doch kann der Anstieg nach LAMOTHE innerhalb der geschichtlichen Jahrtausende noch nicht die Höhe von einem Meter erreicht haben.

Nach MURRAY'S Berechnung wird der Ozeanspiegel durch die Zufuhr von Sedimenten während eines Jahrhunderts nicht mehr als 3 mm gehoben¹⁾. Für die 25 Jahrhunderte der historischen Zeit können als Maximum der positiven Bewegung nur 75 mm angenommen werden, ein Betrag, der sich dem Nachweis entzieht.

Auf Grund der von MURRAY gegebenen Werte unternahm LAMOTHE den allerdings unsicheren Versuch, die Aufschüttungsdauer der Terrassen des Isser zu berechnen und erhielt eine Bildungszeit zwischen 700 und 9300 Jahrtausenden.

Die Ergebnisse der Untersuchungen von GIGNOUX (14) an den Terrassen des westlichen Mittelmeeres stimmen gut überein mit denen von LAMOTHE. Im jüngsten Pliozän sieht man fast allenthalben hochgelegene Erasionsbasis. Jungpliozäne Aufschüttungsflächen liegen in 1000 oder in 300—400 m, auch in Sizilien reichen sie bis 1000 m, weniger hoch in Toskana und wieder höher in den Alpen. Hier waren offenbar nicht Meeresschwankungen, sondern junge tektonische Vorgänge ausschlaggebend.

Anders die Uferlinien des Quartär. Bei Palermo tritt eine solche in 90—100 m deutlich hervor; sie säumt die ganze Nordküste von Sizilien, ebenso die von Kalabrien und der Puglia; auch in Toskana ist sie kenntlich. Sie entspricht der Stufe des *Elephas primigenius*.

In 35 und 15 m säumen Terrassen die Küsten von Italien, Frankreich und Spanien. [LAMOTHE gibt den untersten Terrassen in Algier die Höhen von 35 und 18 m.] Sie führen *Strombus bubonis*. Nur in der Straße von Messina soll diese Stufe bis 100 m ansteigen. GIGNOUX hält aber mit einem endgültigen Urteil zurück, ob die Strandverschiebungen durch epirogenetische oder durch eustatische Bewegungen zu erklären seien. In dem seismisch so unruhigen Kalabrien würden örtliche Hebungen in posttertiärer und jüngerer Zeit leicht zu verstehen sein.

Zu weit ist wohl NÉGRIS (15) gegangen, der eine Senkung des Meeresspiegels von enormem Betrage während des Quartärs annimmt. Griechenland soll am Schluß des Pliozäns, so wie Sizilien bis über 1000 m Höhe überschwemmt gewesen sein; die folgenden Rückzugsphasen wären durch Abrasionsstufen gekennzeichnet. Er bezieht die einzelnen Stufen auf bestimmte Einbrüche, und zwar auf die Einbrüche des N.- und S.-Atlantische, der Tyrrhenis, der Adreatis, des Pontus und der Propontis, der Ägäis, des Roten Meeres und Nordafrikas. Wo bestimmte Abrasionsstufen des Quartärs unter ihrem Minimalniveau liegen, nimmt er nachträgliche Senkung an in ausgedehnten zusammenhängenden Gebieten (wie in dem franko-belgischen Küstengebiet nach BRIQUET (16)); indem er die Möglichkeit einer jugendlichen Hebung der pliozänen Ablagerungen in den jungen Faltungszonen bei Rom, am Aspromonte in Kalabrien

¹⁾ Vielleicht hat MURRAY den Betrag zu gering angegeben, da er den Sedimentzutrag durch den Wind nicht berücksichtigt. KEYE, Science. 41. 1915, S. 244.

und Sizilien und am Golf von Korinth (in 1200 m) u. a. O. außer acht läßt, ist er gezwungen eine quartäre Senkung fast des ganzen europäischen Kontinentes anzunehmen.

Es sei hier auch noch an die älteren Arbeiten von DEPÉRET (17) über die französische Mittelmeerküste erinnert. Zwei Uferstreifen in 85 und 55—60 m verlegte er ins Pliozän; eine große Stufe in 28—30 m ins ältere Quartär. Ihnen folgte eine bedeutende negative und dann wieder eine neuerliche positive Bewegung bis zu 13 m.

Die wichtigsten Feststellungen dieser Studien zusammenfassend, gelangt man zu der Annahme, daß durch orogenetische Bewegungen in den jungen Faltungszonen des Mittelmeeres noch jungpliozäne Sedimente aus dem ursprünglichen Lagerungsverbande örtlich gehoben oder gesenkt wurden. Unabhängig von diesen örtlichen Verschiebungen bleiben die gleichzeitigen Meeresschwankungen; noch nach dem Tertiär werden die langen Zeiten der Ruhe und der langsamen Erholung des Meeresspiegels zeitweise unterbrochen durch rasche und allgemeine Senkungen. Wenn hierbei eustatische Vorgänge die Hauptrolle gespielt haben — wie neuerdings LAMOTHE angenommen hat —, so ergibt sich, daß während des Jungtertiärs lange Zeiten relativer tektonische Ruhe wiederholt unterbrochen wurden von einzelnen oder rasch einander folgenden Einbruchskatastrophen. Während mancher dieser Ruhepausen wurde der Ozeanspiegel durch Sedimentanhäufung um mehr als 100 m emporgetrieben. Die letzten historischen Jahrtausende umfassen nur einen kleinen Bruchteil einer solchen langen Ruhezeit; zu kurz, als daß der Anstieg des Meeres ein nachweisbares Ausmaß hätte erreichen können. Aber auch keinerlei Senkung ist in dieser Zeit erfolgt. Wenn, wie manche annehmen, die Schilderung PLATOS von dem Untergange der Atlantis auf einem geschichtlichen Ereignisse, auf dem Niederbruch eines größeren Kontinentalteiles beruhen sollte (19), so hat dieser Vorgang doch keinen sichtlichen Einfluß auf den allgemeinen Stand der Meere ausgeübt, oder er müßte weit zurückliegen vor der eigentlichen historischen Zeit.

Aber weit großartiger und einheitlicher als die immerhin schwer zu verfolgenden und lückenhaften positiven Marken ist das Zeichen einer einstigen großen Wandlung der Meereshöhe, welches unter den schützenden Wellen erlotet wird: die sonderbare Vorstufe, welche mit wechselnder Breite bis zu 50 km und einer Tiefe von 200—300 m die Festländer umsäumt und abtrennt von dem ausgebreiteteren nach Tausenden von Metern zählenden Meerestiefen, die KRÜMMEL den Kontinentalschelf genannt hat. Sie ist allerdings in ihrem Aufbau durch Anhäufung von Sedimenten des benachbarten Festlandes beeinflusst. Ihre Unterlage bildet aber gewiß eine felsige Stufe, die in annähernd gleicher Höhe die verschiedensten Gebirgsstrukturen durchschneidet. Wir können für eine solche Felsgestaltung keine andere Entstehungsmöglichkeit annehmen als die durch marine Abrasion. Ich verweise hier auf die ein-

gehenderen Analysen des Schelfes des Indischen und des Nordatlantischen Ozeans durch ZIEMENDORF (20).

Die Meeresbrandung kann in Tiefen von 200—300 m nicht mehr wirksam sein; deshalb schloß bereits ZIEMENDORF, daß eine allgemeine Senkung des Meeresspiegels bei gleichbleibendem Stande der Kontinente stattgefunden habe. Während eines langsamen Anstieges hat die Brandung, allmählich immer weiter landwärts vordringend, die breite Fläche abgehobelt. Auf unterbrochenen und ungleichmäßigen Anstieg deuten die Abstufungen des Schelfes an manchen Küstenstrecken, besonders dort, wo er breiter ist. So sind unter dem Schottischen Meere drei Flächen in 130, 80 und 40 m Tiefe zu unterscheiden. Der durch Sedimente teilweise verschüttete nordamerikanische Schelf vor Neuschottland und Neufundland scheint der 80 m-Stufe anzugehören. Mancherlei Umstände, ursprüngliche Gestalt und geologischer Bau der Küsten, Gesteinsbeschaffenheit, Sedimentzufuhr, vor allem aber Windwirkung und sonstige meteorologische Verhältnisse mögen die Ursache sein der sehr ungleichen Schelfbreite an verschiedenen Küsten.

Auffallend schwach ist der Schelf an der Ostküste der Indischen Halbinsel. Die Deltas der Flüsse sind auf den Schelf vorgeschoben und die ganze Küste entlang zieht sich eine Alluvialebene; wo sie sich verbreitert, ist der Schelf mehr eingengt, und Bohrungen haben gelehrt, daß sie bereits dem festen Fels aufgelagert ist. Hier wird also der Schelf durch Sedimentation vom Lande her zum Verschwinden gebracht (ZIEMENDORF, l. c. S. 380). Mit Anschluß an die Meinung von OLDHAM erblickt ZIEMENDORF in der Neulandbildung ein Anzeichen, daß die Ostküste nach erfolgter Schelfbildung in langsamer Hebung begriffen sei. Subrezente Korallenriffe liegen über dem gegenwärtigen Spiegel. Als Zeichen einer Senkung der Westküste werden von OLDHAM untergetauchte Wälder und in Schlamm gebettete Baumstämme unter dem Meeresspiegel angeführt. Eine Schaukelbewegung der Ostindischen Halbinsel wird hieraus gefolgert; unter der Voraussetzung, daß die beiderseitigen Marken als gleichzeitig gelten können, daß abgesehen werden kann von den kleineren Meeresschwankungen der jüngeren Zeit, die an vielen Küsten gegensätzliche Marken nebeneinander zurückgelassen haben; und unter der Voraussetzung, daß die unsymmetrische Gestalt der Insel, ihre fast ausschließliche Entwässerung gegen Ost nicht hinreicht, die verschiedene Erhaltung des Schelfes an beiden Küsten und den Vorschub der Anschwemmung über den östlichen Schelf zu erklären.

Eine allgemeine Senkung des Ozeanspiegels hat während des Diluviums der Abgang der Wassermassen bewirkt, die in den polaren Eiskappen angesammelt waren. Den Betrag dieser Senkung schätzt PENCK auf 70 m. RUDZKI (21, 22) berechnete, daß die Bildung einer Eiskappe von 978 m mittlerer Dicke, welche vom Pole bis zum 60. Breitengrade reicht, dem Weltmeere eine Wasserschicht von 80 m Dicke entziehen würde. In tropischen Meeren mag noch eine Erhöhung dieses Betrages

bewirkt werden durch die Attraktion der Eiskappen, die einen Teil des Meerwassers nach den polaren Meeren abzieht. Die gesamte Glazialzeit mit Einschluß der Zeiten des Gletscherrückzuges währte gewiß hunderttausende, nach der Meinung von CHAMBERLIN und SALISBURY sogar etwa eine Million Jahre. Eine allgemeine Schätzungsziffer für den jährlichen Landverlust durch die Arbeit der Meeresbrandung an allen Küsten wird kaum zu gewinnen sein; zu groß sind die Unterschiede an verschiedenen Küsten je nach den örtlichen Verhältnissen. Unter besonderen Umständen, in weichen Gesteinen, kann der unterwaschene Küstenstrand um 1—10 m im Jahre oder noch rascher zurückverlegt werden. Nach TH. FISCHER hat die Brandungsplatte bei Tipasa in Algier seit der römischen Kaiserzeit etwa 15, vielleicht sogar 25 m an Breite gewonnen. Gewiß konnten während der langen Dauer der Eiszeiten marine Abrasionsflächen bis zur Breite von 20 Meilen geschaffen werden. Die Brandungswelle soll noch 10—30 m unter dem Wasserspiegel wirksam sein, demnach entspräche der heutige Schelf der tropischen Meere in 100—150 m der glazialen Brandungsplatte. So folgerte DALY im Zusammenhang mit einer Theorie der Entstehung der pazifischen Koralleninsel, von der unten noch die Rede sein wird.

Von vielen Küsten der Erde sind Anzeichen junger positiver Bewegung bekannt. Ihre Prüfung im einzelnen Falle auf ihre Ursachen und ihre genaue Datierung wird für die vorliegenden Fragen von größter Wichtigkeit sein.

Eine allgemeine Spiegelsenkung zur Diluvialzeit in dem genannten Betrage würde viele Meeresstraßen überbrücken und viele Inseln mit dem Festlande verbinden. England wäre z. B. während des Diluviums mit dem europäischen Festlande, Neuguinea und Tasmanien wären mit Australien verbunden gewesen. Manche Fragen der Tiergeographie und der urzeitlichen Besiedelung durch den Menschen erhalten dadurch neue Anregung.

Auf ein Beispiel junger Strandverschiebung mag hier noch besonders hingewiesen werden. Aus der Mündungsgestalt der Narenta und anderer Flußtäler Dalmatiens, und ferner aus vielen Bohrerergebnissen an der istrischen und venezianischen Küste schloß A. GRUND (23), daß zur Quartärzeit der Spiegel der Adria um etwa 90 m gesenkt war. Die Inseln der Nordadria waren mit dem Festlande verbunden. Hierdurch wird das Auftreten von Flugsandlagen auf den Inseln Unio und Sansego und das Vorkommen von Resten großer Landtiere in den Knochenbreccien mancher kleiner Inseln und Klippen verständlich, und es ist nicht notwendig, postdiluviale Zerstückelung und Einbruch anzunehmen. GRUND nannte die versenkten Täler der östlichen Adria »ein Glied in einem Kreise versenkter Flußtäler, die von der Riasküste Galiziens über die Flußtäler der Gascogne und der Riveria in den Limanen Südrußlands das Gebiet der postglazialen Hebung im Zentrum der Vereisung umgibt. Ähnlich entspricht an der Ostküste Nordamerikas der post-

glazialen Hebung am St. Lorenzo im Süden das Gebiet der ertrunkenen Flußtäler«. Er war jedoch nicht geneigt, die Senkung mit den polaren Eisanhäufungen in Beziehung zu bringen; denn der Tiefstand falle in der Interglazialzeit des Geschnitz-Daun-Interstadiale. Die Ausgestaltung des Talnetzes in seinen wesentlichen Zügen verlegt GRUND in das Pliozän.

Es ist wenig wahrscheinlich, daß die verhältnismäßig geringe Senkung des Meeresspiegels zur Zeit der großen Vereisung hingereicht hat zur Ausbildung des gesamten Schelfes bis zu seinen tiefsten Stufen. Vielleicht ist seine Hauptanlage in eine Zeit umfassenderen Rückganges des Meeres im Jungtertiär zu verlegen. Die recht gleichmäßige Tiefenlage des Schelfes an allen Küsten sagt uns, daß seit seiner Bildung die Kontinentalmassen keine auffälligeren Bewegungen mitgemacht haben.

Auf vorquartäre Anlage des allgemeinen ozeanischen Schelfes weisen z. B. nach ZIEMENDORF (20b) die Verhältnisse an den Küsten des Arabischen Meeres. Aus dem Fehlen eines eigentlichen Schelfes an den Küsten des Golfes von Aden ist zu schließen, daß diese Küsten erst durch spätere tektonische Vorgänge nach der Schelfbildung entstanden sind. Die Flußschotter und die marinen Strandterrassen diluvialen Alters haben aber nach KOSSMATS Angaben an den Verwerfungen und Flexuren, welchen die Inseln und ihre Küsten die gegenwärtige Gestalt verdanken, nicht teilgenommen. An der Südküste von Sokotra war eine 3—6 km breite schelfartige Ebene dem Abbruche der tertiären Schichten vorgelagert, über die Sedimente der Diluviums vorgeschoben und bis über den Meeresspiegel angeschüttet werden konnten, während an der steil abfallenden Nordküste für die quartären Abschwemmungen keine Gelegenheit zur Ablagerung gegeben war. Auch die schmale Stufe vor der ganzen Küstenkette von Iran ist im wesentlichen als Schutthalde anzusehen. Den Küsten der alten indischen Tafel aber jenseits von Karachi ist ein breiter, wohl entwickelter Schelf vorgelagert.

B. Senkung der niederländischen Küste.

Unter den Beispielen für junge epirogenetische Bewegung wird in der Regel auch der Boden der Niederlande angeführt. Die reiche Literatur über diesen Gegenstand verwertet verschiedenartige Belege: Nivellements, Pegelablesungen, Grundwasserbeobachtungen, die Gestaltung der Küsten und der sie begleitenden Dünen mit den Anzeichen jugendlicher Veränderungen des Strandes, der Lauf der Flüsse und die Verteilung der Moore in den Urstromtälern, die Aufschlüsse über die Tiefenlage der Glazialbildung, in Bohrungen die Formen der Hügelrücken, überschwemmte Kulturreste aus vorgeschichtlicher und geschichtlicher Zeit, die steigende Zahl und Höhe der Hochfluten u. a. liefern die Anhaltspunkte, welche die meisten mit dem Gegenstande beschäftigten Forscher zur Annahme einer bis in die Gegenwart andauernden Senkung des niederländischen Bodens geführt haben.

Wohl herrschen Meinungsverschiedenheiten über die Deutung mancher Wahrnehmungen (so z. B. über die Schwankungen des Wasserstandes an den Pegeln zu Amsterdam, die bis 1700 zurückzuverfolgen sind); wohl wird das Gesamtbild des Vorganges durch besondere Umstände örtlich beeinflußt, wenn z. B. die versenkten Moorschichten und 1,5—3 m tief versenkten alten Ansiedelungen nach VAN BEMMELEN durch vorüberwandernde Dünen hinabgedrückt worden waren, oder durch sonstige örtliche Rutschungen und Nachsackungen in den Alluvein. Im ganzen kann man aber nach dem zusammenfassenden Urteile von MOLENGRAAFF (24), STEENHUIS (25) u. a. annehmen, daß der Boden der Niederlande seit dem Oligozän in Senkung begriffen ist. Die jungtertiäre Auffüllung mit Sedimenten ging Hand in Hand mit der Senkung. Über eingeschaltete Stillstands- oder Hebungszeiten in jüngster Zeit sind die Ansichten geteilt. Wiederholtes Überströmen und Zurückweichen des Meeres wird durch mehrfachen Wechsel von Moorbildungen mit Meerestonen, durch überschwemmte prähistorische Artefakte u. a. erwiesen. Der Gegenwart soll nach MOLENGRAAFF eine kurze Hebungszeit vorangegangen sein, in der die vorlagernden Haffs ausgesüßt oder trockengelegt werden. Die Landverluste durch die neueren Sturmfluten sind eine Folge der neuerlichen Senkung. BLAUPOT TEN CATE bezweifelt diese jüngere Hebung (26).

Maßgebend für die Beurteilung des ganzen Vorganges ist die Erkenntnis, daß die Senkung an verschiedenen Gebieten ungleich ist. Nach BLAUPOT TEN CATE (26) und MOLENGRAAFF (24) ist das Land in ein nordwestwärts fächerförmig ausstrahlendes System von Horsten und Gräben zerstückelt. Verschiedene Merkmale der Oberflächen-gestalt, die Anlage der Hügelrücken, die Verteilung der Moore in den alten Urstromtälern, die Umrissse von Überschwemmungsflächen, dann die Aufschlüsse in Bohrungen, welche glaziale und jungtertiäre Grabenfüllungen und ungleiche Tiefen erschlossen haben, liefern für BLAUPOT TEN CATE die Grundlage für eine Darstellung der Horstlinien, durch welche der Boden der Niederlande unterhalb der ausgleichenden und verhüllenden Alluvialdecke zergliedert wird. Zwanzig Horstrücken werden unterschieden. Wichtiger aber als die schwer festzustellenden Einzelheiten sind die Anzeichen für die Fortdauer der Verschiebungen an den Bruchlinien bis in die jüngste Zeit, die aus der Gliederung der Küstendünen, ungleicher Versandung von Häfen und Kanälen in verschiedenen Strecken, aus Daten der Nivellements usw. gewonnen werden.

Auch STEENHUIS (25) betont die bedeutende Rolle der tektonischen Vorgänge in einer kürzlich erschienenen Zusammenfassung über alle auf die Widerstandsfähigkeit der natürlichen Seewehr Hollands, d. i. der Dünen, und auf die Senkungen Bezug nehmenden Fragen. Die sehr ungleiche Tiefenlage verschiedener Schichtglieder, die aus zahlreichen Bohrungen ersichtlich wird, die an einer Stelle abwechslungsreiche, andernorts wieder recht einförmige Schichtfolge der tertiären und diluvialen

Anschüttungen und damit im Zusammenhange die Unmöglichkeit einer einheitlichen stratigraphischen Gliederung des diluvialen Untergrundes, sind verursacht durch die seit dem Tertiär bis heute andauernde tektonische Unruhe.

Die allgemeinen Schwankungen des Meeresspiegels müssen sich aber auch hier bemerkbar machen, und es wird versucht, sie von den durch die Senkung bewirkten Überflutungen zu unterscheiden. Beide vereinigen sich oft und auch die allgemeinen Spiegelschwankungen müssen in verschiedenen Teilen der unruhigen Unterlage in verschiedenem Maße zur Geltung kommen. Während des ganzen Quartär ist die See, bald hier, bald dort landeinwärts vorgedrungen. Nur über Teile des Landes erstreckte sich eine vermutlich altdiluviale Transgression, und nach dem Schwinden des Inlandeises breitete sich das Meer von der Emsbucht über Nordholland und Gelderland. Eine weit ausgebreitete Transgression begann zu Anfang des Quartärs und ergriff während des Alluviums die ganze holländische Küste, ihr folgte wieder ein deutlicher Rückzug der See, namentlich im Westen und Norden des Landes, begleitet von der Bildung eines Dünenstützwalles mit Haffabschlüssen. Aber nur an einigen Orten sind die Reste der älteren Dünen über den Sedimenten mit der Cardiumfauna erhalten geblieben, eine neuerliche Transgression hatte sie anderwärts zerstört. Zwei jüngere Dünenlandschaften, getrennt durch eine negative Strandverschiebung liegen wohl erhalten auf den Sedimenten, die die gegenwärtige Meeresfauna enthalten. Ein jüngster langsamer Anstieg des Meeres, ausgedrückt in einem Rückzug der Dünen in der Zeit nach Christus, konnte noch nicht so viel Land erobern, als er kurz vor der historischen Zeit verloren hatte. Für den Anstieg aber bis zum Jahre 1860, der aus der Zunahme der Sturmfluten, aus Pegelbeobachtungen u. a. zu erkennen ist, wird angenommen, daß hier die See und nicht das Land »die aktive Rolle gespielt habe«.

Das Deutlichste aber und das Wesentlichste für die Frage, welche wir hier im Auge haben, bleibt die Ungleichförmigkeit der früheren Bewegungen an Störungslinien, das Hervortreten von Bewegungen von unzweifelhaft tektonischem Charakter. Was davon als epirogenetische Bewegungen nach verschiedenen Autoren unterschieden werden soll, ist unsicher und kaum zu trennen von den Schwankungen des Meeresspiegels.

Das niederländische Bruchsystem ist, wie wir wohl annehmen dürfen, nichts weiter als ein kleiner Ausschnitt aus dem großen System asiatischer Linien, welches über Deutschland herüberstreicht und in dem junge Verschiebungen in verschiedenem Maßstabe und bis in das Diluvium reichend neuerdings nach morphologischen Methoden nachgewiesen werden. In die gleiche Gruppe von Vorgängen werden auch die jungen Bodenbewegungen in den Niederlanden einzureihen sein. An den flachen Küsten, wo die Meereswogen beständig ankämpfen gegen die sandigen

Ufer, werden sie auffallender bemerkt, trotzdem mancherlei Rutschungen und Senkungen der lockeren Uferbildungen den Hauptvorgang örtlich zu verschleiern imstande sind.

C. Baltischer und kanadischer Schild.

Wenige der großen Geschehnisse aus jüngster geologischer Vergangenheit sind heute mit gleicher Vollständigkeit klargelegt, wie der letzte Rückzug der großen nordischen Eiskappen mit der nachfolgenden und bis heute andauernden, allmählichen Emporwölbung der beiden großen nordischen Grundgebirgsschollen, des baltischen und des kanadischen Schildes. Allgemein bekannt und in vielen Lehrbüchern verwertet sind namentlich die überzeugenden Darstellungen von DE GEER (27), dem es gelungen ist, durch sorgfältige Verfolgung der Fossilverbreitung und der Strandmarken über dem alten Moränenboden die aufeinander folgenden Uferlinien der einzelnen spätdiluvialen Buchten und Seen weit landeinwärts durchzuziehen, und weiterhin durch Feststellung der Verbiegungen an den Strandmarken die Linien gleicher Hebung, als sog. Isobaren, und damit die Form der Aufwölbung anschaulich darzustellen. Hier sollen nur einige Bemerkungen Platz finden über die mutmaßlichen Ursachen dieser vielbesprochenen Vorgänge.

Das ausgedehnte eisgehobelte Gebiet, zugleich eine der größten Blosslegungen ältester Gesteine auf der Erde, ist von der Hebung betroffen worden. Die Hebung war am stärksten in der Mitte des Gebietes, am Gebirgskamm. Dort sind marine Ablagerungen bis 284 m über den heutigen Meeresspiegel gehoben.

Der Übergang in das unbewegte Gebiet des südlichen Jütlands und an der deutschen Ostseeküste vollzieht sich ganz allmählich. Keine sichtbare tektonische Störung scheidet das gehobene von dem stehengebliebenen Lande.

In wunderbarer Weise wiederholt sich der gleiche Vorgang über dem eisgehobelten Grundgebirge von Nordamerika. DANA erkannte bereits das allmähliche Ansteigen der postglazialen Strandlinien entlang der atlantischen Küste von Massachusetts bis Labrador; dort erreicht die junge Hebung 150 m im Inneren des Landes, im Süden der Hudsonbai aber 300 m.

Ein anderes Bild zeigen die marinen Terrassen der niederen Breiten. Die höheren Stufen sind dort durchwegs älter; höchstens jungtertiär, trotzdem sie epirogenetischen Spannungen durch einen längeren Zeitraum ausgesetzt gewesen sein sollten, verlaufen diese Strandterrassen ebenso im Mittelmeer, wie an den meisten atlantischen und indischen Küsten über verschiedene Gebirgsstrukturen hin in horizontaler Lage und annähernd gleicher Höhe, und man findet keine Anzeichen weitgespannter Verbiegungen von Kontinentalschollen, die den Vorgängen an den alten nordischen Tiefenschollen vergleichbar wären. Die geologische Literatur

vermag diesem in ihrer Art und Deutlichkeit einzigen Beispiele »epigenetischer« Hebungen keine ähnlichen an die Seite zu stellen.

In Skandinavien, ebenso wie in Nordamerika verläuft die Hebungsgrenze nahe parallel dem rückweichenden Eisrande und die Hebung erreicht in beiden Fällen beiläufig dort den höchsten Betrag, wo die Eisbedeckung am mächtigsten war. Angesichts der zweimaligen Wiederholung dieser unverkennbaren Verbindung, die uns die Natur in schöner Bereitwilligkeit und großartiger Analogie darbietet, kann an dem ursächlichen Zusammenhange zwischen Hebung und Eisbedeckung kaum gezweifelt werden.

Daß die Anziehung des Ozeanwassers durch die gehäuften Eismassen nicht hinreicht, um den Meeresspiegel über 200 m hoch emporzuziehen, haben übereinstimmend bereits HERGESELL, DRYGALSKI und WOODWARD gezeigt. Zunehmende Erwärmung und Ausdehnung der Landmassen nach dem Schwinden der Eiskappen soll nach DRYGALSKI (28) den Zusammenhang erklären. Die Eisdecke hat die Landoberfläche auf einer Temperatur von 0° gehalten, sie hat den Wärmeabfluß zurückgehalten und die Geoisothermen hinabgedrückt. Die Freilegung der Landoberfläche und die Eröffnung des Wärmestromes läßt die Flächen gleicher Erwärmung wieder emporsteigen, die erwärmte Landoberfläche schwillt auf. Nach einer Berechnung von BADOUREAU würde in der Tat die Erwärmung der Oberflächengesteine Skandinaviens von 0° auf 3° genügen, um eine annähernde Hebung von dem geforderten Betrage (etwa 230 m) zu bewirken. Mehr Anklang hat noch bei skandinavischen Geologen die Eisentlastungstheorie gefunden, welche bereits im Jahre 1865 von JAMIESON geäußert worden war. Dieselbe haben sich auch DUTTON in Amerika, HÖGBOM, RAMSAY, DE GEER in Skandinavien zu eigen gemacht. RUDZKI (22) hat die Frage rechnerisch behandelt unter Berücksichtigung der verschiedenen, gleichzeitig wirkenden Umstände, der Spiegelsenkung durch die Anhäufung der Eismassen an den Polargebieten, der Hebung des Meeresspiegels durch die Anziehung dieser Eismassen und der Deformation der Erdoberfläche durch die geänderte Belastung. Er errechnete — unter der Annahme, daß beide Polargebiete bis 60° Breite mit einer 2000 m starken Eisschicht bedeckt waren — eine mögliche Senkung des Spiegels bis zu 265 m in 90° Breite, dagegen Hebung des Spiegels um 100 m in 60° Breite.

Nach der Schmelze konnten, insbesondere wenn sie rasch erfolgt war, noch bedeutende zirkumpolare Depressionen rückständig bleiben. Sie konnte noch bestehen bleiben, während bereits große Mengen des aufgeschmolzenen Wassers dem Ozean zurückgegeben waren, dann mußten die niedergedrückten Zirkumpolaregebiete überflutet werden (RUDZKI (21)).

Ob nun diese oder die andere Erklärung in Zukunft den Vorrang behaupten wird, berührt nicht die sprechende Tatsache der gegenseitigen Abhängigkeit der Hebung und der schwindenden Eisbedeckung. Sie ist

aber dennoch bezweifelt worden, wegen mancher Unstimmigkeiten in der zeitlichen Folge von Hebung und Enteisung, auf welche BRÜCKNER, HAUG u. a. hingewiesen haben. Dem Rückzuge des Eises folgte nämlich unmittelbar nicht eine Hebung, sondern eine Senkung vor dem Eisrande, über welche das Yoldiameer eingedrungen ist.

In einem neueren Aufsätze, welcher die verschiedenartigen ineinander und gegeneinander wirkenden Beeinflussungen des Meeresspiegels seit dem Pleistozän behandelt, suchte BARRELL (29) den Anstieg vor dem weichenden Eise durch folgende Vorstellung verständlich zu machen. Es wird angenommen, daß eine äußere, starre Lithosphäre aufruft auf einer nachgiebigeren Schichte, der »Asthenosphäre«. Das Gewicht der kontinentalen Eiskappe muß nun die äußere Kruste hinabdrücken in diese nachgiebigere Schichte, welche früher die Elastizitätsgrenze erreicht als ihre Decke und vor dem Drucke durch eine Art Fließen ausweicht, vergleichbar der Gletscherbewegung durch Rekristallisation. Aber in der sehr unvollkommenen Flüssigkeit wird der Druck nicht auf unbeschränkte Entfernung fortgepflanzt. Vor dem Eisrande werden breite und niedrige Rücken aufgepreßt, wie das im Sumpflande zu seiten eines einsinkenden Eisenbahndammes gesehen wird. Mit der Entfernung der Last hebt sich wieder die Mitte; die randlich gestauten Rücken mögen vorerst zugleich mit den inneren Flächen aufsteigen, dann aber wieder zurücksinken. Diese doppelte Bewegung wird begünstigt, wenn die Unterschicht flüssig ist und wenn die Last so schnell entfernt wird, daß die Erholung und Wiedereinstellung der oberen Schichte nicht mit ihr Schritt halten kann.

Die nähere Begründung dieser Theorie wird von BARRELL anderwärts in Aussicht gestellt. Zunächst ist sie nur als Anregung gedacht und zu ihrer Stütze wird vorerst auf die genauen Darstellungen von WOODWORTH verwiesen über die Wasserstände und Eisrückgang und deren wechselseitige Beziehung in den Tälern des Hudson und des Champlain. Sie gestatten die Bestimmung des jeweiligen Wasserstandes nördlich von 40° Breite für jedes Stadium des Eisrückganges, und es zeigt sich in der Tat, daß ein Anstieg der atlantischen Küstenebene dem Eisrückgange gefolgt ist. Erst im späteren Postglazial trat Senkung ein auf den gegenwärtigen Stand. Die Bewegungen sind verschieden vor dem isostatischen Ausgleich nach der eigentlichen Enteisung.

Andere Belege kommen dazu. Talfüllungen von Schutt und Sand in den südlichen Nebenflüssen des Hudson bis zu Tiefen von 60 m bezeugen vorübergehende Hebung in nachglazialer Zeit. Auch die Küsten des südlichen Neuengland zeigen einen geringen steigenden und sinkenden Zyklus. Die heutigen Küsten sind kaum einige Jahrtausende alt; in den ertrunkenen Flußmündungen hat Deltabildung kaum noch begonnen.

Weitere Hinweise auf nachglaziale Hebungen erblickt BARRELL in der gegenwärtigen Verbreitung gewisser Landpflanzen nach den Angaben verschiedener Autoren und namentlich nach der Analyse der Flora von

Neufundland durch FERNALD. Zu den borealen und kanadischen Pflanzentypen dieser Insel gesellen sich etwa 7,7% Pflanzenarten, die aus dem Süden stammen und weder durch Wind noch durch Meeresströmungen über den Golf von St. Lawrence gebracht werden konnten. Sie müssen nach der Vereisung zu einer wärmeren Zeit eine gehobene Küste entlang gewandert sein. Die tiefe und breite Cabotstraße konnte allerdings durch keine Hebung überbrückt werden. BARRELL meinte, daß die vorlagernden seichten Great Banks, welche sich von Cape Anne bis zum 43. Breitengrad erstreckten, über den Meeresspiegel gehoben waren und den Pflanzen eines gemäßigeren Klimas als Zuflucht und Wanderbahn gegen Norden gedient haben.

FERNALD fand auch in Europa ähnliche Anzeichen einer raschen Landerhebung über den gegenwärtigen Stand unmittelbar nach dem Eisrückgange. Sie trennte das Yoldiameer vom Atlantik und schuf den Ancylussee. Es war eine warme Zeit, welche der Haselnuß gestattete, über ihre heutige Nordgrenze hinaus vorzudringen. In Südengland sind z. B. Waldböden aus dieser Hebungszeit heute 15—18 m unter den Meeresspiegel versenkt.

Der Wasserstand an den nordischen Küsten ist als Resultierende aus verschiedenen z. T. gegeneinander wirkenden Umständen anzusehen. Der allgemeine Ozeanspiegel wurde erniedrigt durch Entzug des Wassers, das in den Inlandeismassen angehäuft war (S. 156). Durch die Eislast selbst wird die Küstenlinie niedergepreßt, vor dem Eisrande aber wird durch teilweise Kompensation ein Wulst aufgebogen; er wandert dem Eisrande nach bei seinem Rückzuge und die Einstellung in das neue Gleichgewicht nach Entfernung der Eislast ist von intermittierenden Schwankungen begleitet.

Durch das Zusammenwirken verschiedener Umstände werden die Vorgänge verwickelter, Unregelmäßigkeiten und scheinbare Widersprüche können sich leicht einstellen; die vorübergehende postglaziale Hebung vor dem Eisrande ist nicht unerklärbar und widerlegt nicht die Annahme einer ursächlichen Folge von Eisentlastung und Hebung.

Die Beziehung des Klimas von Skandinavien zum Meeresstande im Nordmeere behandelten kürzlich AHLMANN und HELLAND-HANSEN (30). Sie sind der Ansicht, daß vor Eintritt der pleistozänen Eiszeit die Landgebiete rings um das Nordmeer um 2—300 m gehoben (bzw. der Meeresspiegel um diesen Betrag gesenkt) war. Die Zufuhrinnen für das warme atlantische Wasser zwischen Shetland, Faröer, Island und Grönland mußten hierdurch, ebenso wie das Becken selbst, an Breite und Tiefe verloren haben. Wie heute zur Winterszeit entstand ein monsumähnlicher Luftkreislauf. Ein von Nordeuropa her über das Festland streichender Luftstrom wurde über dem atlantischen Wasserbecken erwärmt und durchfeuchtet und kehrte in höheren Lagen nordwärts zurück. In Berührung mit den Bergeshöhen wurde die Feuchtigkeit als

Reiffrost ausgeschieden. Eine Form des Niederschlages, die auch heute großen Anteil hat an der Bildung der winterlichen Schneedecke in Skandinavien. Damals wurde der ständige Schneefall Anlaß zur Gletscherbildung und zunehmender Vereisung. Da nach heutiger Erfahrung auch wenig umfangreiche Gletscher Anlaß geben zur Bildung von Hochdrucksgebieten, muß ein ausgeprägtes Luftdrucksmaximum über den mächtigen Schnee- und Eismassen des gehobenen Landes den Mosunstrom zwischen Nordeuropa und dem Nordmeer und damit die Menge der festen Niederschläge außerordentlich gesteigert haben. Alle Niederschläge, die als Regen in Westskandinavien niedergingen, breiteten sich über die verminderten Mengen atlantischen Wassers, hemmten dessen wärmenden Einfluß im höchsten Grade und ermöglichten die Bildung von Meereis. Die Tiefen füllten sich mit schwerem, kaltem Bodenwasser und das Nordmeer verwandelte sich aus einer Wärmequelle in einen Kälteherd. So wurde durch die Landhebung in zweifacher Weise die Herabminderung der Temperatur gefördert und die Bedingungen zur Gletscherbildung geschaffen, die über ganz Skandinavien wirksam gewesen sein mögen. Die andauernde Ausbreitung der Schnee- und Eisdecke über Land und Meer und die Beschränkung der Zufuhr von erwärmtem Wasser erzwang eine Verlagerung des isländischen Luftdruckminimums in südlicheres atlantisches Gebiet und bewirkte eine Winterkälte von äußerster Schärfe. Zugleich wurde die vorherrschende Windrichtung über der Nordsee und über den britischen Inseln mehr ostwärts und über dem Nordmeer mehr gegen Nord und gegen Nordost abgelenkt; dadurch wurde die Niederschlagsmenge in Skandinavien und in Grönland allmählich auf ein Minimum herabgedrückt. Heute gewahrt man eine Abnahme der Niederschläge mit Annäherung an die großen Eisdecken. Ein solches Verhalten muß den Zuwachs der Inlandeismassen allmählich vermindern und schließlich in der maximalen Ausbreitung zum Stillstande bringen.

Durch Isostasie des Erdkörpers und durch Niederdruck des Inlandeises wurde die nachfolgende Senkung bewirkt. Sie brachte diese Länder wahrscheinlich bis unter die gegenwärtige Lage und ergriff gleichzeitig oder allmählich das ganze Gebiet des Nordmeeres einschließlich der Faröer- und Shetlandsrinnen. Die Eingangspforten für das warme atlantische Wasser wurden wieder vertieft und im früheren Umfange geöffnet.

Lange Zeit wird vergangen und eine große Wärmemenge verbraucht worden sein, bis die Massen von Meereis und die in das Meer gleitenden Inlandeismassen aufgezehrt worden sind und bis sich die Wirkung der zuströmenden atlantischen Wasser auf die allgemeinen meteorologischen Verhältnisse geltend machen konnten, bis das Luftdruckminimum wieder nordwärts verschoben worden war und wieder südliche und südwestliche Winde über Skandinavien zu wehen begannen. Dann aber begann auch die Aufschmelzung des Inlandeises mit großer Schnelligkeit »gleich dem Frühlingseinbruch« um sich zu greifen. Dies stimmt

überein mit den Angaben über das rasche Zurückweichen des Eisrandes, welche DE GEER aus dem Studium der Schichten gewonnen hat und mit der rasch nachfolgenden Einwanderung der Flora.

Da die Abschmelzung in einem späteren Stadium der Senkung eintrat, entwickelten sich kräftige, kalte Küstenströme entlang der grönländischen Küste; sie überdeckten einen großen Teil der atlantischen Wässer und unterdrückten deren Wirkungen auf die Atmosphäre, so daß mit sinkender Temperatur wieder die Abschmelzung verzögert wurde. Damit wurden neuerdings größere Mengen atlantischen Wassers bloßgelegt, und durch Temperaturerhöhung die Schmelzung neuerdings gefördert. So, unter beständigen Schwankungen, bald gehemmt und bald wieder beschleunigt, vollzog sich der Rückzug des Inlandeises. In höherem Grade noch als durch diese kurzwährenden Schwankungen, wurde der Eisrückgang beeinflußt und zeitweise unterbrochen durch gleichzeitige Niveauveränderungen. Es zeigt sich, daß die Niveauveränderungen nicht zugleich mit den Beschleunigungen oder Verzögerungen der Abschmelzung eintraten, sondern ihnen vorangingen. Sie erklären die größeren Eisrandlinien.

D. Koralleninseln.

Durch eine von R. A. DALY (31, 32) entwickelte Theorie werden Wallriffe und Atolls ihrer im Sinne der Theorie von DARWIN und DANA zugewerteten Bedeutung als Belege für andauernde säkulare Senkungen des Meeresgrundes entkleidet. Diese Theorie besagt in Kürze folgendes:

Die Bauten der Wallriffe und Atolls wurzeln nicht tief am Meeresgrunde, wie von der DARWIN-DANAschen Theorie vorausgesetzt wird; sondern sie sind mit einer Mächtigkeit von 200—300' den Schelfflächen aufgesetzt. Auch bei großer Ausdehnung bleiben die Lagunen stets seicht und reichen nicht unter die allgemeine Schelftiefe hinab. Ihre Tiefe bleibt zumeist zwischen 150 und 250'; Tiefen von über 300' sind seltene Ausnahmen. Die kleinen Riffe konnten nicht die Schuttmengen geliefert haben, die zur Auffüllung der Lagunen vom tiefen Meeresgrunde an notwendig gewesen wären; auch bliebe es unerklärlich, warum eine Auffüllung an allen Ringinseln gleich weit vorgeschritten sein sollte.

Die Ergebnisse der berühmten Bohrungen auf Funafuti (1878/79 und 1904), dem steilen Riff, das in der Ellicegruppe 4500 m hoch vom Grunde des Stillen Ozeans aufsteigt, sind nach DALY nicht beweisend. Zwar enthielten die Bohrkern bis 400 m Tiefe noch Korallenkalk, z. T. mit noch heute lebenden Arten; aber das autochthone Riff endigt bereits in 150' Tiefe, darunter wurde nur mehr Riffschutt mit verfestigten Trümmern und Conchylienschalen durchfahren. Dies ist folgendermaßen zu erklären: Der von der wachsenden Riffkrone nach allen Seiten niedergehende Schutt hat die Steilhänge bis tief hinab übergossen. Dieser Schuttmantel dient dem nach außen vordringenden, lebenden

Riff als Unterlage. Die Bohrung von Funafuti stand am äußeren Atollrande und hat unter dem gesimsartigen Vorsprung der lebenden Riffkronen den zurückstehenden Teil des Schuttmantels aus einem früheren Wachstumstadium des Riffes angetroffen. Es kann dadurch nicht bewiesen werden, daß der Korallenbau aus großen Tiefen emporgestiegen sei; maßgebender wäre eine näher der Mitte des Atollringes anzusetzende neue Bohrung.

Der Schelf selbst ist die Abrasionsterrasse des gesenkten Meeresspiegels der Eiszeit (s. S. 156). Zur Zeit seiner Bildung war, nach annähernder Schätzung aus dem Florencharakter und anderen Anhaltspunkten, die Temperatur gegenüber der heutigen um 5—10° C. vermindert. Die in ihren Lebensbedingungen so sehr an warmes Wasser gebundenen Riffkorallen mögen damals aus dem größten Teile ihres heutigen Verbreitungsgebietes vertrieben und auf schmale, genügend warm gebliebene Zonen zurückgedrängt gewesen sein. Mit der Rückkehr des besseren Klimas besiedelten die Riffkorallen die Schelfflächen. Dem postglazialen Meeresspiegelanstieg folgten sie mit ihrem Wachstum nach oben und nach außen und wurden dabei nach dem von DARWIN und DANA dargelegten Vorgange zu Ringinseln ausgestaltet.

In beschränkten Strecken sind natürlich auch Korallenbauten durch junge orogenetische Hebungen oder Senkungen beeinflußt worden. Örtliche Senkungen wurden durch den allgemeinen postdiluvialen Meeresspiegelanstieg verschleiert. Zonen mit gehobenen Riffen treten dafür um so auffälliger hervor. Das Alter der Hebung ist aber bei vielen noch nicht festgestellt. Genauere Untersuchungen der Korallenarten in dem gehobenen Blocke, der von dem jungen Riffe gesäumt wird, sind bei vielen noch ausständig. Das Fehlen des Schelfes bezeugt aber Hebung in postglazialer Zeit. Manche, z. B. Christmas Island und Rodriguez im Indischen Ozean, Vavau in der Tongagruppe, Uvea in der Loyaltygruppe (nach WANNER und WELTER auch die Korallenbänke auf Timor) haben zugleich mit der Hebung eine leichte Schrägstellung erfahren. Manche sind gewiß, andere wahrscheinlich tertiären Alters. So sind z. B. gehobene Riffe des Paumotuarchipels nach HILL pliozän oder höchstens früh-pleistozän.

Das sind jedoch Vorgänge, die keinen Bezug haben zu epirogenetischen Bewegungen von kontinentaler Ausdehnung.

Schon früher war VAUGHAN (33) bei seinen Studien auf den Keys von Florida zu der Ansicht gelangt, daß die jungen Außenriffe in enger Beziehung stehen zu jungem Meeresspiegelanstieg, daß im allgemeinen Riffkorallen am üppigsten gedeihen während und unmittelbar nach einer »Senkungsphase«.

Diese Angliederung der Korallenriffe an die seichte Plattform in allen ihren Verbreitungsgebieten ist entscheidend für die Auffassung ihrer Bildungsweise und es scheint nicht, daß sie durch die Einwände entkräftet werden kann, welche DAVIS (34, 35) ihr entgegengestellt

und zugunsten der älteren Theorie von DARWIN und DANA ins Feld geführt hat. Da nach DAVIS die größtenteils vom Meere verhüllten Riffe selbst keinen Aufschluß über ihre Bildungsweise geben können, sucht er nach Anhaltspunkten in den Nachbargebieten, welche die gleichen Schicksale mitgemacht haben, und findet vor allem Zeugnisse andauernder Senkungen in der Gestaltung der von den Wallriffen umschlossenen Inseln. Ihre Küsten sind ausgebuchtet und die Talmündungen überschwemmt, sie umsäumt kein Brandungsriff, das zur Zeit der diluvialen Senkung zugleich mit der Brandungsplatte entstanden sein sollte. Alle Merkmale weisen nach DAVIS auf ein gründlicheres und länger andauerndes Untertauchen, als während der relativ kurzwährenden Eiszeit möglich gewesen wäre. Der Theorie von DALY wird nur die Bedeutung eines ergänzenden Nebenumstandes zuerkannt. Aber man darf wohl vermuten, daß auch diese Inseln die an den meisten Küsten nachweisbaren und bis in das Tertiär zurückreichenden wiederholten Spiegelschwankungen mitgemacht haben und daß die Anlage der Talsysteme dieser Inseln, ebenso wie der meisten kontinentalen Talsysteme (s. S. 157) bis ins Pliozän zurückreicht. Die Entstehung eines Brandungsriffes nahe an der heutigen Brandungshöhe konnte verhindert worden sein, wenn der vorlagernde, schützende Korallensaum zugleich mit dem steigenden Meeresspiegel emporgewachsen ist. Ohne auf die Ausführungen von DAVIS im einzelnen näher einzugehen, soll hier nur die Meinung geäußert werden, daß durch sie die Bedeutung der Erklärung von DALY, welche die allgemeinen Züge der Korallenriffe in so befriedigender Weise verständlich machen, nicht aufgewogen wird.

Fortsetzung folgt.
