

DER PERU-STROM*)

G. Schott

Mit 1 Abbildung

Der Peru-Strom, von entscheidendem Einfluß auf die klimatischen und damit auch auf die wirtschaftlichen Verhältnisse der von ihm bespülten Küsten, ist unperiodischen Störungen gewaltigen Ausmaßes ausgesetzt, die ihrerseits zu katastrophalen Folgen im Meere und am Land führen. Deshalb haben Untersuchungen über diese Meeresströmung auch geographisches Interesse. Die zwei letzten sehr schweren Störungen fallen in die Jahre 1891 und 1925; aber in nicht wenigen anderen Jahren sind solche Störungen von geringerer Stärke und geringerer Ausdehnung beobachtet, so z. B. auch in 1949 ab Januar.

Durch eine Verkettung widriger Umstände erhielt ich erst vor wenigen Wochen Kenntnis von der 1949 erschienenen und umfangreichen Arbeit des seit mehr als 20 Jahren in Lima ansässigen Fischereibiologen.

In der 22 Seiten umfassenden Abhandlung *Schweiggers* ist eine solche erdrückende Fülle von lokalem Detail enthalten, daß es, wenigstens mir, schwer fällt, eine Generallinie neuer Erkenntnis in geistiger Verarbeitung aller der Einzelheiten zu finden, und dies, obschon mir eine flüchtige Befahrung der Gewässer von Nord nach Süd etwas zur Seite steht. Andererseits scheint es eine Pflicht zu sein, das Wesentliche und Neue herauszuheben und zu ergänzen, weil ich — nach *Schweiggers* Angabe — einer der ersten gewesen sei, der mit neuzeitlichen Methoden und neuem Material den Strom beschrieben und als erster die großen Störungen zutreffend erklärt habe (2). Als zweite Quelle führt *Schweigger* mit Recht die Beobachtungen des britischen Ozeanographen *R. Gunther* an Bord des Forschungsschiffes „William Scoresby“ von 1931 an, die *Gunther* 1936 veröffentlichte (3).

Wie steht es wohl um die derzeitige Kenntnis über den Peru-Strom, seine Störungen und seine normalen Eigenschaften, in tunlichst knappen Sätzen zusammengefaßt?

I. Die katastrophalen Störungen gehen in dem nördlichsten Stromteile vor sich und in Beschränkung auf die Monate etwa Dezember bis April: darum Nino-Strom = Weihnachtskind-Strom. Sie sind nur großräumig zu erklären, und zwar durch eine Verlagerung des äquatorialen, warmen und salzarmen Gegenstroms auf Süd-Breite, so daß selbst die Galapagos-Inseln in Mitleidenschaft gezogen werden können. Diese ozeanologische Anomalie ist ihrerseits erklärbar durch eine ebenfalls großräumige meteorologische Anomalie, durch eine Verlagerung des meteorologischen Äquators bis zum Äquator selbst und bis auf geringe Süd-Breite, so daß der SO-Passat und damit der Peru-Strom zurückgedrängt wird und es bei nördlichen Winden zu schweren schädigenden Regenfällen kommt. Gleichzeitig findet auf Nord-Breite im Bereiche des normalerweise sehr warmen und salzarmen Golfes von Panama usw. eine sehr beträchtliche Abnahme der Wassertemperatur und eine mächtige Zunahme des Salzgehalts statt, als

Folge der im Nordwinter hier heftigen, gelegentlich stürmischen „Norder“, die einen Auftrieb kühlen Tiefenwassers durch Fortblasen der Oberflächenschicht bedingen.

Also ein weitreichender ozeanischer Vorgang, sozusagen ein Umtausch oder Austausch der ozeanischen Eigenschaften zwischen Süd und Nord in äquatornahen Breiten. Auf diese zu einem vollen Verständnis des gesamten Nino-Problems unerlässliche Kombination mit den gleichzeitigen Vorgängen im Golfe von Panama geht *Schweigger* nicht ein, wohl weil sie außerhalb seines eigenen Beobachtungsbereiches sich vollziehen. Doch übernimmt er meine Erklärung in ihrer allgemeinen Linie als durchaus richtig, wie dies übrigens auch der bekannte amerikanische Ozeanograph *H. A. Marmor* (4) in einem soeben veröffentlichten Referat zur *Schweiggers*chen Studie ebenfalls tut.

Unser Wissen um die Entstehung der Nino-Katastrophen dürfte somit grundsätzlich gesichert sein. Und doch findet *Schweigger* einen Haken in der Sache, der aber, wenn ich recht verstehe, nur die Nomenklatur betrifft. Auf Grund seiner intimen Kenntnis peruanischer Verhältnisse teilt er uns mit (S. 230), daß die Peruaner und insbesondere die Fischer von Paita (5° S.-Br.) den Namen Nino-Strom verwenden nur für ein beschränktes Gebiet nördlich von Callao, wobei es sich um das mehr oder weniger plötzliche Auftreten von warmem, blauem Wasser handelt, in welchem sonst fehlende Tiere, wie Hammerhaie, Thunfische u. a., sich finden, um warmes Wasser, das auch keine katastrophalen Folgen im Meere etwa für die Vogelwelt oder an Land durch schwere Regen etwa für die auf Regenarmut eingetrichterte Bevölkerung habe.

Davon, daß der Name Nino-Strom also von Haus aus und in der Praxis nur einem lokalen Phänomen gilt, davon wird man natürlich gebührend Kenntnis nehmen. Wenn gleichwohl der ozeanographische Fachmann 1931 diese Bezeichnung auf die großräumigen, in Sonderfällen bis weit südlich von Callao beobachteten Warmwasser-Transgressionen ausdehnte (2), so war das eine literarische Freiheit, die ich damals unbewußt in Anspruch genommen habe, um den Gesamtkomplex der Vorgänge mit einem Wort zu kennzeichnen. Es dürfte kaum nötig sein, in der wissenschaftlichen Meereskunde diese nützliche Benennung wieder auszumerzen. Wenn *Schweigger* hierin, in der Übertragung des Namens auf ein größeres Gebiet und auf schwerwiegende Vorgänge, eine „bedauerliche“ Verwechslung oder Verwirrung erblickt (S. 123), so wird wohl kaum jemand dies so tragisch nehmen, auch die Fischer von Paita nicht. Wie soll man denn sonst diese fast die gesamte äquatornahe Ostecke des Stillen Ozeans um die Weihnachtszeit erfassenden Umwälzungen kurz und treffend nennen? Zuletzt hat *H. U. Sverdrup* in dem Sammelwerk „The Oceans“ 1942 die Bezeichnung Nino-Strom ebenfalls in meinem Sinne benutzt. Ich habe s. Z. sogar gewagt (2), recht analoge Störungen im nördlichen Benguela-Strom als Nino-Vorgänge an der afrikanischen Küste zu bezeichnen und das Wort somit gewissermaßen als Gattungsbegriff verwendet (1931, S. 249).

*) Zum Anschluß an den Aufsatz von *E. Schweigger* (1)

II. Die kleineren Störungen, über die durch *Schweiggers* Arbeit eine wertvolle Erweiterung unserer Kenntnisse der peruanischen Strömungen beschafft ist, beanspruchen in der Hauptsache nur lokales oder speziell biologisches Interesse. Darum seien hiervon nur genannt der Nino-Strom im *Schweiggerschen* Sinn (s. oben S.) bei Paita usw., zweitens der sogenannte Callao-Painter (S. 234), der, ebenfalls im Nordwinter am häufigsten, durch Geruch von Schwefelwasserstoff und Zersetzung der weißen Farbe an den Schiffen auf der Reede von Callao sich unangenehm bemerkbar macht, und drittens die sogenannten Aguajes (S. 233). Letztere Erscheinung, besonders wieder den Nordwinter bevorzugend, gipfelt unter dem Einfluß warmen Wassers in einer Massentwicklung bestimmter Planktonen, die das Meerwasser blutrot färben, so z. B. 1923 auf der Küstenstrecke zwischen Talara ($4\frac{1}{2}^{\circ}$ S.-Br.) und Ilo. Die Aguajes können gelegentlich Fischsterben oder durch Vergiftung der Nahrung auch das Sterben der Guano-Vögel herbeiführen. Allerlei weitere lokale Eigenheiten im nördlichsten Teile des Peru-Stromes lehren nur immer wieder, wie außerordentlich labil die Grenze der verschiedenen Wasserarten hier ist, und zwar besonders im Nordwinter, was ja in Betracht der Jahresperiode der Passatausbreitung zu erwarten war.

Dem Wunsche *Schweiggers* nach weiteren wissenschaftlichen Untersuchungen in dem hoch interessanten Meeresgebiet kann man nur zustimmen. Wenn er aber in diesem Zusammenhang (S. 124) bedauert, daß es ihm nicht möglich sei, mit einem Forschungsschiff Terminfahrten bis 2000 m Tiefe (!) auszuführen, so schießt er damit wohl über sein eigenes Ziel — Aufklärung der Vorgänge in den für die Fischerei wichtigen Gewässern — hinaus. Es steht doch seit Jahren fest, daß die Auftrieberscheinungen in den vier relativ kühlen Meeresströmungen, im Benguela-, Kanaren-, Kalifornien- und Peru-Strom nur bis 200 oder 300 m Tiefe sich bemerkbar machen, in Sonderfällen vielleicht noch ein wenig tiefere Schichten ergreifen. *H. U. Sverdrup* (5) sowohl als auch *A. Defant* (6) haben dies dargelegt. Im Falle des Peru-Stromes lehrten es die Beobachtungen der „Carnegie“ 1928/29 (2). In großen Tiefen kommen, ganz abgesehen schon von *W. Ekman's* theoretischen Entwicklungen zur Stromablenkung, nur Tatsachen der allgemeinen ozeanischen Tiefenzirkulation in Betracht. Höchstwahrscheinlich hat zudem bei den Nino-Störungen u. dgl. die verhängnisvolle Wasserschicht häufig noch eine erheblich geringere Mächtigkeit als 200 m.

III. Auch über den Peru-Strom als solchen haben wir durch *Gunthers* Beobachtungen und *Schweiggers* neue Angaben (S. 237 ff.) eine erheblich geförderte Kenntnis erlangt. Es kommen dabei auch die Gewässer weiter im Süden etwa bis zum „Knie“ der Küste bei Arica ($18\frac{1}{2}^{\circ}$ S.-Br.) und noch nordchilenische in Betracht, also Gebiete, die außerhalb der „Störungen“ liegen. Im gesamten Peru-Strom besteht, und zwar zu allen Jahreszeiten, eine auf gewissen Strecken beobachtbare Tendenz, aufländig zur Küste zu drängen und dann nach Nord, häufiger nach Süd umzuschwenken. Diese rückläufigen Stromkörper

erscheinen dann relativ warm im Vergleich zu den „Auftrieb“-Strecken; sie sind häufig zwischen Mollendo und Arica, zwischen Pisco und Mollendo auf der Höhe von San Juan, aber auch anderwärts nördlicher, zwischen Puerto Chicama und Callao, anzutreffen, und dies trotz entgegenstehender SO- und S-Winde. Alle Reisen entlang der peruanischen und nordchilenischen Küste lassen demgemäß einen beträchtlichen Wechsel der Oberflächentemperaturen erkennen, während in einem geschlossenen Auftrieb die Temperatur nicht oder kaum schwanken würde. Dazu kommt, daß sogar Stromversetzungen nach Süden von nennenswerten Beträgen errechnet werden. Alle diese Abweichungen von der „normalen“ N—NNW-Richtung, die man antizyklonale Wirbel nennen kann, gehen ohne klimatischen und ohne wesentlichen biologischen Effekt vor sich. Eine gute Abbildung davon, wie man sich den Vorgang zu denken hat, kann man bei *Gunther* (S. 193) finden.

Es handelt sich offenbar um eine ganze Reihe dem Peru-Strom immanenter Eigenheiten, die wieder einmal die alte Erfahrung bestätigen, daß Meeresströmungen nicht in so einfachen regelmäßigen Richtungen sich bewegen, wie die gangbaren Karten angeben. Obschon der Abfall zur Tiefsee sehr steil ist, wäre es vielleicht der Mühe wert, zu untersuchen, ob etwa das küstennahe unterseeische Relief, z. B. die Shelfbreite, bei diesen Eigenheiten des Peru-Stroms eine Rolle mitspielt; die kurzen Bemerkungen *Gunthers* zu diesem Punkt (S. 203) sprechen nicht dafür.

Fest steht, auch nach *Schweigger*, daß das peruanische Zentrum des Auftriebwassers im strengen Wortsinne mit besonders niedrigen Temperaturen nördlich von Mollendo bei etwa 16° S.-Br. liegt. Dies zeigen u. a. die genau ausgearbeiteten Temperaturschnitte der deutschen Schiffe „Emden“ (September 1927) und „Nitokris“ (November 1929). Wer hier, von Norden kommend südwärts fährt, sucht schleunigst wärmere Kleidung heraus.

Den Schluß dieser Ausführungen möge eine weitere Ergänzung zu *Schweiggers* Studie bilden. Es besteht im Gesamtgebiet des Peru-Stroms neben den soeben erörterten horizontalen Wirbeln ein ganz allgemeiner vertikaler Großwirbel, der die Tiefen bis 200 bis 300 m erfaßt und dem Gesamtvorgang „Auftrieb“ gilt. Er ist unmittelbar nicht zu beobachten, muß aber bei jedem senkrecht zur Küste gedachten Querschnitt aus der Verteilung der Temperaturen und Salzgehalte und damit der spezifischen Gewichte gefolgert werden, so, wie dies die nebenstehende Textfigur angibt (Abb. 1). Diese Figur ist entworfen nach dem Vorbild, das *A. Defant* (6) für den Benguela-Strom vor der Küste von Südwest-Afrika gezeichnet hat und das auch in *G. Schott*, Geographie des Atlantischen Ozeans, 4. Aufl., S. 244, wiedergegeben wurde.

Unsere Textfigur hier gibt einen Querschnitt durch den Peru-Strom senkrecht zur Küste unter 15° S.-Br. auf der Höhe von San Juan, also zwischen Mollendo und Callao. Der Querschnitt verläuft, weil die Küste SO—NW-Richtung hat, nach SW bis etwa $16\frac{1}{2}^{\circ}$ S.-Br. 77° WlG. in 130 Seemeilen Entfernung vom Land. Er beruht auf den Messungen, die durch *Gunther* (3) an Bord der „William Scoresby“ am 22. und 23. Juni 1931, also im Südwinter, ausgeführt und

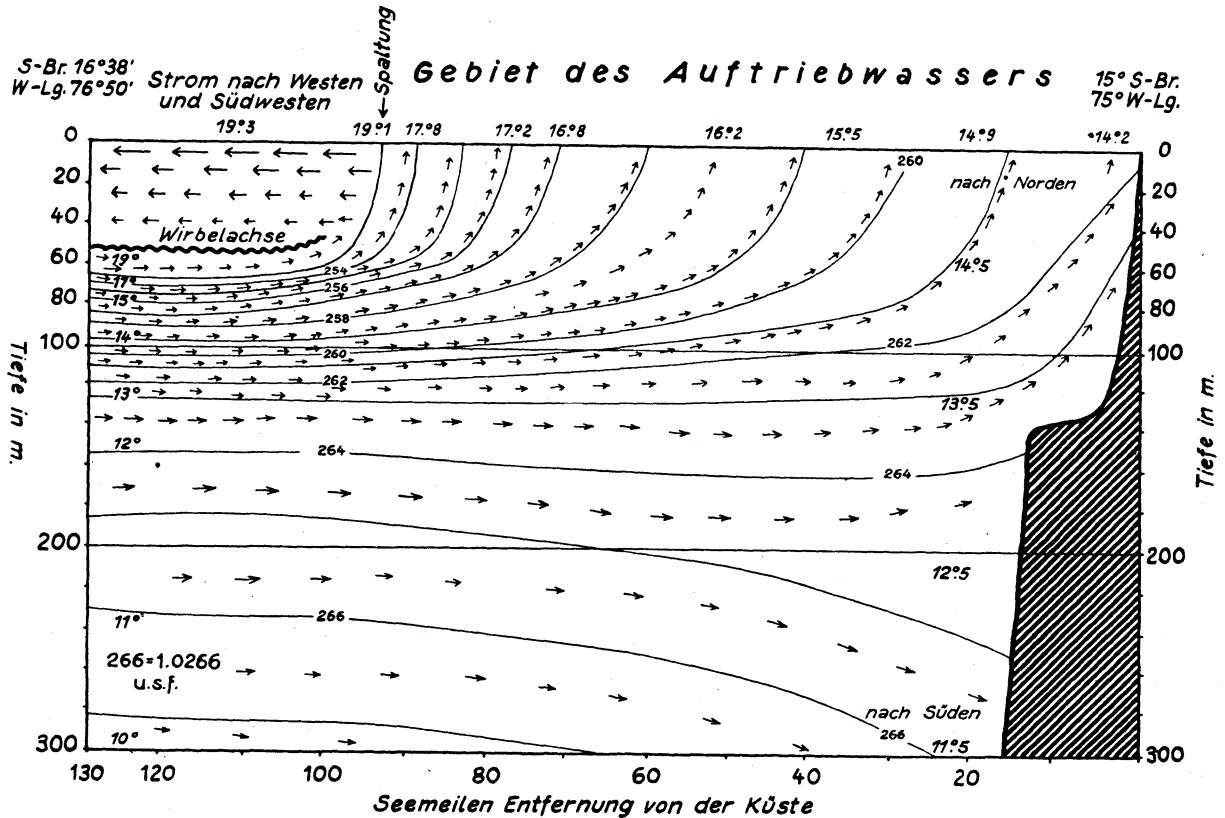


Abb. 1: Querschnitt durch den Peru-Strom ab San-Juan nach Südwesten mit Linien gleichen spezifischen Gewichtes des Seewassers (Juni 1931).

von ihm in drei Figuren, S. 147 für die Oberfläche S. 149 und 165 für Temperatur und Salzgehalt der Tiefen in Diagrammen wiedergegeben sind, leider nicht in Zahlen, so daß sorgsame Interpolation notwendig wurde. Die beim Aufsteigen mit der Druckentlastung verbundene, also adiabatische Temperaturabnahme konnte bei dem geringen Tiefenintervall von höchstens 200 m außer acht bleiben, da sie selbst bei 14° nur auf 0.03° zu veranschlagen ist. Das Ergebnis in der Textfigur hier zeugt in der erstaunlichen Übereinstimmung des Verlaufes der einzelnen Linien für die Richtigkeit. Es ist hier also zum ersten Male das ozeanographische Zahlenmaterial für die Darstellung des vertikalen Großwirbels im Peru-Strom ausgenutzt. *Gunther* hat dies noch nicht getan, es fehlte s. Z. *Defants* Beispiel.

Die Wasserbewegungen erfolgen parallel zu den Linien gleichen spezifischen Gewichtes, im Bereiche des Auftriebwassers nach oben und zugleich nach Norden, also schraubenförmig im Raume. Am besten wäre eine Abbildung in dreidimensionalen Blockdiagrammen, wovon ich aber absehen muß. Man erkennt sofort, daß der Auftrieb nur die Tiefen bis höchstens 200 m erfaßt; darunter bewegt sich das Wasser schon abwärts und nach Süden. Die Hauptmasse des Tiefenwassers stammt in Küstennähe aus 160—150 m Tiefe, an der Westkante der Auftriebszone gar nur aus 70—80 m Tiefe.

Scharf lag diese Westkante des Auftriebs in 95 Seemeilen oder 176 km Entfernung von der Küste.

Während die Oberflächentemperatur, von der Küste abgerechnet, nur um durchschnittlich 0.36° für je 10 Seemeilen Abstand zunahm bei einem Durchschnittssalzgehalt von 34.95 ‰, stieg sie an der Westkante auf 6 Seemeilen Abstand um 1.27° und wuchs der Salzgehalt bis auf mehr als 35.20 ‰. Zugleich wird sich die Wasserfarbe von Flaschengrün nach Blau verändert haben. Hier in 95 Seemeilen Küstenabstand verlief also eine Divergenzlinie zwischen der Auftriebszone und dem Gebiet des unbeeinflussten Peru-Stroms. Letzterer muß oberhalb der Wirbelachse sich west- und südwestwärts bewegt haben. Die Divergenzlinie selbst wird an der Oberfläche einen mehr oder weniger küstenparallelen Verlauf unter den verschiedenen geographischen Breiten haben.

Dies alles im einzelnen durch weitere Querschnitte festzustellen, wäre eine sehr lohnende Aufgabe für die Guanogesellschaft in Lima und deren ozeanographisch tätigen *E. Schweigger*. Es sind Messungen nur bis 300, höchstens 400 m Tiefe erforderlich, aber genaue Salzgehaltsbestimmungen und ganz genaue Messungen der Tiefentemperatur, die ja bei dem durchgreifenden Einfluß der Temperatur auf das spe-

zifische Gewicht bis auf mindestens 0.1° , tunlichst auf 0.05° , garantiert sein müßten.

Der Motor des gesamten Mechanismus des Auftriebwassers ist letzten Endes natürlich der SO-Passat, wie schon immer angenommen ist; nur sind die Einzelvorgänge erheblich komplizierter als anfänglich die Meinung war. Vergleichen wir unseren Querschnitt mit dem von *A. Defant* (6) für die südwestafrikanische Auftriebszone berechneten Querschnitt, so finden wir eine vollkommene Übereinstimmung in allen grundsätzlich wichtigen Eigenheiten, auch sogar zahlenmäßig, was die Maximaltiefe des Auftriebs betrifft. Der einzige erhebliche, aber nur zahlenmäßige Unterschied ist die im Peru-Strom nur knapp halb so große Ausdehnung der Auftriebszone seewärts gegenüber derjenigen im Benguela-Strom mit fast 200 Seemeilen Breite.

Legt man auf diese Tatsache Gewicht, so erscheint die Westküste Südamerikas mit ihren ungünstigen Wassertemperaturen doch noch relativ begünstigt im Vergleich zur Westküste Südafrikas. Dies ist auffällig, weil der afrikanische Passat im Jahresdurchschnitt vor Swakopmund überwiegend aus SW weht, der peruanische Passat aber nur recht selten zum Lande gerichtet ist. Die Ursache hierfür dürfte in der geographischen Tatsache zu suchen sein, daß eine so gewaltige Gebirgsmauer wie die südamerikanische Cordillere dem südwestafrikanischen Kontinentalrande fehlt.

Literatur

- (1) *E. Schweigger*, Der Peru-Strom nach 12jährigen Beobachtungen. Erdkunde III, S. 121—132 und 229—240. Bonn 1949.
- (2) *G. Schott*, Der Peru-Strom und seine nördlichen Randgebiete in normaler und anomaler Ausbildung. Annalen der Hydrographie usw., S. 161—169 und 200—213 und 240—252. Berlin 1931.
- (3) *R. Gunther*, Oceanographical investigations in the Peru- and Coastal Current. Discovery-Reports, vol. XIII S. 107—276. Cambridge 1936.
- (4) *H. A. Marmor*, The Peru- and Nino-Currents. Geographical Review, S. 337—338. New York 1951.
- (5) *H. U. Sverdrup*, The Peruvian Current. National Research Council. Transact. Amer. Geophys. Union, S. 257 ff. Washington 1930.
- (6) *A. Defant*, Das Kaltwassergebiet vor der Küste Südwestafrikas. Festschrift zu N. Krebs 60. Geburtstag. Länderkundl. Forschung, S. 52. Stuttgart 1936.

SEITLICHE EROSION NACH H. v. WISSMANN

H. Louis

Als Ergebnis langjähriger Erfahrungen und Überlegungen breitet *H. v. Wissmann* in seiner Studie „Über seitliche Erosion“¹⁾ eine Menge höchst wichtiger Einsichten über den Mechanismus der Abtragung, insbesondere der Bildung terrestrischer Einebnungsflächen durch seitliche Erosion vor uns aus. Wir dürfen in der Arbeit ohne Zweifel einen wesentlichen Fortschritt der allgemeinen Theorie der Abtragungs-

formen begrüßen. Nicht ganz so ungeteilt wie im Sachlichen ist unsere Zustimmung im Nomenklatorischen. Es soll aber unsere Anerkennung des Geleisteten nicht schmälern, sondern möchte dessen Wert noch wirkungskräftiger machen, wenn wir an einigen Stellen in Benennungsfragen Einwendungen vorbringen.

Der Verfasser entwickelt seine Anschauungen auf Grund der These, daß ein ungestört sich selbst überlassener Fluß auf allmählich größer werdenden Laufstrecken einen Gleichgewichtszustand anstrebt, bei welchem das angelieferte Geschiebe gerade eben abgefrahrt werden kann. Die in diesem Gleichgewichtszustand besonders wirksam werdende seitliche Erosion prägt das linienhafte Gleichgewichtsprofil einer Fläche zu beiden Seiten des Flusses auf, welche mit der Zeit immer größer wird. Das ist *W.*'s geographische Gleichgewichtsebene. Sie greift ohne Rücksicht auf Gesteinsunterschiede über festen Fels (meist mit geringer Schotterüberschleierung) oft auch über Alluvionen hinweg. Nur vollzieht sich das Einebnen durch seitliche Erosion in hartem Fels selbstverständlich langsamer als in weichen Gesteinen. Nicht nur durch Aufschütten, auch durch seitliche Erosion entstehen auf diese Weise flach kegelförmige Oberflächenformen bzw. schiefe Ebenen. Bei Rückverlegung des „Fußpunktes der Tiefenerosion“ können solche Einebnungen auch gewässeraufwärts wachsen.

Es werden weiterhin verschiedene Möglichkeiten der Tieferschaltung von Gleichgewichtsebenen durch Abtragungsvorgänge und die hierbei z. T. nur vorübergehend zur Ausbildung kommenden Formen (wie Badlands u. dgl.) erörtert. Von großer Bedeutung sind die Ausführungen über das Belastungsverhältnis (Verhältnis zwischen Wasserführung und Geschiebelast) und seinen Einfluß auf die Neigung des zugehörigen Gleichgewichtsprofils. Mit Zunahme des Belastungsverhältnisses wird das Gleichgewichtsprofil steiler, und je steiler es ist, umso rascher ist Einebnung zu beiden Seiten möglich, weil ja die über die Gleichgewichtsebene aufragenden Erhebungen in diesem Falle besonders klein sind. Außerdem ist bei hohem Belastungsverhältnis der Talaustrittswinkel an der Spitze der entstehenden Gleichgewichtsebene weit stumpfer als bei geringem Belastungsverhältnis. Das sind ohne Zweifel sehr wichtige Erkenntnisse.

Bei ihrer Erörterung wird die Frage gestreift, die auch an anderer Stelle schon anklingt, ob bei einem Flusse Gleichgewichtszustand und Zustand des Aufschüttens unterschieden werden können. *W.* bezweifelt dies. Ich möchte trotzdem wie *W. Behrmann* und *C. Troll* das Verwildern und Sich-Gabeln des Flusses als untrügliches Anzeichen des Akkumulierens, das Mäandrieren dagegen als Anzeichen angenäherten Gleichgewichts zwischen Geschiebe-zu und -abfuhr betrachten. Damit bleiben *W.*'s weitere Betrachtungen und insbesondere die Beobachtungen von *D. W. Johnson* über die Ausbildung von kegelförmigen Einebnungsflächen im Fels vor den Talaustritten in ariden Gebieten durch verwilderte Gewässer m. E. durchaus vereinbar. Denn verwilderndes Akkumulieren an der Spitze des Taltrichters bei einem Flusse mit unregelmäßiger Wasserführung kann mit seitlicher Erosion an den Rändern des Aufschüttungskegels, nach denen

¹⁾ *H. v. Wissmann*, Über seitliche Erosion, Beiträge zu ihrer Beobachtung, Theorie und Systematik im Gesamthausalt fluviatiler Formenbildung. Colloquium Geographicum, Band 1. Bonn 1951. F. Dümmler.