

Geophysik des Meeres.

Von Univ.-Prof. Dr. Friedrich L a u s c h e r, Wien.

Vortrag, gehalten am 21. Mai 1958.

(gekürzte Fassung).

A. D e r S t o f f h a u s h a l t d e s M e e r e s , physikalisch-chemisch betrachtet.

Im flüssigem, natürlichem Zustand kommen auf der Erde nur drei Stoffe vor: Wasser, Erdöl und Quecksilber. Hier soll nur vom Wasser die Rede sein. Auch wollen wir uns nicht mit Detailfragen, wie dem gegenwärtigen aristotelischen Kreislauf des Wassers in Verdunstung und Niederschlag befassen. Die mittlere Tiefe der Meere beträgt 3790 m. Alles Wasser aus der Atmosphäre kondensiert, ergäbe nur eine mittlere Erhöhung des Wasserspiegels um 2.85 cm. Auch die Ausbreitung allen Fluß- und Seewassers ergäbe keine wesentlich größere Erhöhung des Spiegels.

Hingegen ist seit Ch. M a c l a r e n (1842) bekannt, daß die als Eis gebundenen Wassermengen im Prinzip die Ursache bedeutender Meeresspiegelschwankungen sein können. Keine Rolle spielen

dabei die schwimmenden Treibeis- und Packeismengen. Der Wasserwert des Gletschereises der Erde wird von verschiedenen Autoren zu etwa 10 bis 20 Millionen km³ angegeben. Der höhere Wert gilt zur Zeit als der wahrscheinlichere. Vollständiges Abschmelzen allen Gletschereises würde einen Anstieg des Meeresspiegels um etwa 27 bis 57 m bewirken. Als Merkmahl diene, den heutigen Kenntnissen entsprechend, 50 m.

Seit rund hundert Jahren gehen die Gletscher zurück. Seit mehr als 30 Jahren ist eine bedeutende Erwärmung der Arktis festzustellen. Gleiches gilt für Grönland, und Gleiches nahm man vielfach auch für die Antarktis an. Nach G. J. H e i n s h e i m e r (1957) beträgt der Prozentanteil des grönländischen Inlandeises an der Gesamtvergletscherung der Erde 11.3%, der der antarktischen Landeismassen 85.3%, während das Eis aller anderen Gletscher mit zusammen nur 3.4% für weltweite Betrachtungen unbedeutend zu sein scheint. Doch erleiden gerade die Gebirgsgletscher zur Zeit die größten Substanzverluste. Bei Fortgang der gegenwärtigen Entgletscherung würden sie in 420 Jahren praktisch bis auf die Hochlagen erschöpft sein. Hingegen scheint interessanterweise eine Verminderung des antarktischen Eises zur Zeit gar nicht stattzufinden. Örtlich gibt es sogar Anzeichen für eine Ausweitung der Vergletscherung. Der in Argentinien lebende Österreicher F. P r o h a s k a hat schon 1951 festgestellt,

daß die Behauptung, der auf der Nordhalbkugel zweifellos zu beobachtende Temperaturanstieg sei eine weltweite Erscheinung, für die Antarktis zweifelhaft ist. Dies ist für quantitative Betrachtungen über den Wasserhaushalt der Weltmeere aber auch sehr wesentlich, denn gerade über die Eisdicken der so ausgedehnten antarktischen Vergletscherung sind wir noch nicht genug orientiert. Wird doch die durchschnittliche Dicke des antarktischen Eises mit Beträgen angegeben, welche zwischen 600 m (R. F. Flint, 1948) und 1525 m (E. Antevs, 1929) liegen. Die neuesten Schätzungen liegen ziemlich hoch: A. Bauer, 1955: 1500 m; H. P. Kosak, 1955: über 1300 m.

Ist nun eine weltweite Hebung des Meeresspiegels in den letzten Jahrzehnten nachweisbar? F. Vercelli (1952) und L. Polli (1954) gaben als Durchschnitt der letzten 70 Jahre 1,5, bzw. 1,1 mm pro Jahr an. Dies ist aber wahrscheinlich zu hoch gegriffen: S. Thorarinson (1954) und A. Bauer (1954) nehmen 0,5 mm pro Jahr an. Die eine Hälfte des Anstieges soll durch das Abschmelzen des grönländischen Eises geliefert werden, die andere Hälfte durch außerpolare Gletscher, hingegen nichts von der Antarktis.

Die thermische Ausdehnung des Wassers spielt wahrscheinlich nur eine verschwindend kleine Rolle. Würde eine Wassersäule von 3790 m zur Gänze um 1° C erwärmt werden, so würde sich der Wasser-

spiegel um 30 cm heben. Erwärmungen durch Klimaschwankungen betreffen aber wahrscheinlich nur die obersten Schichten. Am Grunde der Meeresbecken lagert immer das kälteste Wasser, überwiegend antarktischer Herkunft. Ist doch die Mitteltemperatur des Weltmeeres mit nur 3,9° erstaunlich niedrig.

Wie man sieht, sind die gegenwärtigen Meeresspiegelschwankungen klein, doch feststellbar und auch quantitativ genügend erklärbar.

In geologisch-historischer Schau müssen wir annehmen, daß im Wechsel von Eiszeiten und Zwischeneiszeiten auch erhebliche Meeresspiegelschwankungen stattgefunden haben. Je kräftiger das Ausmaß der Eiszeit war, umso mehr Wasser wurde dem Meer entzogen und vorübergehend in Eismassen an Land gestapelt. Der Meeresspiegel kann dann im Prinzip — unbekannt wie tief — stark abgesunken sein. Wie hoch konnte er aber in den Zwischeneiszeiten, also in den Wärmeperioden ansteigen? Dafür besitzen wir nach dem Wasserwert der gegenwärtigen Vergletscherung einen oberen Grenzwert, nämlich den bereits genannten Wert von 57 m, falls alles Gletschereis der Gegenwart abschmilzt. Dadurch werden die alten Strandflächen bis zurück zur sogenannten Milazzo-Strandfläche in der Zwischenzeit zwischen der Günz- und der Mindel-Eiszeit mit einem Meeresniveau von maximal 60 m über dem derzeitigen Meeresniveau erklärbar.

Hingegen gelten die Hochstände des Meeresspiegels im Fröhtertär als geologisch unerklärt: Zur Zeit der Ausbildung der calabrischen Strandfläche stand das Meer um 180 m höher als jetzt, zur Zeit der Ausbildung der sizilischen Strandfläche um 100 m. Es handelt sich dabei nicht nur um lokal begrenzte Effekte. Im weltweiten Durchschnitt soll sich nach R. F. Flint (1947) das Festland relativ zum Meer um etwa 300 bis 400 m gehoben haben. P. Woldstedt (1954) läßt die Frage offen, ob dies vielleicht durch Vertiefung der Ozeanböden erfolgt ist.

Eine solche Vertiefung hat interessanterweise der bekannte österreichische Meteorologe und Geophysiker W. Trauert in seinem hervorragendem Lehrbuche der Kosmischen Physik (1911) schon als Grundmechanismus für die fundamentale Trennung zwischen Tiefseeböden und Kontinentalblock angegeben. Unter „Permanenz der Meere“ versteht der Geologe bekanntlich die Tatsache, daß unbeschadet von Detailvorgängen, wie Landbrückenbildung, Schelfentstehung etc., seit geologischen Urzeiten diese großräumige Zweiteilung in einen Landraum und einen Meeresraum angenommen werden muß. Zur Erklärung wurde ja durch Pickering spekulativ angenommen, daß der Pazifik durch Abtrennung des Mondes entstand. Ebenso spekulativ ist A. Wegeners Ansicht, daß der Atlantik erst entstand, als sich Amerika durch Westtrift von dem

ursprünglich einzigen Kontinentalblock ablöste. Der Vollständigkeit halber sei hier erwähnt, daß sich der Indik nach geologischer Ansicht durch Zusammenbruch des Gondwana-Landes in frühmesozoischer Zeit gebildet haben soll.

Mit ein paar Worten sei W. Traberts, wie es scheint, vergessener Theorie gedacht: In der Erdrinde ist die sogenannte geothermische Tiefenstufe etwa 3° pro 100 m. In 40 km Tiefe wird vermutlich der Schmelzpunkt der Gesteine von 1200° C erreicht. Der Wärmestrom aus dem Erdinneren ist zur Zeit etwa $57 \text{ cal/Jahr} \cdot \text{cm}^2$. Am Meeresboden ist er um ganz wenig, nämlich um $0,037 \text{ cal/Jahr}$ größer. Während nämlich in der Tiefe des durchschnittlichen Meeresboden die Gesteinstemperatur 140° beträgt, wird der Meeresboden durch die dauernde Zufuhr arktischen und antarktischen Kaltwassers auf Temperaturen wenig über 0° gehalten, und somit auch das Erdinnere stärker abgekühlt. Wenn auch der Unterschied nur gering ist, so geben doch W. Traberts Überschlagsrechnungen vielleicht ganz plausible Zahlen für die stärkere Kontraktion der Erde unter den Meeren und damit für eine fortschreitende Vertiefung des Meeresbodens. Wo zufällig einmal in frühester Vorzeit sich das erste flüssige Wasser ansammelte, dort wurde die Wannengebilde begünstigt. Ein Mechanismus zur Ausbildung eines einzigen Urmeeres war also gegeben, den näher zu

studieren, vielleicht eine lohnende Aufgabe der modernen Geophysik wäre.

Dies wäre umso wünschenswerter, als auch die Theorien, nach denen in den höchsten Atmosphärenschichten laufend aus Wasser dissoziierter Sauerstoff in den Weltraum entweicht, und deshalb die Gesamtwassermenge der Erde ständig abnimmt, quantitativ zur Zeit trotz aller Fortschritte der Stratosphärenkunde nicht beweisbar sind. M. Nicolet (1955) teilt die Atmosphäre in eine bis 450 km Höhe reichende Thermosphäre und eine darüber befindliche Exosphäre. Die Trennfläche ist das kritische Niveau, in welchem die freie Weglänge der Gasspuren fallweise einzelnen Teilchen das Entweichen in den Weltraum gestattet. Die Hauptkenntnisse über Druck und Temperatur solch hoher Schichten, wenn wir von spekulativen Resultaten der Ionosphärenkunde, abgesehen, verdanken wir auch im Zeitalter der Sputnik-Flüge noch den Raketenmessungen.

Immerhin wurden in den USA bis 1955 schon 225 Raketen mit Druckmessungen bis 220 km Höhe hinaufgebracht, mit deren Hilfe man jedenfalls schon etwas besser auf große Höhen extrapolieren konnte als vorher. Nimmt man Turbulenz bis 160 km Höhe an, darüber aber Dissoziation der Atmosphäre, so erhält man für den Druck in 450 km Höhe $5,18 \cdot 10^{-9}$ mm Hg und für die Temperatur 1866° K. Nach L. Spitzer (1949) soll der Wasserstoff

bei diesen Verhältnissen schon in größenordnungsmäßig 10^3 bis 10^4 Jahren auf $1/e$ absinken. Extrapoliert man auf geologische Zeiträume (Erdalter $2 \cdot 10^9$ Jahre, Quartärperiode 10^6 Jahre) so bekäme man einen H_2 -Transport in den Weltraum, der viel zu groß wird. Die ursprüngliche Masse der Erde müßte dann größer gewesen sein als die der Sonne. Dieses völlig unmögliche Resultat beweist den geringen Stand unserer Kenntnisse über die höchsten Atmosphärenschichten. Ist es da nicht nahelegend, den Blick wieder auf die Erde zurückzurichten und hier erst einmal nach der Lösung so fundamentaler Probleme, wie dem der Permanenz der Meere und dem des Stoffhaushaltes der Erde als Ganzes zu suchen.

Wir wollen uns heute damit begnügen, die Probleme des Wasserhaushalts aufgezeigt zu haben und wollen ganz davon schweigen, wie schwierig es ist, den atmosphärischen Sauerstoff, der in der Uratmosphäre nicht vorhanden gewesen sein kann, zu erklären. Nach G. E. Hutchinson ist er zu 79% das Ergebnis des Überschusses der Photosynthese über die Atmung, zu 21% das Ergebnis der Photolyse von Wasser aus der fast nur aus Wasserdampf bestehenden Uratmosphäre.

Nicht eingehen wollen wir auch auf die in vielem noch rätselhafte Frage, woher denn das Meer einen seiner wichtigsten Stoffe, das zum Aufbau des Kochsalzes wichtige Cl nimmt. Während

Natrium und andere Stoffe, besonders Kalium im Überschuß durch die Verwitterung des Urgesteins geliefert werden, findet man bei Cl, Br, S und B im Meer Konzentrationen in einer Vielzahl der Menge, welche durch Verwitterung dargeboten werden kann. Vulkanische Lieferung über die Atmosphäre ist wahrscheinlich, doch ist der Vorgang quantitativ noch unbekannt.

Bezüglich Na und K sieht die Verwitterungsbilanz, nach Goldschmidt, wie folgt aus: Aus 157 kg/cm² Urgestein wurden 166,2 kg/cm² Sedimente, welche eine Mächtigkeit von 625,5 m Höhe besitzen. Davon sind 132,9 kg (80,0%) Tonschiefer, 19,1 kg (11,5%) Sandstein, 10,0 kg (6,0%) Kalkstein und 4,2 kg (2,5%) Dolomit. Meerwasser gäbe es bei gleichmäßiger Bedeckung der Erde 269,4 Liter/cm², wobei die Bilanz für Na und K lautet:

	im Urgestein	im Sediment	im Meer	% ins Meer
Na	4,55 kg	1,55 kg	3,00 kg	66,0
K	4,16 kg	4,05 kg	0,11 kg	2,6

Es zeigt sich, daß K am Sediment selektiv adsorbiert wird, denn die Aufnahmefähigkeit des Wassers für diesen Stoff wäre weit größer. Vom verwitterten Mg gingen 10,5% ins Meer in Lösung, von Ca nur 2%, vom Cs nur mehr 0,03% und vom Ra nur 0,017%. Die Adsorption im Sediment steigt mit dem Atomgewicht. So ist das Meer arm an

Radium. Der Gehalt liegt in der Größenordnung 10^{-16} . Dadurch ergibt sich folgende, auf den ersten Blick vielleicht überraschende Wärmeproduktion der hauptsächlich radioaktiv wirksamen Stoffe des Meeres:

Stoff	Gehalt	Wärme cal/g . h	cal/h je 1 g H ₂ O
K	$3.9 \cdot 10^{-4}$	$1.4 \cdot 10^{-8}$	$5.5 \cdot 10^{-12}$
U	$2 \cdot 10^{-9}$	$6.2 \cdot 10^{-5}$	$1.2 \cdot 10^{-13}$
Ra	$1 \cdot 10^{-16}$	140	$1.4 \cdot 10^{-14}$
Th	$4 \cdot 10^{-10}$	$2.2 \cdot 10^{-5}$	$8.8 \cdot 10^{-15}$

Summe $5.6 \cdot 10^{-12}$

Kalium ist also der den anderen Substanzen überlegene radioaktive Wärmeproduzent des Meeres, wengleich diese Wärme gegenüber der solaren Wärmequelle nicht ins Gewicht fällt.

Zur Zeit steht die Frage zur Diskussion, ob man radioaktive Abfallsprodukte ins Meer bringen dürfe. Es scheint, daß dies in warmen Meeren mit stabilen Oberschichten auf keinen Fall zulässig ist. Dagegen könnte es vielleicht nicht allzuviel schaden, wenn man diese Müllabfuhr in instabilen antarktischen Meeresteilen besorgt, von welchen aus ein Bodenstrom zu den tiefsten Meeresbecken der Erde führt, auf deren Bodenschlamm die Ablagerung ohne Schaden erfolgen könnte.

So bietet der physikalisch-chemische Stoffhaushalt der Meere vielerlei Probleme, von denen zahl-

reiche noch ungelöst und manche höchst aktuell sind.

Erfreulicherweise hat die Meeresforschung aber seit rund hundert Jahren sehr viel positive Arbeit geleistet. Methoden wurden entwickelt und Kenntnisse geschaffen, von denen nachstehend wenigstens schlagwortartig Stichproben gegeben werden sollen:

B. Methoden und Ergebnisse der Meeresforschung seit etwa 100 Jahren.

Forschungsschiffe: z. B.

Challenger, 1873/76, England, 2306 t

Fram 1893/96, Norwegen, 530 t

Meteor 1925/38, Deutschland, 1178 t

Anton Dohrn ab 1955, Deutschland, 999 t.

Wasserschöpfer zur Wasserprobenentnahme:

Kippwasserschöpfer nach F. Nansen, bis zu 10 Schöpfer an einem Windendraht, Fallgewicht löst Kippen, Verschluß der Probe und ein weiteres Fallgewicht aus, das das nächstuntere Schöpfgefäß zum Kippen bringt.

Kippthermometer ähnlich den Maximumthermometern, Faden reißt bei Kippen, 1878 Firma Negretti und Zambra, seit 1900 auch Richter und Wiese, Berlin, Genauigkeit 0,01°; verwendet man sowohl druckungeschützte als druckgeschützte Thermometer, so kann man auch den Wasserdruck und damit die Tiefe messen.

Echolot, historisch zuerst Handlot bis 200 m Tiefe, Lotmaschinen, Stahldraht etwa 0,7 mm, Fallgewicht 100 m/min; erste Tiefseelotung durch J. Clark Ross, 1840, auf über 4000 m; Erfinder des Echolots A. Behm, 1919, Schallgeschwindigkeit 1490 m/min; mit Ultraschall Messung nur bis 1000 m möglich.

Kolbenlot zur Entnahme von Bodenproben, früher Bodengreifer etc., B. Kullenberg, Göteborg, 1947, Kolbenlot für Albatros-Expedition 1947/48 mit 20 m langer Lotröhre, 1,5 t Gewicht, ungestörte Sedimentproben bis ins Jungtertiär.

Tiefenprofile mit Echolot: teils ziemlich flache Becken, teils Rücken mit Böschungen wie in den Alpen, z. B. Mittelatlantischer Rücken.

Unterirdische Canons, z. B. Hudsonal bis —4755 m Tiefe verfolgbar, Dichtestrom besorgt Talbildung. Kongo-Canon ist bis 1500 m tief in den Schelf eingegraben. Indus-Canon.

Hypsographische Kurve geht schon auf den Geographen Hermann Wagner zurück, zeigt Flächenanteil verschiedener Höhen- und Tiefenstufen mit typischer Zweiteilung der Erdoberfläche in Tiefseebecken (—5000 m) und einer Kontinentaltafel (Schelf bis 200 m Tiefe inbegriffen), mittlere Höhe 100 m, Größte Höhe Mt. Everest, 8882 m, größte Tiefe —10.899 m Marianengraben zwischen Guam und Yap, 15 Tiefseegräben, viele Tiefseerücken, z. B. der Nansenrücken zwischen Polarmeer und Europäischem Nordmeer, der Grönland-Schottland-Rücken, auf dem auch Island liegt, der Wal-fisch-Rücken etc. Mittlere Tiefe der Meere —3790 m, mittlere Ausgleichshöhe der Landmassen bei der Aufteilung auf die ganze Erde —2430 m.

Bodenbedeckung: hauptsächlich terrigen (Verwitterung, Staub, Vulkane) und biogen (Plankton): Kieselhaltig: Diatomeen, Kalkhaltig: Globigerinen; Kalk in Tiefen unter 4000 m gelöst: Roter Tiefseeton.

Temperatur: Tagesgang $0,3^{\circ}$, Jahresgang in Tropen 2° , im mittl. Breiten 7° (Ostsee 14°); Normal-

verteilung: Äquator 26,5°, Polgebiete —1,5°; Anomalien von der Normalverteilung: Golfstrom bis +9°, Benguelastrom bis —9°.

Salzgehalt: Konstanz der Zusammensetzung der Meeressalze, Messung durch Chlor-Titration, etwa 19 Promille Chlor, Salzgehalt etwa 35 Promille. Zusammenhang mit Verdunstung und Niederschlag: Rotes Meer fast 40 Promille.

Strömungskarten: Richtung, Geschwindigkeit und Beständigkeit dargestellt, Geschwindigkeit Seemeilen in 24 Stunden, sprich seemännisch sm/Etmal. Es ist 1 m/sec gleich 46,6 sm/Etmal. Florida-strom bis 2,5 m/sec.

Eis: Eisbrei, Treibeis, Packeis (im Polarmeer bis 3 m), Eisberge, Eisdienst, (Ice Patrol Service seit 1913, da Titanic-Untergang 15. IV. 1912 mit 1490 Toten, zur Zeit Dienst mit drei Schiffen und zwei Langstreckenflugzeugen); März bis Juli ist Eisbergzeit, Maximum im Mai, jährlich 7500 Eisberge im Labradorstrom; Eisüberwachung im Sommer im nord-sibirischen Küstenbereich, im Winter in Nord- und Ostsee etc.

Eisdrift: alte Methoden der Strömungsbeobachtung: Flaschenposten, Schiffsversetzung, Eisdrift der Fram, F. Nansen 1893/96, Maud-Drift H. U. Sverdrup 1922/24, I. D. Papanin 1937/38.

Ursache der Strömungen: Winddrift, Ekman-Spirale, 45° rechts der Windrichtung, Reibungstiefe 50 bis 200 m, Driftstrom etwa 1 bis 2% der Windgeschwindigkeit; ferner Dichteströmungen, wie in der Straße von Gibraltar: oben Gefällestrom vom Atlantik zum Mittelmeer, da dessen Spiegel infolge Verdunstung tiefer liegt, unten bis 1000 m Tiefe in Atlantik nachweisbar schweres Mittelmeerswasser hinausfließend.

Grenzerscheinungen Golfstrom / Labradorstrom (schon A. Merz bekannt). Fuglister 1951/52 studierte mit sechs Schiffen Mäanderbildungen des Golfstromes, Abschnürungen des Labradorstromes (Kaltwasserkörper), Zerfall des Golfstromes in mehrere Äste mit Gegenströmungen dazwischen etc.

Tiefenströme: In den Tropen oben stabile warme Oberschichte, darunter in 1 km Zwischenstrom aus südlichen gemäßigten Breiten, darunter bis 4 km Gegenstrom aus nördlichen gemäßigten Breiten, darunter kalter antarktischer Bodenstrom, der weit über den Äquator hinausreicht, da ihn keine unterirdischen Rücken hemmen, während der arktische Bodenstrom schon durch den Nansenrücken fast unmöglich gemacht ist.

Gezeiten: Gezeitenpotential Sonne : Mond = 0,46051, die harmonische Analyse der Gezeitenkräfte enthält 29 Hauptglieder. Das wichtigste Glied ist die Hauptmondtide von 12 Uhr 25 Minuten. Tidenhub beim Holland-Orkan vom 31. I/1. II. 1953 war 3,5 m, dazu 7 m Wellenhöhen. Maximale Fluthöhen: Bucht von St. Malo 11,6 m (Gezeitenkraftwerk), Fundy-Bay im Golf of Maine 14,1 m.

Weltkarte der halbtägigen Gezeiten: Flutstundenlinien in Weltzeit, hingegen für Hafentflutbetrachtungen Hafenzzeit in Ortszeit wesentlich (statt der Gezeitenrechenmaschinen werden heute die Lochkartenmaschinen bevorzugt). Die Flutstundenlinien zeigen fortschreitende Wellenzüge und „Amphidromien“, Rundläufe der Flutwellen um einen Punkt.

Wellen: Fortpflanzungsgeschwindigkeit im seichten Wasser $c = \sqrt{g \cdot h}$, wobei h die Tiefe des Wassers

ist, daher Auflaufen der Brandungswellen möglichst senkrecht zum Strand; in tiefem Wasser

$c = \sqrt{\frac{gL}{2\pi}}$, $L =$ Wellenlänge. Beispiel für atlantische Hochseesturmwelle: Höhe 16 m, Länge

250 m, Periode 13 sec, Geschwindigkeit 20 m/sec.

Die Dünung kommt oft schneller als der Sturm;

Photogrammetrische Aufnahmen von Wellen schon

seit 1903, z. B. A. Schumacher, 1928 auf Schiff

Deutschland, Basis 15 m, Höhe 24 m, zwei Kameras

mit Platten 13 mal 15 cm, 4—8 Mann zur Bedie-

nung, Meßfeldgröße 150 mal 175 m, erfaßt also

nicht immer eine volle Wellenlänge.

Zeitdiagramme der Wellenhöhen-Ent-

wicklung: Z. B. Wind von 20 m/sec ergibt nach

einem halben Tag 5 m hohe Wellen, nach einem

vollen Tag 11 m hohe. Flutwellen bei Seebeben

können 35 m Höhe erreichen. Man vergleiche, daß

das Abschmelzen allen Gletschereises der Erde

50 m Meeresspiegel-Erhöhung ergäbe.

Lange Wellen, Tsunamis: 800 km/Stunde

Fortschreiten beobachtet. Die Japaner haben eine

Chronik der Tsunamis seit 684 n. Chr. Je 15 Jahre

wird einmal 7,5 m Höhe erreicht. Krakatau-Aus-

bruch 26./27. VIII. 1883 ergab 35 m hohe Flut-

wellen, 36.830 Tote.

Schallprognosen werden probiert, z. B. von Aleuten

bis Honolulu braucht der Schall unter Wasser

40 min, die Tsunami-Woge 4 Stunden 40 min. War-

nung wäre also 4 Stunden vorher möglich.