

Die interglazialen marinen Strände und der Aufbau des antarktischen Inlandeises

Von PAUL WOLDSTEDT, Bonn

Mit 2 Abbildungen im Text

Zusammenfassung. Die interglazialen marinen Strände (Sizil, Milazzo usw.) werden meist erklärt als Spuren früherer höherer Ozeanstände. Wo wir aber die Lage früherer Meeresspiegel nachprüfen können, waren sie nicht allzusehr von der gegenwärtigen verschieden. Die Strände können deshalb nicht durch Absenkung des Ozeanspiegels, sondern nur durch Hebung des Festlandes erklärt werden; sie sind wirklich „raised beaches“.

Abstract. The interglacial marine beaches (Sicilian, Milazzian etc.) are mostly explained as signs of ancient higher ocean levels. But where we can prove the height of ancient ocean levels, this is not very different from the present one. The ancient beaches cannot be explained by sinking of the ocean level, but only by rise of the continents. Thus they are really „raised beaches“.

Die interglazialen marinen Strände, die im allgemeinen in Höhen zwischen 0 und 100 m ü.d.M., in einzelnen Fällen aber auch noch wesentlich höher, vorkommen, haben zu vielen Diskussionen Anlaß gegeben. Normalerweise liegen die ältesten Strände am höchsten, so das Sizil in 80—100 m ü.d.M., das Milazzo in etwa 60 m. Es folgt das Tyrren¹⁾ in ca. 30 m, und das Monastir I in ca. 15—18 m. Der jüngste und am tiefsten liegende Strand ist das Monastir II oder „Ouljien“ in 7—8 m ü.d.M.

Zwei Hypothesen sind es hauptsächlich, die zur Erklärung dieses merkwürdigen Abseitens der Strände aufgestellt worden sind. Beide gehen von der Voraussetzung aus, daß der Meeresspiegel als solcher tatsächlich höher gestanden habe, d. h. also z. B. im Sizil rund 80—100 m höher als heute.

BAULIG (1935), ZEUNER (1945) und andere nehmen ein langsames Absinken des Ozeanspiegels seit dem Tertiär an, und zwar verursacht durch eine allmähliche Vertiefung der Ozeanböden. Diesem Absinken seien die glazialeustatischen Schwankungen (im Ausmaß von ca. 100—150 m) nur aufgesetzt gewesen.

Es ist aber sehr schwer vorstellbar, daß sich der Ozeanboden so gleichmäßig im Laufe des Quartärs und damit der Meeresspiegel abgesenkt habe. Hier kommt nun eine Hypothese zu Hilfe, die scheinbar eine bestechend einfache Lösung des Problems liefert. H. FLOHN (1963) und auch J. BÜDEL (1963) bringen das Sinken des Meeresspiegels in Zusammenhang mit der allmählichen Anhäufung des Eises in der Antarktis während des Pleistozäns. Die dort angesammelten Eismassen sind ja nach den Ergebnissen der letzten Jahre (H. HOINKES 1961, A. CAILLEUX 1963) wesentlich umfangreicher, als früher angenommen wurde. Schätzte man früher die mittlere Dicke des antarktischen Eises auf 600—1500 m, so muß sie heute zwischen 2200 und 2600 m angenommen werden. Die Gesamtmenge des in der Antarktis festgelegten Eises kann demnach zu rund 30 Mill. km³ geschätzt werden. Ein Schmelzen dieses Eises würde den Ozeanspiegel um rund 75 m erhöhen (ohne isostatische Ausgleichsbewegungen, die in ihrer Wirkung und in ihrem Umfang sehr schwer abzuschätzen sind). Rechnet man dazu noch die in Grönland angehäuften Eismassen, so würde sich der Meeresspiegel um etwa weitere 7 m erhöhen. Wir kämen also zu einer Gesamterhöhung des Ozeanspiegels um mindestens 80 m, d. h. bis etwa in das Sizil-Niveau.

So scheint es durchaus nahe zu liegen, das Absinken des Meeresspiegels einfach mit einer immer stärkeren Festlegung von Wasser in den Inlandeisen der Antarktis und Grön-

¹⁾ Es wird hier noch die Benennung verwendet, wie ich sie 1954 im Anschluß an F. ZEUNER (1945) angewandt habe. Auf einige vielleicht berechtigte Änderungen in der Bezeichnung soll an anderer Stelle eingegangen werden.

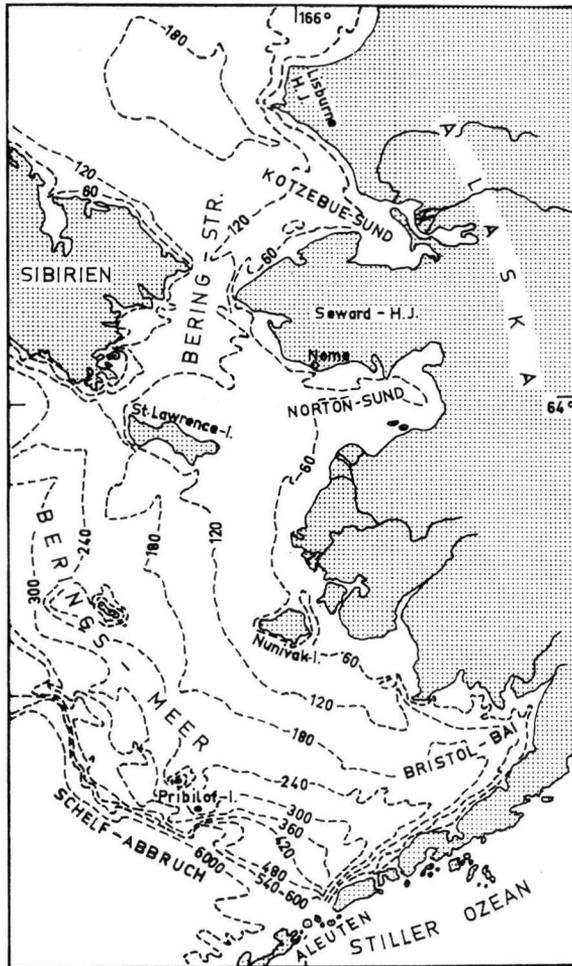


Abb. 1. Übersichtskärtchen der Bering-Straße und des Bering-Meeres (nach D. M. HOPKINS 1959).
Merikator-Projektion, mittlerer Maßstab 1 : 14 Mill.; Tiefenlinien in Fuß.

lands in Zusammenhang zu bringen — wie oben schon gesagt, eine scheinbar bestehend einfache Lösung. Aber bei genauerer Nachprüfung zeigen sich doch erhebliche Schwierigkeiten. Vor allen Dingen ist die Grundvoraussetzung zu prüfen: Stand tatsächlich der Meeresspiegel im Sizil um 80—100 m höher als heute?

Diese Grundvoraussetzung, von der sowohl die Hypothese der Vertiefung der Ozeanböden wie die des quartären Inlandeisaufbaues in der Antarktis und Grönland ausgeht, scheint jedoch nicht zuzutreffen. Im Gegenteil spricht alles dafür, daß der Meeresspiegel damals annähernd dieselbe Höhenlage hatte wie heute²⁾.

Nehmen wir einmal an, wir hätten im Sizil wirklich einen um 100 m höheren Meeresspiegel gehabt, dann müßten damals nicht nur der größte Teil von Norddeutschland,

²⁾ Das nimmt auch C. A. COTTON (1963) an. Er hält die Hypothese eines im Quartär ständig absteigenden Meeresspiegels für falsch und erklärt das Vorkommen hochgelegener mariner Strände durch spätere (epeirogenetische ?) Hebung.

Holland und Belgien überflutet gewesen sein, sondern ebenso weite Gebiete von Frankreich und England. Alle diese Gebiete kennen wir aber durch Bohrungen und Aufschlüsse sehr genau. Nirgendwo sind weiter im Inland Ablagerungen des marinen Sizils oder der jüngeren Transgressionen gefunden worden, die wir erwarten müßten, wenn wir wirklich einen erheblich höheren Meeresspiegel gehabt hätten. Hierauf ist auch schon von anderer Seite hingewiesen worden.

Wir kennen in weiten Gebieten (Norddeutschland, Holland, Belgien, England usw.) die Grenzen der alten marinen Überflutungen recht genau: sie liegen überall nicht allzuweit von der jetzigen Küste, und wir können daraus nur den einen Schluß ziehen, daß der Meeresspiegel annähernd in derselben Höhe lag wie heute.

Ganz klar wird das, wenn wir die alten Brückengebiete betrachten, über die einst die Floren, Faunen und Menschen im Quartär gewandert sind. Ich greife als Beispiel die Bering-Straße (HOPKINS 1959) heraus (Abb. 1). Dasselbe gilt aber auch für den Sunda-Schelf (MOVIUS 1949) oder den Ostchinesischen Schelf. Sunda-Schelf und Bering-Straße sind beide heute etwa 40—60 m, der Ostchinesische Schelf 60—80 m tief, und über alle Gebiete sind schon während der Kaltzeiten des Alt-Pleistozäns die Faunen gewandert. Die älteste Fauna Javas, die siva-malayische, die aus Indien kam, muß schon in einer Vorgünz-Kaltzeit nach Java eingewandert sein.

Nehmen wir für die altpleistozänen Warmzeiten einen Meeresspiegel von nur 100 m über dem jetzigen an — er wäre nach einigen Autoren zeitweise noch erheblich höher gewesen —, so müßte er um mindestens 140—160 m abgesenkt gewesen sein, ehe Landbrücken, wie die der Bering-Straße oder Teile des Sunda-Schelfs nur gerade aus dem Meere auftauchen konnten. Schon das würde eine Vereisung vom Umfang der größten bekannten Vergletscherungen der Erde voraussetzen, wie sie höchstens in der Mindel- oder Riß-Eiszeit vorhanden waren. Aber die Landbrücken mußten nicht nur gerade im Meeresspiegel liegen, sondern mindestens etwas, sagen wir auch nur 10 m, über dieses hinausragen, um nicht durch Brandungswirkung, Sturmfluten und dgl. gleich wieder unterbrochen zu werden. Außerdem mußten ja die Tiere, die auf ihnen wanderten, dort Nahrung finden.

Hinzu kommt z. B. für die Bering-Straße, daß diese als Wanderweg wohl nicht gerade im stärksten Maximum der Eiszeiten dienen konnte, sondern viel eher in etwas milderen Zeiten (Interstadialen), als das Klima nicht so extrem kalt war. Wir dürfen also hier nicht die größte Absenkung des Meeresspiegels zugrunde legen, sondern Zeiten etwas geringerer Absenkung, sagen wir um mindestens 20—30 m geringer. Wir kämen also für die Zeit der ersten Tierwanderungen über die Bering-Straße, die, wie wir wissen, in den ältesten Kaltzeiten dort stattfanden, auf eine Absenkung um mindestens 170 m. Nach allem, was uns bekannt ist, stehen aber so große Vereisungen, die eine solche Absenkung des Ozeanspiegels hätten hervorrufen können, für diese ältesten Kaltzeiten gar nicht zur Verfügung. Für die ältesten Kaltzeiten können wir höchstens Vereisungen vom Umfange der Letzten (Würm), wahrscheinlich aber nur solche wesentlich geringeren Umfanges annehmen. Wir müssen daraus folgern, daß der Meeresspiegel vor und nach diesen Vereisungen nicht allzuviel von dem jetzigen verschieden gewesen sein kann. Das schließt natürlich nicht aus, daß der Meeresspiegel im Alt-Quartär um Zehner von Metern höher gelegen haben könnte als gegenwärtig. So genau können wir die Höhenlage der früheren Landbrücken nicht rekonstruieren. Aber es können nur Zehner, nicht hundert Meter und mehr gewesen sein.

Wir können aus allem nur folgern, daß der Meeresspiegel schon im Alt- und Mittelpleistozän nicht allzusehr von dem heutigen verschieden gewesen sein kann. Wie aber sind dann die marinen Terrassen zu erklären, die um so höher liegen, je älter sie sind? Sie können nicht durch ein Absinken des Meeresspiegels, sondern nur durch spätere Hebungen des Festlandes erklärt werden, d. h. sie sind das, was auch die englische Bezeichnung ausdrückt: *raised beaches*.

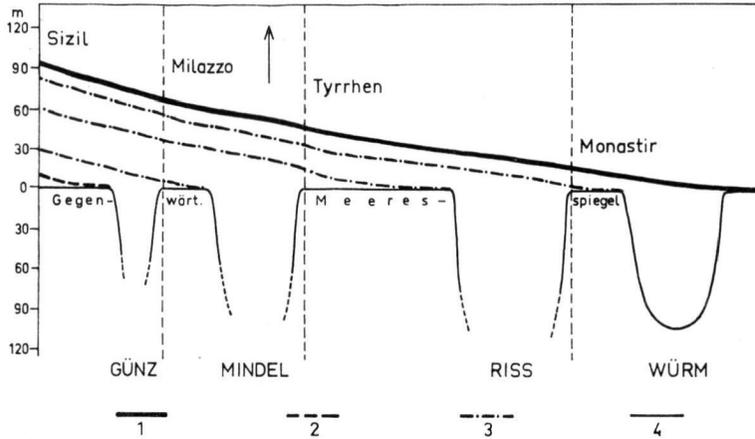


Abb. 2. Schema zur Verdeutlichung des Anstiegs der interglazialen marinen Strände im Laufe des Quartärs nach C. ARAMBOURG 1954; geringfügig geändert). 1 = Gegenwärtige Höhenlage der Kontinente; 2 = Höhenlage in der Vorgünz-Zeit; 3 = Höhenlage in verschiedenen Abschnitten des Pleistozäns; 4 = glazialeustatische Schwankungen des Meeresspiegels.

Wie das vor sich gegangen sein könnte, hat C. ARAMBOURG (1954) zu erklären versucht. Er bringt die späteren Hebungen mit einer Entlastung des Festlandes infolge der seither erfolgten Abtragung in Zusammenhang. Diese Abtragung kann im Mittel für die gesamte Kontinentalmasse zu etwa 0,11 mm im Jahr geschätzt werden. In einer Million Jahren würde das eine Gesamtmenge von 16 Millionen km³ ausmachen; d. h. verteilt auf 145 Millionen km² Landfläche, würde eine Abtragung von im Durchschnitt 110 m erfolgt sein. Nimmt man als mittleres spezifisches Gewicht der Kontinentalbildungen 2,5, das der sie im Untergrunde ersetzenden Sima-Massen 3,0 an, so würde sich ein Verhältnis von 5 : 6 ergeben (vgl. für das Folgende Abb. 2).

Vollkommene Isostasie vorausgesetzt, würde das eine Hebung des Festlandes um rund 90 m seit dem Sizil bewirken. Das stimmt verblüffend genau mit den Werten überein, die im allgemeinen für das Sizil angegeben werden. Natürlich bedeutet das nun nicht, daß überall in der Welt das Festland gegenüber dem Meer seit dem Sizil um rund 90 m aufgestiegen wäre. Vielmehr ist dies ein Mittelbetrag, der wohl in vielen Fällen erreicht, in mindestens ebenso vielen Fällen aber unter- wie überschritten wurde. Wir wissen, daß in vielen Deltagebieten der Erde die damalige Küste heute tief unter der gegenwärtigen versenkt liegt, daß sie aber auf der andern Seite, wie etwa in Teilen Californiens, hoch über den Mittelwert von 90 m emporgehoben worden ist, in diesem Fall nicht durch Vorgänge isostatischer, sondern tektonischer Art.

Die oben ausgeführte Rechnung bedarf aber noch einer Ergänzung. Die im Laufe von einer Million Jahren auf den Kontinenten abgetragenen Erdmassen wurden ja unter dem Meeresspiegel wieder abgelagert. Dadurch mußte der Meeresspiegel ansteigen, und zwar um etwa 27 m — sofern nicht der Untergrund infolge der Belastung etwas absank —, jedenfalls um Zehner von Metern. Daß aber der Meeresspiegel tatsächlich nicht angestiegen ist, das könnte auf eine langsame weitere Eisanhäufung in der Antarktis zurückgehen.

So können die Werte von 90 m für das Sizil, 60 m für das Milazzo, 30 m für das Tyrrhen (I), schließlich 8 m für das Monastir II nur als ungefähre Mittelwerte gelten. Die jüngeren hiervon haben sogar einen gewissen stratigraphischen Wert, die älteren aber um so weniger, je höher sie liegen. Denn hier können mannigfache andere Wirkungen, insbesondere tektonische Bewegungen, diese Höhenlagen verändert haben — ganz abgesehen davon, daß wir von vorneherein mit sehr verschiedener isostatischer Hebung der einzelnen Festlandsgebiete rechnen müssen.

Es ist natürlich die Frage, ob wirklich die Entlastung des Festlandes durch Abtragung die Ursache des Aufsteigens der Kontinente war oder ob das Aufsteigen aus ganz anderen Gründen erfolgte und die verstärkte Abtragung nur eine Folge der Hebung war. Die Entscheidung dieser Frage muß weiteren Untersuchungen vorbehalten bleiben. Auf jeden Fall müssen wir mit einer Hebung der Kontinente gegenüber dem Weltmeere rechnen, einerlei wodurch diese hervorgerufen sein könnte.

Vielleicht können wir sogar das Aufsteigen des Festlandes für eine Zeitschätzung des Quartärs verwenden. Rechnen wir vereinfacht mit einem jährlichen Aufsteigen des Festlandes um 0,1 mm, so würden 7,5—8 m, die jetzige Höhenlage des Monastir II- oder Ouljien-Strandes, einem Zeitraum von 75 000—80 000 Jahren entsprechen. 30 m, die Höhe der Tyrrhen I-Fläche, würde 300 000 Jahre, 60 m, die durchschnittliche Höhe der Milazzo-Fläche, 600 000 Jahre bedeuten. Das Sizil mit seinen Höhenlagen von 80—100 m würde einen Zeitraum von 800 000—1 000 000 Jahren repräsentieren, und seit dem Kalabrium mit 150—180 m Höhe wäre ein Zeitraum von 1,5—1,8 Millionen Jahren verflossen. Das entspricht weitgehend den Zeitspannen, die seit den genannten Episoden etwas vergangen sein müssen.

Wenn nun ein wesentlicher Unterschied in der Höhenlage des Ozeanspiegels zwischen den älteren Warmzeiten und der Gegenwart nicht besteht, dann kann der Aufbau des antarktischen Inlandeises nicht in der Hauptsache erst im Quartär erfolgt sein. Ein erheblicher Teil des Eises muß bereits im Pliozän in der Antarktis angehäuft worden sein. Ein Anzeichen dafür ist auch darin zu sehen, daß bereits im Oberpliozän das Bodenwasser des Pazifiks im äquatorialen Bereich sehr kalt war. Seine Temperatur lag nach C. EMILIANI (1961) nur um Zehntelgrade über der jetzigen ($1,5^{\circ}\text{C}$), gegenüber etwa 7° im Miozän und etwa $10^{1/2^{\circ}}$ im Oligozän. Die Bodenwasser-Temperaturen in niedrigen Breiten sind bedingt durch die Zuflüsse kalten Bodenwassers von den arktischen und antarktischen Gebieten her. Beim Pazifischen Ozean wird man dabei hauptsächlich an die Antarktis zu denken haben, da die Verbindung zur Arktis durch die Bering-Straße stark gehemmt war. Wenn schon vor Beginn des Pleistozäns die Bodenwasser-Temperatur des Pazifiks nur geringfügig über der gegenwärtigen lag, so weist das darauf hin, daß damals schon eine merkbare antarktische Vereisung vorhanden war. In langen Zeiträumen sind die Temperaturen in beiden Polargebieten langsam abgesunken, und es ist anzunehmen, daß sich bereits im Pliozän ein wesentlicher Teil des antarktischen Inlandeises gebildet hat.

Damit sind freilich noch längst nicht alle Fragen gelöst. Auch im Pliozän muß ja das Wasser für den Aufbau der antarktischen Eismasse dem Ozean entnommen worden sein. Es müßte also im Pliozän der Ozeanspiegel erheblich gesunken sein. Darüber haben wir freilich bisher keinerlei exakte Beobachtungen. Wenn wir das Bering-Straßen-Gebiet betrachten, scheinen die Dinge gerade umgekehrt zu liegen, als wir erwarten sollten. Im älteren Pliozän soll nämlich die Landbrücke existiert haben, im jüngeren dagegen nicht. Es müßte also der Meeresspiegel im jüngeren Pliozän höher gestanden haben als im älteren. Aber je weiter wir in der Erdgeschichte zurückkommen, um so schwieriger wird es ja, die genauen Grenzen der damaligen Meere und Kontinente festzustellen und so die im Ozean vorhandenen Wassermengen abzuschätzen.

Angeführte Schriften

- ARAMBOURG, C.: Les "Plages soulevées" du Quaternaire. - *Quaternaria* 1, 55-60, Rom 1954.
 BAULIG, H.: The Changing Sea Level. - *Inst. Brit. Geographers' Publ.* 3, 1-46, London 1935.
 BÜDEL, Julius: Die pliozänen und quartären Pluvialzeiten der Sahara. - *Eisz. u. Geg.* 14, 161-187, 1963.
 GAILLEUX, André: Géologie de l'Antarctique. - Paris 1963.
 COTTON, Charles: The Question of High Pleistocene Shorelines. - *Trans. roy. Soc. New Zealand (Geol.)* 2, 5, Wellington 1963.

- EMILIANI, Cesare: The temperature decrease of surface seawater etc. - Deep-Sea Research **8**, 144-147, London 1961.
- FLOHN, Hermann: Zur meteorologischen Interpretation der pleistozänen Klimaschwankungen. - Eisz. u. Geg. **14**, 153-160, 1963.
- HOINKES, H.: Die Antarktis und die geophysikalische Erforschung der Erde. - Naturwiss. **48**, 354-374, Berlin 1961.
- HOPKINS, David M.: Cenozoic history of the Bering land bridge. - Science **129**, 1519-1528, 1959.
- MOVIUS, H. L.: The Lower Paleolithic Cultures of Southern and Eastern Asia. - Trans. amer. philos. Soc. Philadelphia, N.S. **38**, 1949.
- WOLDSTEDT, Paul: Das Eiszeitalter, Bd. I, Stuttgart 1954; II, 1958; III, 1965.
- ZEUNER, Frederick E.: The Pleistocene Period. - London 1945; 2. Aufl. 1959.

Manusk. eingeg. 26. 3. 1965.

Anschrift des Verf.: Prof. Dr. Paul Woldstedt, 53 Bonn, Am Buchenhang 12.