

Die Küste

ARCHIV
FÜR FORSCHUNG UND TECHNIK
AN DER NORD- UND OSTSEE



3950-A-2012-0000106

JÄHRGANG 2

31. MÄRZ 1954

HEFT 2

Die Küste

ARCHIV
FÜR FORSCHUNG UND TECHNIK
AN DER NORD- UND OSTSEE

HERAUSGEBER:
DER KÜSTENAUSSCHUSS NORD- UND OSTSEE

JAHRGANG 1953
HEFT 2

DRUCK UND KOMMISSIONSVERLAG:
WESTHOLSTEINISCHE VERLAGSANSTALT BOYENS & CO. HEIDE I. HOLST.

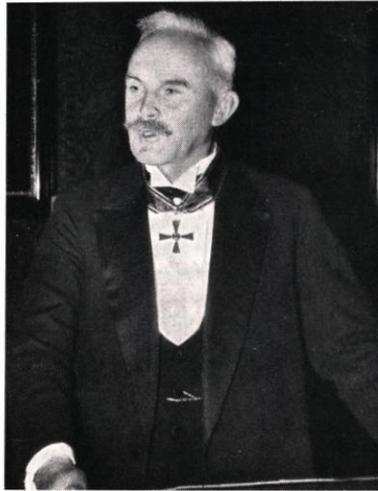
Anschriften der Verfasser dieses Heftes:

BOTHMANN, Walter, Oberregierungsbaurat, Marschenbauamt Heide i. H. DELTAKOMMISSION, Den Haag (Holland), van Hogenhoutlaan 60. DIETRICH, Günter, Dr. habil., Deutsches Hydrographisches Institut, Hamburg, Bernhard-Nocht-Str. 78. JACOBY, Gustav, Oberregierungsbaurat i. R., Hamburg-Blankenese, Blankeneserlandstr. 88. LINKE, Otto, Dr., Franzius-Institut der Technischen Hochschule, Hannover, Nienburger Str. 4. NIEBUHR, Wulff, Oberregierungsbaurat Dr.-Ing., Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, Hertzstr. 16. WOHLBERG, Erich, Dr. habil., Marschenbauamt — Forschungsstelle Westküste —, Husum, Nissenhaus.

Nachdruck aus dem Inhalt nur mit Genehmigung des Herausgebers: „Küstenausschuß Nord- und Ostsee“, Ministerialrat i. R. GAYE, Kiel-Wik, Hindenburgufer 247, gestattet.

Schriftleiter: Dr. habil. E. WOHLBERG, Husum, Nissenhaus.

Am 5. September 1953 hat Oberbaudirektor i. R. Dr.-Ing. E. h. LUDWIG PLATE sein 70. Lebensjahr vollendet. In Würdigung seiner Verdienste ließ der Herr Bundespräsident an diesem Tage Herrn Dr.-Ing. Plate das Große Verdienstkreuz des Verdienstordens der Bundesrepublik Deutschland im Rahmen einer Feierstunde überreichen. Der Bremer Senat ehrte Herrn Plate durch die Verleihung der Senatsmedaille für Verdienste um Kunst und Wissenschaft.



In einer mehr als 40jährigen Dienstzeit ist es Plate vergönnt gewesen, den von LUDWIG FRANZIUS begonnenen Ausbau der Weser fortzusetzen, in zäher und geduldiger Arbeit diesen Tidestrom für die immer mehr anwachsende Großschiffahrt weiter auszubauen und damit seiner Vaterstadt den Umschlaghafen für den Weltverkehr zu erhalten. Es war eine große Aufgabe zum Wohle Bremens und in weiterem Ausblick zum Wohle des Deutschen Reiches, die das berufliche Leben Plates ausgefüllt hat.

Plate hat sich außerdem — über sein engeres Arbeitsgebiet hinaus — mit allgemeinen Fragen der Wasserstraßenpolitik beschäftigt. Zum Ausbau der Mittelweser, zum Plan des Hansa-Kanals und zum Ausbau des Küstenkanals liegen Denkschriften und Pläne aus seiner Feder vor. Lange Zeit war er auch in der Internationalen Donau-Kommission tätig. In zahlreichen Veröffentlichungen hat er seine Gedanken niedergelegt.

Neben der ehrenvollen Mitarbeit in wichtigen technischen Kommissionen wurden Plates Verdienste im Jahre 1939 durch die Verleihung der Engels-Denkünze in Silber durch die Technische Hochschule in Dresden geehrt. Hierzu trat im Jahre 1950 die Verleihung der Würde eines „Doktor-Ingenieurs ehrenhalber“ durch die Technische Hochschule Hannover.

Auch nach dem Ausscheiden aus dem Dienst hat Plate weitergeschafft als wertvoller Berater seiner alten Direktion und als anerkannter Gutachter für wasserbauliche Planungen. In dem großen Forschungsausschuß für die Küstenprobleme, dem „Küstenausschuß Nord- und Ostsee“, gehört Plate zu den maßgebenden Mitarbeitern. Wir finden seine Unterschrift auch unter dem schwerwiegenden seebaulichen Gutachten für die Erhaltung des Westendes der Insel Norderney, das wesentlich von ihm erarbeitet worden ist.

Auf den fachlichen Tagungen des Wasser- und Strombaues steht Plates auf großen Erfahrungen ruhende Ansicht auch heute noch mit dem alten Gewicht im Vordergrund der Diskussionen.

Durch seine rege Beteiligung im „Naturwissenschaftlichen Verein Bremen“ und durch die alljährliche Anwesenheit auf der Tagung der Nordwestdeutschen Geologen und auch der Pflanzensoziologen bekundet er sein vielseitiges Interesse auf dem großen Gebiet der Naturwissenschaften. So verdankt Plate seine Anerkennung nicht allein seinen rein fachlichen Leistungen, sondern auch seiner tiefreichenden Aufgeschlossenheit gegenüber geologischen und biologischen Problemen der Küste, bei deren Erörterung er sich bewußt immer auf dem Boden des überzeugten Empirikers bewegt.

Vom persönlichen Leben darf erwähnt werden, daß Plate immer noch zu den aktiven Geräteturnern zählt. Diese sportliche, durch Jahrzehnte geübte Betätigung, seine Freude an der Gartenarbeit sowie seine ausgiebigen Wanderungen in der engeren Heimat, an den deutschen Küsten, in den Mittelgebirgen und auch im sommerlichen und winterlichen Hochgebirge schenken Plate nach verantwortungsschwerer Arbeit alljährlich neue Kräfte, die seiner gründlich und sorgfältig abwägenden Denk- und Arbeitsweise eine spürbare Sicherheit geben.

Der Küstenausschuß dankt Herrn Plate für seine ständige Bereitschaft zur Mitarbeit und wünscht ihm einen langen gesegneten Lebensabend.

Der Küstenausschuß Nord- und Ostsee

Inhaltsverzeichnis

DELTAKOMMISSION, Den Haag Drittes Zwischengutachten der Deltakommission über die Zweckmäßigkeit der Abdämmung der Meeresarme zwischen Rotterdamsche Waterweg und Wester- schelde	1
BOTHMANN, Walter, Oberregierungsbaurat Die Sicherung des Seedeichs vor dem Wesselburener Koog in Norderdithmarschen	17
WOHLENBERG, Erich, Dr. habil. Sinkstoff, Sediment und Anwachs am Hindenburgdamm	33
JACOBY, Gustav, Oberregierungsbaurat i. R. Helgoland bei Johannes Mejer und Adam von Bremen	95
DIETRICH, Günter, Dr. habil. Ozeanographisch-meteorologische Einflüsse auf Wasserstandsänderungen des Meeres am Beispiel der Pegelbeobachtungen von Esbjerg	130
NIEBUHR, Wulff, Oberregierungsbaurat Dr.-Ing. Bemerkenswerte Veränderungen am Großen Vogelsand in der Außenelbe seit der Jahrhundertwende	157
LINKE, Otto, Dr. Eine selbsttätige Pegel-Spüleinrichtung	160

Drittes Zwischengutachten der Deltakommission über die Zweckmäßigkeit der Abdämmung der Meeresarme zwischen Rotterdamsche Waterweg und Westerschelde¹⁾

Vorwort des Herausgebers

Unmittelbar nach der katastrophalen Sturmflut in Holland am 31. Januar — 1. Februar 1953, deren Folgen auch in Deutschland tiefstes Mitgefühl erregt haben, hat der holländische Minister für Verkehr und Wasserbau die sogenannte Deltakommission eingesetzt, mit dem Auftrag, die wasserbaulichen Maßnahmen zu untersuchen und zu empfehlen, die bezüglich der durch die Sturmflut heimgesuchten Gebiete getroffen werden müssen.

Nach eingehenden wissenschaftlichen, technischen, wirtschaftlichen und finanziellen Untersuchungen ist die Deltakommission zu der einstimmigen Ansicht gelangt, daß „es notwendig ist, die Sicherheit der durch die Sturmflut vom 1. Februar 1953 heimgesuchten und bedrohten Gebiete zu erhöhen, und zwar grundsätzlich durch den Abschluß der Seegaten, soweit dies nicht durch den ihr erteilten Auftrag ausgeschlossen ist. Die Kommission ist der Ansicht, daß vom Standpunkt der Sicherheit der Abschluß der Seegaten bei weitem den Vorzug vor der Verstärkung der bestehenden Deiche verdient. Sie hält diese Lösung für wirtschaftlich und technisch durchführbar“.

Mit diesem einstimmigen Beschluß haben die hervorragendsten Wasserbauingenieure Hollands die Tradition ihrer Vorfahren fortgesetzt, schwierige seebauliche Fragen mit großzügigem Weitblick durch kühne technische Maßnahmen zu lösen. War schon die Abdämmung der Zuiderzee ein kühnes technisches Unternehmen, so bedeutet die Schließung der großen und tiefen Seegaten des Haringuliet, des Brouwershavenschen Gats und der Oosterschelde mit ihrem sandigen Untergrund eine noch größere Aufgabe.

Die Männer der Deltakommission weisen aber darauf hin, daß in Holland bei der Abdämmung der Zuiderzee, der Brielschen Maas, des Braakman und der Stromgaten auf Walcheren soviel Erfahrungen gesammelt wurden, ferner Wissenschaft und Technik in den Untersuchungen von Wasserständen und Strömungen sowie hinsichtlich neuer Baumethoden, Baumaterialien und Baugeräte so fortgeschritten sind, daß sie von der Durchführbarkeit der geplanten Abdämmungen überzeugt sind.

Wenn die holländische Regierung und das holländische Parlament dem Vorschlag der Deltakommission zustimmen, so dürfen wir allen an der Bauausführung Beteiligten aufrichtig wünschen, daß es ihrem wissenschaftlichen und technischen Können und ihrer Tatkraft gelingen möge, das große Werk der Abdämmungen in der vorgesehenen Zeit zum Wohle Hollands zu einem guten Ende zu führen.

Der Küstenausschuß Nord- und Ostsee

¹⁾ Die Deltakommission hat die Veröffentlichung ihres Gutachtens in deutscher Übersetzung in der „Küste“ freundlicherweise gestattet, wofür auch an dieser Stelle bestens gedankt sei.

I. Einleitung

Der vom Minister für Verkehr und Wasserbau am 21. Februar 1953 erteilte Auftrag stellt die Deltakommission vor die Aufgabe, die wasserbaulichen Maßnahmen zu untersuchen und zu empfehlen, die bezüglich der durch die Sturmflut vom 1. Februar 1953 heimgesuchten Gebiete getroffen werden müssen.

Eine bessere Sicherung gegen die Überflutung dieser Gebiete kann durch das Verstärken der vorhandenen Deiche, durch die Abdämmung der Meeresarme oder durch eine Kombination beider Möglichkeiten erreicht werden.

Nach dem Auftrag, der der Kommission erteilt wurde, müssen die Westerschelde und der Rotterdamsche Waterweg mit Rücksicht auf die damit im Zusammenhang stehenden Schifffahrtsbelange als offene Fahrstraßen erhalten bleiben. Entlang dieser Gewässer kann deshalb nur eine Deichverstärkung, eventuell zusammen mit der Abdämmung einiger anschließender Flußabschnitte, in Erwägung gezogen werden. Die Wahl zwischen einem Abschluß der Meeresarme und einer Deichverbesserung ist also allein für das Haringvliet, das Brouwershavensche Gat und die Oosterschelde mit dem Veere Gat und den dahinter liegenden und anschließenden Gewässern gegeben.

Die Pläne zur Erhöhung der Sicherheit können erst nach zeitraubenden Untersuchungen und langen Vorbereitungen endgültig festgelegt werden.

Es ist jedoch notwendig, schon kurzfristig an verschiedenen Stellen Maßnahmen zur Erhöhung der Sicherheit zu treffen. Die Art dieser Verstärkung und der Umfang dieser Maßnahmen werden von dem Beschluß abhängen, ob zu einem Abschluß der Meeresarme übergegangen werden soll oder nicht. Eine grundsätzliche Entscheidung hierüber ist deshalb jetzt erwünscht.

Im Zusammenhang hiermit war unsere Kommission der Ansicht, dieses Dritte Zwischengutachten aufstellen zu müssen.

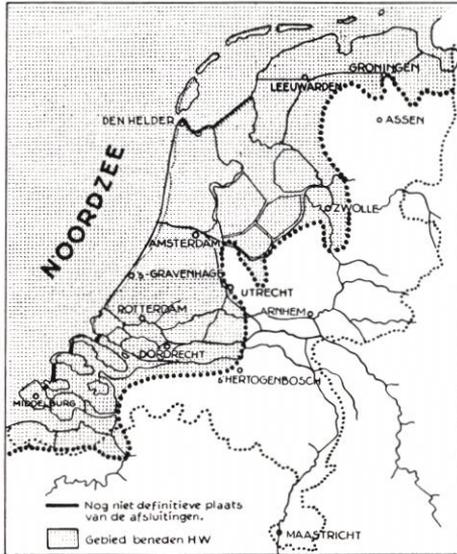
II. Begründung der Wahl zwischen der Verstärkung der bestehenden Deiche und dem Abschluß der Meeresarme

a) Im Hinblick auf die geforderte größere Sicherheit ist der Abschluß der Meeresarme notwendig

Auf umstehender Karte ist der Teil unseres Landes angegeben, der unter dem normalen Hochwasserstand der See liegt und der beim Fehlen oder Ausfallen des Küstenschutzes durch Seewasser überströmt werden würde.

In diesem landwirtschaftlich im allgemeinen hochentwickelten Gebiet liegen unsere beiden großen Hafenstädte Rotterdam und Amsterdam und viele andere wichtige Bevölkerungszentren, u. a. die Provinzialhauptstädte Middelburg, 's-Gravenhage, Haarlem, Zwolle und Leeuwarden mit ihren Betrieben und Einrichtungen. Das Gebiet hat eine Oberfläche von rund 16 000 km² (50 v. H. der Gesamtoberfläche unseres Landes) und wird von rund 6 Millionen Personen (60 v. H. der Gesamtbevölkerung) bewohnt.

Die nebenstehende Abbildung ist nicht Bestandteil des amtlichen Gutachtens; sie zeigt lediglich schematisch die Lage der Abdämmungen.



Den Küstenschutz bilden Dünen und Deiche. Die Dünen sind von wechselnder Breite und Höhe und genügen im allgemeinen den Forderungen eines zuverlässigen Hochwasserschutzes. Die Deiche sind hinsichtlich der Stärke und insbesondere der Höhe fast immer und überall dem zuletzt aufgetretenen bekannten höchsten Sturmflutwasserstand angepaßt.

Die Nacht vom 31. Januar zum 1. Februar 1953 brachte eine Sturmflut mit einem Wasserstand im Südwesten unseres Landes, der 0,50 bis 0,70 m höher stieg, als es nach den bekannten Angaben vorher der Fall gewesen ist. Die hierfür nicht berechneten Deiche brachen an vielen Stellen, und so entstand die bekannte Katastrophe. Dabei wurde ein Gebiet in der Größe von ungefähr 150 000 ha überflutet, das von rund 600 000 Personen bewohnt war, von denen ungefähr 1800 ihr Leben verloren, während mindestens 72 000 Personen ausgesiedelt werden mußten. Die Wiederherstellungskosten sind auf der allgemeine Schaden mit 1,5 bis 2 Milliarden

rund 1 Milliarde Gulden geschätzt, während Gulden angesetzt werden kann.

Diese Katastrophe hätte noch viel ernster sein können. Mit sehr viel Mühe und nur dank der allergrößten Kraftanspannung gelang es, einen beginnenden Deichdurchbruch an der holländischen IJssel noch im letzten Augenblick abzudichten. Wäre dies nicht geglückt, so würde der mittlere Teil unseres Landes überschwemmt und die Wirtschaft der Niederlande dadurch in ihrer Gesamtheit für viele Jahre aus dem Gleis gebracht worden sein.

Grundsätzlich wird der ganze tiefgelegene Teil unseres Landes, in dem die Bevölkerung und ihre Belange noch immer an Umfang und Bedeutung zunehmen, stets durch diese Überschwemmungsgefahr bedroht, wenn diese auch für einen Teil, insbesondere den mittleren Teil unseres Landes, früher eintreten und größer sein kann als für den anderen Teil. Durch die Abdämmung der Zuiderzee ist die Bedrohung des mittleren Teiles unseres Landes vom Norden her nahezu hinfällig geworden. An der südwestlichen Seite mit den tief in das Land eindringenden Meeresarmen jedoch droht diese Gefahr in besonderem Maße.

Das nationale Interesse fordert, dieser Gefahr in Zukunft bestmöglich vorzubeugen, und zwingt uns heute, eingreifende Maßnahmen zur Verbesserung des Küstenschutzes zu treffen. Nach den von uns bisher gewonnenen Erkenntnissen wird diese Verbesserung beträchtlich sein und besonders in einer ziemlich großen Erhöhung dieser Schutzanlagen bestehen müssen.

Diese Forderung wird noch unterstrichen durch die allmähliche, noch stets fortschreitende Senkung der Oberfläche unseres Landes mit Bezug auf den Meeresspiegel, eine Erscheinung, bei der einerseits die Bodensenkung, andererseits das Ansteigen des Meeresspiegels infolge Abschmelzen des Inlandeises der Polargebiete eine Rolle spielen. Rechnet man mit Zeiträumen von Jahrhunderten, so hat diese Erscheinung ungünstige Unterschiede von vielen Metern hervorgerufen, während sie in geschichtlichen Zeiten bereits wiederholt Deicherhöhungen notwendig gemacht hat. Zwar ist dies ein langsamer Vorgang, dessen weiterer Verlauf schwerlich genau vorauszusagen ist, aber auf Grund der gegenwärtigen Erkenntnisse darf man annehmen, daß die relative Senkung noch viele Jahrhunderte anhalten wird und sich noch über eine Anzahl von Metern erstrecken kann. Wenn man die heute zu treffenden Schutzmaßnahmen nicht allein im Lichte der Gegenwart, sondern — wie wir es für erforderlich halten — auch im Hinblick auf eine ziemlich ferne Zukunft sehen will, dann wird man sicherlich mit diesem Vorgang rechnen müssen. Hierbei muß auch noch berücksichtigt werden, daß unabhängig von dem vorher Erwähnten die Deiche durch Sackung und andere Ursachen niedriger werden.

Schon die von altersher befolgte Methode, die Höhe der Schutzanlagen, insbesondere der Deiche, dem zuletzt aufgetretenen bekannten höchsten Wasserstand anzupassen, würde dazu zwingen, diesen Schutz heute um mindestens einen Meter zu erhöhen. Dies kann jedoch nicht als ausreichend angesehen werden. Es muß angenommen werden, daß noch höhere als die bisher bekannten Wasserstände an unseren Küsten vorkommen können, so außergewöhnlich die vom 1. Februar 1953 auch bereits waren. Die verschiedenen Faktoren, die zu Sturmfluten führen, können nämlich noch ungünstiger sein und werden noch ungünstiger miteinander zusammenfallen können, als es am 1. Februar 1953 der Fall war. Nun hat es sich jedoch auf Grund von Untersuchungen und Berechnungen als unmöglich erwiesen, für einen derartigen noch höheren Sturmflutwasserstand und die zugehörigen Häufigkeiten genaue Zahlen zu erlangen. Aber daß früher oder später die Möglichkeit für das Auftreten eines derartigen, wenn auch sehr außergewöhnlichen Sturmflutwasserstandes besteht, muß mit Sicherheit angenommen werden, und es ist deshalb ein dringendes Erfordernis, heute mit den Erhöhungen über den vorher genannten einen Meter hinauszugehen. Wird dabei dann gleichzeitig die bereits erwähnte fortschreitende relative Senkung unseres Landes berücksichtigt, dann führt das nach unserer Ansicht zu der Forderung, daß, da der Küstenschutz im Südwesten des Landes jetzt verstärkt werden muß, bei den Planungen zur Verbesserung des dortigen Hochwasserschutzes von den erforderlichen Erhöhungen ausgegangen wird, die je nach den Umständen mindestens $1\frac{1}{2}$ bis 2 m betragen müssen.

Wenn mit Rücksicht darauf für das heimgesuchte Gebiet zu einem System von Abdämmungen übergegangen wird, das in den Grundzügen aus einem Abschluß der Meeresarme durch Dammverbindungen zwischen den Dünenreihen besteht, dann ist dabei die geforderte größere Höhe ohne besondere Schwierigkeiten zu erreichen. Die Dünengebiete weisen diese größere Höhe in den meisten Fällen bereits auf, und wo dies nicht der Fall ist, bieten sie überall die Gelegenheit zu ihrer Herstellung. Den Abdämmungen kann man — praktisch gesprochen — die Höhe und Stärke geben, die man wünscht. Das schließt gleichzeitig ein, daß bei diesem System der Küstenverteidigung weitere, sogar ziemlich beträchtliche Erhöhungen jederzeit in einfacher Weise möglich bleiben.

Anders liegt es mit dem Hochwasserschutz, der durch die bestehenden Deiche gebildet wird. In dem Gebiet der seeländischen und südholländischen Ströme wird es durch das Vorhandensein vieler Wohnungen, Betriebe, Häfen, Einrichtungen usw. entlang und sogar auf diesen Deichen außerordentlich schwierig und örtlich fast unmöglich sein, durchgehende Erhöhungen von mindestens $1\frac{1}{2}$ bis 2 m zusammen mit den dafür erforderlichen beträchtlichen Verstärkungen und Verbreiterungen anzubringen. Wie sich auch bei vielen Durchbrüchen gezeigt hat, kommt der Umstand hinzu, daß sowohl die Zusammensetzung als auch die Unterlage verschiedener Deichabschnitte Mängel zeigen, die nicht alle zu erkunden sind und deshalb nicht beseitigt werden können. In diesem Zusammenhang muß auch auf die Erscheinung hingewiesen werden, daß in unseren Meeresarmen (in der Oosterschelde sogar in ernstem Maße) ziemlich regelmäßig Deich- und Uferrutschungen auftreten, die die Sicherheit und den Bestand des angrenzenden Landes gefährden; zugleich wird dort an vielen Stellen durch die Strömung Sand weggeführt und der Unterwasserteil der Ufer angegriffen.

Wenn man daneben noch den sehr wesentlichen zusätzlichen Vorteil bedenkt, daß die bestehenden Deiche hinter dem neuen Küstenschutz der Abschlußdämme einen außerordentlich wertvollen zweiten Schutz bilden werden (wobei in diesem Falle alle aus Uferrutschungen und Sandverlusten herrührenden Gefahren fortfallen), dann kann man für das heimgesuchte Gebiet die beiden besprochenen Systeme wie folgt zusammenfassend vergleichen:

Durch die Abdämmung der Meeresarme erreicht man einen Hauptküstenschutz, der aus der kurzen geschlossenen Küstenlinie besteht, die durch Dünen und Dämme gebildet wird. Ihnen kann man ohne besondere Schwierigkeiten schon sofort die volle Stärke geben, die für die nächste Zukunft als notwendig angesehen wird. Der Unterhalt dieses Küstenschutzes, der alle Möglichkeiten einer weiteren Erhöhung in sich birgt, ist einfach und übersichtlich. Dahinter liegt dann ein zweiter Schutz, den das gegenwärtige Deichsystem bildet. Dieses wird

angesichts der Aufgabe, die es dann zu erfüllen hat, bei unvorhergesehenen Ereignissen noch in der Lage sein, eine Katastrophe abzuwenden oder wesentlich einzuschränken.

Beschränkt man sich auf die Erhöhung der bestehenden Deiche, dann erhält man einen einzigen Schutz. Er besteht aus einer Aneinanderreihung vieler Hunderte Kilometer langer Deichstrecken von unterschiedlichem Aufbau. An vielen Punkten werden sich Mängel oder schwache Stellen zeigen, deren regelmäßiger guter Unterhalt ständig Sorge bereiten wird und bei denen, auch wenn es gelingen sollte, die heute unmittelbar erforderliche Erhöhung noch vorzunehmen, in Zukunft praktisch keine weitere durchgehende bedeutende Erhöhung mehr möglich sein wird.

Auf Grund dieses Vergleiches der beiden Systeme ist nach dem einstimmigen Urteil unserer Kommission im Hinblick auf die Sicherheit die Wahl für das Katastrophengebiet völlig eindeutig. Sie kann nur auf das System der Abdämmungen fallen. Durch seine so viel geringere Länge, seinen besseren Aufbau und durch die zweite Schutzlinie, die durch die Abdämmung automatisch entsteht, bietet dieses System eine Sicherheit von ganz anderer, höherer Ordnung als die, die durch die Erhöhung der bestehenden Deiche erreicht werden kann. Gleichzeitig behält man dabei die Möglichkeit — was nach unserer Meinung gleichfalls außerordentlich wesentlich ist —, im Falle einer weiteren ungünstigen Niveaushiftung zwischen Meer und Land den daraus entstehenden Schwierigkeiten in einfacher Weise zu begegnen. Nur in dieser Weise wird ein Küstenschutz erreicht, den man auch für die Zukunft als zuverlässig bezeichnen darf.

Die Untersuchung der Kommission ist noch nicht so weit fortgeschritten, daß sie einen vollständigen, gut fundierten Voranschlag für die Abschlußdämme einschließlich aller zusätzlichen Arbeiten vorlegen kann. Es ist ihr allerdings klar geworden, daß diese Kosten nur wenig von der endgültigen Höhe der Dämme beeinflußt werden. Als Anhalt glaubt sie, die Kosten des ganzen Vorhabens von Abschlußbauwerken mit allem, was dazugehört, und ferner einschließlich der notwendigen Deichverstärkungen entlang des Rotterdamsche Waterweg und der Westerschelde mit einem Betrag von 1,5 bis 2 Milliarden Gulden einsetzen zu können.

Die Kommission hat sich auch über die Art und Weise unterrichtet, in der eine Verstärkung der bestehenden Deiche erfolgen müßte, und über die damit verbundenen Kosten. Im Gegensatz zu den Abdämmungen werden die Kosten hier in starkem Maße mit der Aufhöhung der Deiche steigen. Es ergab sich, daß angenommen werden mußte, daß die Kosten der Deichverstärkung bei einer Erhöhung der Deiche um mindestens 1½ bis 2 m in derselben Größenordnung liegen würden wie die der Abdämmungen. Die Kommission ist dann auch der Meinung, daß unter Berücksichtigung der großen Vorteile, die das System der Abdämmungen für die Sicherheit bietet, in der Kostenfrage kein Argument für das System der Deicherhöhungen gesehen werden kann.

Auch bezüglich der Dauer der Ausführung sieht die Kommission in der Verbesserung der bestehenden Deiche keinen Vorteil.

b) Die technische und wirtschaftliche Durchführbarkeit der Abdämmungen

Auf Grund ihrer Untersuchungen, der in unserem Lande gereiften Erfahrungen und dem heutigen Stand der Technik ist die Deltakommission davon überzeugt, daß der Abschluß der Meeresarme trotz der dabei zu erwartenden Schwierigkeiten technisch möglich ist.

Die Zeitdauer der Ausführung wird einerseits von dem Nachdruck, mit dem (auch im Zusammenhang mit finanziellen Erwägungen) gearbeitet werden kann und andererseits von den Widerständen abhängen, die angesichts der Art und der Lage der Arbeiten nahe der See nicht außer Betracht gelassen werden können. Die Kommission ist der Ansicht, daß technisch gesehen die Arbeiten in einer Zeit von 20 bis 25 Jahren vollendet werden können.

Die Kommission meint, daß der geschätzte Betrag von 1,5 bis 2 Milliarden Gulden, der in einem Zeitraum von 20 bis 25 Jahren aufzubringen ist, eine Belastung darstellt, die unser Volk mit Rücksicht auf die Sicherheit des Küstenschutzes nicht nur tragen muß, sondern angesichts der großen Vitalität, die es stets zeigt, wenn es um die Erhaltung seines Bodens geht, in diesem Fall auch zu tragen bereit sein wird.

c) Einfluß auf Nordseewasserstände und -strände

Infolge des Abschlusses der Meeresarme wird sich das Strömungsbild vor der Küste verändern.

So werden unter anderem die Sturmflutwasserstände auf dem Meere in der Umgebung der Abdämmungen eine Erhöhung erfahren. In der Nähe des Waterweg und der Westerschelde wird diese jedoch nicht mehr betragen als höchstens einige Zentimeter.

Das vor den Seegaten gelegene Gebiet der Sände wird infolge der Stromveränderungen, der veränderten Sandverlagerungen und des Ausfallens der Sandanfuhr aus den Meeresarmen allmählich verschwinden. Die in diesem Gebiet vorhandene Sandmenge wird mit geringer Geschwindigkeit nach der Küste getrieben werden. Dadurch wird während der nächsten Jahrhunderte, solange die Sandbänke noch nicht erschöpft sind, eine Verbreiterung des Strandes nördlich von Westkapelle zu erwarten sein.

d) Der Wasserverkehr

Die Erschwernisse durch das Eis werden auf den abgeschlossenen Becken in strengen Wintern, wie sie durchschnittlich ungefähr einmal in fünf Jahren erwartet werden können, vermutlich größer sein als heute. Die zeitweiligen Erschwernisse für die Schifffahrt, die hierdurch eventuell entstehen sollten, können jedoch durch zweckmäßige Mittel zum großen Teil behoben werden.

Durch den Ausfall der Gezeitenströmung wird innerhalb der Abdämmungen ein sichererer und regelmäßiger Verkehr auf den abzdämmenden Gewässern ermöglicht. Verkürzungen des Fahrweges können zustandegebracht und unterhalten werden. Der wenig wechselnde Wasserstand eröffnet außerdem die Möglichkeit, verschiedene Häfen besser nutzbar zu machen.

e) Die Wasserlösung

Das überflüssige Oberwasser des Rijn und der Maas wird durch Entwässerungschleusen abgeleitet werden und weiter auch durch den Rotterdamsche Waterweg zum Abfluß kommen. Die abgeschlossenen Meeresarme haben ein ausreichendes Fassungsvermögen, um ohne gefährliche Erhöhung der Wasserstände die großen Abflüsse der Ströme und das Überschußwasser der Polder aufzunehmen, wenn die Ableitung nach See während einer Sturmflut gehemmt sein wird.

Soweit die unmittelbar oder mittelbar in die abzuschließenden Meeresarme entwässernden Gebiete durch den Fortfall des täglich zweimaligen Niedrigwassers in ihrer normalen Entwässerung behindert werden sollten, müssen Hilfsmaßnahmen getroffen werden.

f) Die Fischerei und die Muschelkulturen

Die Kommission ist sich einerseits der großen Bedeutung, die die Fischerei und die Muschelkultur sowohl aus nationalen als aus örtlichen Gesichtspunkten haben, und andererseits auch der ungünstigen Folgen bewußt, die eine allgemeine Abdämmung der Seegaten für diese Betriebe haben wird. Jedoch kann sie nicht die Tatsache übersehen, daß die Sicherheit von größerem Interesse ist als die Aufrechterhaltung dieser Betriebe. Sie wird ernsthaft die Möglichkeit erwägen, ob größerer Schaden für diese Betriebe bei der Schaffung einer ausreichenden Sicherheit für den Südwesten des Landes vermieden werden kann.

Man wird damit rechnen müssen, daß im Schadensfalle Entschädigungen zu gewähren sind.

g) Die Verbindungsmöglichkeiten infolge der Dammbauten

Nicht nur vom Gesichtspunkt des Küstenschutzes aus verdient der Abschluß der Seegaten alle Beachtung. Er paßt auch völlig in die Entstehungsgeschichte des Westens unseres Landes, wo die Küste stetig durch Abschlüsse und Eindeichungen verkürzt und einzelne Teile zu größeren Einheiten vereinigt wurden. Die stets zunehmende gegenseitige Abhängigkeit der früher mehr oder weniger auf sich selbst gestellten Gebiete erfordert dringend engere Verbindungen.

Die Kommission hält die Verbindung der Inseln miteinander und ihren Anschluß an das Festland infolge Abdämmung der Seegaten für einen wichtigen zusätzlichen Vorteil. Die

wirtschaftliche und soziale Entwicklung von Zeeland und Goeree-Overflakkee wird durch die heutigen Verkehrsverbindungen behindert. Ein besserer Anschluß an das Festland ist hier nicht nur von örtlicher, sondern auch von nationaler Bedeutung. Allerdings wird dies die Anlage von Straßen erfordern und Kosten verursachen.

h) Vorteile eines Süßwasserbeckens

Land- und Gartenbau sind wichtige Faktoren in unserem Wirtschaftssystem, besonders auch durch die Rolle, die sie in unserem Export einnehmen.

Für eine günstige landwirtschaftliche Erzeugung ist ein guter Süßwasserhaushalt notwendig. An vielen Stellen ist nicht immer genügend Süßwasser vorhanden, während die Versalzung unseres Polderlandes zunehmende Nachteile verursacht.

Unsere Flüsse können in trockenen Zeiten nicht dem stets zunehmenden Süßwasserbedürfnis genügen. Eine Vorratsbildung ist deshalb erforderlich. Die Abdämmung der Seegaten gibt die Gelegenheit, auch im Südwesten des Landes ein Süßwasserbecken herzustellen, während im Rotterdamsche Waterweg die Versalzungsgrenze dadurch zurückgedrängt werden kann, daß man hier den Oberwasserabfluß verstärkt. Die landwirtschaftlichen Interessen sprechen für ein möglichst großes Süßwasserbecken. Auf den Inseln kann die Behebung des Süßwassermangels die Entwicklung bestimmter Industrien fördern. Auch die Trinkwasserversorgung wird im allgemeinen daraus Vorteile ziehen können.

Zur Erreichung dieser Vorteile werden Arbeiten durchzuführen sein, die weiterer Investierungen bedürfen.

i) Landgewinn und -verlust

In dem hinter den Abschlußdämmen zu bildenden Süßwasserbecken liegen verschiedene Gebiete, deren Trockenlegung dadurch verlockender wird als heute. Der Umfang dieser Trockenlegung wird jedoch nur beschränkt sein können.

Im Gegensatz hierzu wird bei der Verstärkung der bestehenden Deiche eine ansehnliche Kulturlandfläche ihrer Bestimmung entzogen.

j) Die Erholung

Die abzdämmenden Gewässer werden in mancher Hinsicht besser für die Erholung ausgenutzt werden können. Für die betroffene Gegend wird diese von großer Bedeutung sein.

k) Zugehörige Arbeiten

Die Kommission hat sich darüber Rechenschaft abgelegt, daß man sich mit der Abdämmung der Seegaten allein nicht begnügen kann. Will man den gestellten Forderungen des Küstenschutzes entsprechen und daneben die vorher erwähnten Belange der Wasserlösung und Eisbeseitigung, der Schifffahrt und Fischerei in richtiger Weise beherzigt sehen, dann sind dafür Kunstbauten und einige sekundäre Abdämmungen hinter den Abschlußdämmen erforderlich. Diese Arbeiten bilden eine notwendige Ergänzung zu den Abdämmungen, und mit ihren Kosten ist auch bei den gegebenen Schätzungen gerechnet worden. Welche Arbeiten dies sind, ihre richtige Lage und Bedeutung im Rahmen des Ganzen stellen noch Punkte dar, die einer genaueren Ausarbeitung bedürfen. Zusammen mit einer Darlegung der nach unserer Ansicht wünschenswertesten Reihenfolge der Arbeiten werden diese in einem folgenden Zwischengutachten behandelt werden.

III. Schlußfolgerungen

Zusammenfassend ist die Deltakommission einstimmig der Ansicht, daß es notwendig ist, die Sicherheit der durch die Sturmflut vom 1. Februar 1953 heimgesuchten und bedrohten Gebiete zu erhöhen, und zwar grundsätzlich durch den Abschluß der Seegaten, soweit dies nicht durch den ihr erteilten Auftrag ausgeschlossen wurde,

Die Kommission ist der Ansicht, daß vom Standpunkt der Sicherheit der Abschluß der Seegaten bei weitem den Vorzug vor der Verstärkung der bestehenden Deiche verdient. Sie hält diese Lösung wirtschaftlich und technisch für durchführbar.

Fischerei und Muschelkulturen erfordern eine nähere Untersuchung. Mit diesen Ausnahmen sind die Nachteile, die von einem Abschluß der Seegaten erwartet werden können, nicht von großer Bedeutung und zum großen Teil zu beheben.

Die Abdämmungen bieten neben einer ansehnlichen Erhöhung der Sicherheit eine Gelegenheit, die Inselgebiete aus ihrer Abgeschlossenheit zu erlösen. Ferner wird man zur Erhöhung der landwirtschaftlichen Erzeugung einen großen Süßwasservorrat bilden und auch auf anderen Gebieten Vorteile erlangen können.

Die Kommission ist deshalb auch der Ansicht, daß man künftig mit der Abdämmung der oben erwähnten Seegaten rechnen muß und sie so schnell wie möglich verwirklichen sollte. 's-Gravenhage, den 27. Februar 1954.

Der Vorsitzende: Ir. A. G. MARIS.
Die Mitglieder: Dr. Ir. V. J. P. DE BLOCQ VAN KUFFELER
 Prof. Ir. P. Ph. JANSEN
 Ihr. Ir. C. L. C. VAN KRETSCHMAR VAN VEEN
 Ir. G. P. NIJHOFF
 Dr. Ir. J. A. RINGERS
 Prof. Ir. J. Th. THIJSSE
 Ir. R. VERLOREN VAN THEMAAT
 Ir. J. W. DE VRIES
 Ir. L. T. VAN DER WAL.
Der Sekretär: Dr. Ir. J. VAN VEEN.

Erläuterungen:

Zu II a des Gutachtens
 Mit Rücksicht auf die geforderte größere Sicherheit ist der Abschluß der
 Meeresarme notwendig

Verschiedene Faktoren, die die Höhe einer Sturmflut bestimmen, hätten noch ungünstiger sein können, als sie bei der jüngsten großen Sturmflut vom Februar 1953 waren. Der Sturm trat während einer nicht besonders kräftigen Springtide auf; 14 Tage vorher war diese ungefähr einen halben Meter höher. Der größte Anstau des Wassers infolge des Sturmes fiel nicht mit dem Zeitpunkt des Hochwassers zusammen. So betrug der größte Anstau in Rotterdam 3,70 m, während dieser im Augenblick des Hochwassers dort 2,70 m und vor der Brabantschen Küste 3,30 m war. Während des Sturmes vom 1. Februar 1953 sind die Windgeschwindigkeiten hierzulande nicht außerordentlich hoch gewesen. Die mittlere Stundengeschwindigkeit kam nicht über 27 m/sec, während sie beim Sturm vom 1. März 1949 bis auf 29,5 m/sec anstieg. Die Maximalstöße liefen bis 38 m/sec auf, am 1. März 1949 jedoch bis 39 m/sec. Weiter landeinwärts unterliegen die hohen Wasserstände neben dem Einfluß der Seewasserstände, der Windrichtung und der Windkraft auch dem des Abflusses aus dem Oberlauf der Flüsse. Dieser war am 1. Februar 1953 gering.

Hierbei sei darauf hingewiesen, daß diese Angaben über die den Sturmflutwasserstand beherrschenden Faktoren nicht derartig verwendet werden dürfen, daß man sie in ungünstigster Weise zusammensetzt. Zwischen diesen Faktoren besteht eine gewisse Wechselwirkung, die zur Verminderung der Gesamtwirkung führt.

Sie dürfen auch nicht den Eindruck erwecken, daß die jüngste Sturmflut nicht zu den besonders außerordentlichen gehöre. Daß dies sehr wohl der Fall war, geht u. a. auf den Umstand zurück, daß der Wind mit seiner Geschwindigkeit zwar keine Maximalwerte erreicht hat, aber über die volle Länge der Nordsee während einer ungewöhnlich langen Zeit anhielt, und daß die Zugbahn des Tiefs für Südwestniederland ausgesprochen ungünstig war. Trotzdem bleibt die Tatsache bestehen, daß aus den erwähnten Angaben mit völliger Sicherheit geschlossen werden muß, daß höhere Stände als die vom Februar 1953 vorkommen können und erwartet werden müssen. Um wieviel höher die Wasser-

stände werden können und wann sie auftreten können — morgen oder nach Jahrzehnten oder nach Jahrhunderten —, kann niemand sagen. Aber die Forderung nach Sicherheit verlangt heute, daß man damit rechnet und die Erhöhungen nicht als gering annimmt.

Außerdem leben wir in einem Gebiet, wo das Land sich mit Bezug auf den Meeresspiegel senkt. In langen Zeiträumen haben sich große Änderungen des Niveauunterschiedes zwischen unserem Land und der See ergeben. In geschichtlicher Zeit ist der Wasserstand in Bezug auf das Land um einige Meter gestiegen. Derartige Niveauveränderungen können zu einem Teil durch das Abschmelzen des Polareises verursacht werden. Wenn z. B. nur das Eis auf Grönland schmelzen würde, so würde dadurch der Wasserstand auf allen Ozeanen um mehrere Meter steigen. Die Möglichkeit, daß auch in Zukunft der Meeresspiegel ansteigen wird, ist wahrscheinlich. Hinzu kommt, daß unser Land absinkt und unsere Deiche mit sinken. Außerdem ist der Untergrund häufig von mehr oder weniger weicher Beschaffenheit, so daß dieser unter dem Druck der Deichkörper zusammengepreßt wird. Dieser in vermindertem Maße anhaltende Vorgang tritt bei Deichverstärkungen stets aufs neue in den Vordergrund. Auch der Boden, aus dem der Deichkörper errichtet wird, ist einem derartigen Setzungsprozeß unterworfen. Ferner kann ein gewisser Verschleiß des Deichkörpers durch den Verkehr auf der Krone und durch den Einfluß von Wasser und Wind stattfinden. Auch deshalb sind im Laufe einiger Jahrhunderte wesentliche Erniedrigungen der Deichkronen aufgetreten.

Infolge der Senkung von Land und Deichen mit Bezug auf den Meeresspiegel wird sich die Überhöhe unserer Schutzbauten vermindern und die Gefahr eines Durchbruches größer werden. Je nachdem, um wieviel das Land unter dem Außenwasserstand liegt, wird das Wasser hier bei einem Deichdurchbruch mit größerer Gewalt hindurchströmen, der Deichbruch schwieriger abzudichten und die Folgen ernster sein. Die Sicherheit, die die bestehenden Schutzanlagen bieten, wird gleichmäßig abnehmen.

Die Bedeutung des Schutzes gegen Überflutung nimmt jedoch immer zu, weil die dabei bedrohten Interessen von Menschen, Gütern und Land dauernd größer werden. Für den Zeitabschnitt 1950 bis 1970 wird die Zunahme unserer Bevölkerung auf durchschnittlich 120 000 Seelen je Jahr geschätzt; der Betrag der Netto-Investierungen wird mit 2,1 Milliarden Gulden je Jahr angesetzt und die Gesamterhöhung unserer landwirtschaftlichen Erzeugung um 25 v. H. angenommen. Bei der Verbesserung unseres Hochwasserschutzes muß deshalb mit einer stetigen Vermehrung der zu schützenden Interessen gerechnet werden.

Die Deltakommission hat sich durch örtliche Untersuchungen und durch das Sammeln von Unterlagen ein Bild von dem Zustand der Deiche im heimgesuchten Gebiet gemacht. Auf Grund dessen ist sie der Ansicht, daß die erforderliche durchlaufende Erhöhung zusammen mit den dafür benötigten beträchtlichen Verstärkungen und Verbreiterungen in Anbetracht des manchmal wenig tragfähigen Untergrundes und der vielen Wohnungen, Betriebe, Häfen, Einrichtungen usw., die sich an oder auf den Deichen befinden, in vielen Fällen außerordentlich mühsam und an einigen Stellen sogar ziemlich unmöglich sein wird.

Außerdem würde auch nach der Verstärkung der bestehenden Deiche infolge des verschiedenen Aufbaues und der nicht immer bekannten Mängel des alten Deichkörpers stets eine Unsicherheit bestehenbleiben.

Die Deiche brachen im Laufe vieler Jahrhunderte wiederholt. Sie wurden auf verschiedene Weise, manchmal über alte Wegbermen hinweg, wieder hergerichtet, verstärkt und aufgehöhht.

Hunderte von Kunstbauten in diesen historisch gewachsenen Deichen sind ebenfalls oft alt und von unzureichend bekannter Bauart. Es zeigte sich auch bei der jüngsten Katastrophe, daß Bestandteile verfallener Kunstbauten im Deichkörper verborgen zurückgeblieben sind. Man muß annehmen, daß diese Überbleibsel nicht die einzigen sind. Die Wahrscheinlichkeit unvorhergesehener Durchbrüche an schwachen Stellen ist und bleibt deshalb erfahrungsgemäß bestimmt keine bloße Annahme. Ferner können örtliche Schwierigkeiten und die finanziellen Folgen, die eine eventuell später auf langen Strecken gewünschte weitere Verbesserung wieder mit sich bringen würde, die Erlangung der gewünschten Sicherheit hemmen.

Falls zur Abdämmung übergegangen wird, bringt die damit zusammenhängende sehr wesentliche Verkürzung des Küstenschutzes mit sich, daß die geregelte normale Überwachung (und die bei Sturmflut) sowie der Unterhalt zweckmäßiger und auch billiger erfolgen können als bei den vielen hundert Kilometern verbesserter Deiche. Dies kann vor allem deshalb der Fall sein, weil die Abschlußdämme nach Ansicht der Kommission unter die Verwaltung und Unterhaltung einer einzelnen Instanz, nämlich des Staates, kommen müßten. Die Verwaltung und der Unterhalt des heutigen Deichsystems im Südwesten des Landes sind auf den Staat, auf drei Provinzen, 28 Gemeinden, 13 Deichhauptmannschaften,

64 Wasserverbände und 125 Polder verteilt. Die Leistungsfähigkeit dieser verschiedenen Organe ist sehr unterschiedlich.

Eine starke Verkürzung des Küstenschutzes ergibt auch aus diesem Grunde eine wesentlich größere Sicherheit.

Nach Abschluß der Seegaten können die Sturmfluten nur noch über den (offenen) Rotterdamsche Waterweg zum großen Becken der abgeschlossenen Meeresarme durchdringen. Die Abflachung der Sturmflutwasserstände ist so groß, daß in dem Becken und den unmittelbar anschließenden Flußstrecken keine für die vorhandenen Hochwasserschutzanlagen gefährlichen hohen Sturmflutwasserstände mehr auftreten können. Der abflachende Einfluß ist auch noch auf dem landeinwärts gelegenen Teil des Waterweg von Bedeutung. Zwar wird man eine notwendige Verstärkung der Deiche entlang dieses Flusses nicht umgehen können, aber die zu treffenden Maßnahmen werden dadurch vereinfacht. Das Becken hinter der Abdämmung ist groß genug, um keine gefährlich hohen Wasserstände entstehen zu lassen, falls eine Sturmflut mit hohen Abflüssen des Rijn und der Maas zusammenfällt.

Durch den Abschluß der Seegaten erhält man eine doppelte Sicherung, weil die heute bestehenden Deiche einen zweiten Schutz bilden werden. Sollte im äußersten Schutz ein Durchbruch entstehen — was auf Grund des Vorhergesagten kaum zu befürchten ist —, dann nehmen die Entstehung des Durchbruches und die darauf folgende Auffüllung des Beckens der Meeresarme so viel Zeit in Anspruch, daß angesichts der verhältnismäßig kurzen Dauer der Sturmflut in diesem Becken keine gefährlich hohen Wasserstände auftreten können. Auch nach einem Durchbruch wird der beschädigte Deichkörper noch einen beträchtlichen Teil des Querschnitts abschließen, so daß die Meereswellen nur abgeschwächt bis an die bestehenden Deiche durchdringen werden. Beides bewirkt, daß die Deiche, die heute als Hauptküstenschutz nicht den höchsten Anforderungen genügen, meistens ohne weiteres als zweiter Schutz dienen können.

Auch unter der Wasserlinie bilden die offenen Meeresarme eine Bedrohung für das angrenzende Land. Ihr Wasservolumen nimmt im allgemeinen zu, weil fortwährend Sand nach See abgeführt wird. Wo sich tiefe und ständig verlagernde Stromrinnen dem Land stark nähern, treten oft Deich- und Uferbrüche auf. Dies ist insbesondere entlang der Oosterschelde der Fall. Der große Landverlust, der im Laufe der Jahrhunderte an der Südseite von Schouwen aufgetreten ist, ist ein Warnungszeichen.

Seit 1882 haben sich in Zeeland 375 Deich- und Uferbrüche ereignet und von diesen 250 im Gebiete der Oosterschelde.

In der Oosterschelde wurden im Zeitraum von 1872 bis 1953 gut 350 Millionen m³ Sand, unterhalb Niedrigwasser gerechnet, ausgeräumt. Über die ganze Länge ist die durchschnittliche Tiefe größer geworden. Zwischen Wemeldinge und der Mündung beträgt diese durchschnittliche Vertiefung 135 cm. Von 1933 bis 1953 wurden aus der Oosterschelde gut 100 Millionen m³ Sand unterhalb NAP fortgeführt. Dies bewirkte eine Vertiefung von durchschnittlich 30 cm. Westlich Zierikzee war diese durchschnittliche Vertiefung während der genannten 20 Jahre 43 cm.

Auf die Dauer kann man einem derartigen Auswaschungsvorgang mit Rücksicht auf die Sicherheit nicht zusehen. Allein durch Abdämmung kann die hier angedeutete Gefahr, die sich ebenfalls, wenn auch in geringerem Maße, an anderen Seegaten zeigt, endgültig behoben werden.

Wenn auch die Zeit der Vorbereitung und Ausführung der Arbeiten durch viele Faktoren bestimmt wird, die heute noch nicht oder noch nicht alle zu übersehen sind, so sind doch die Lageorte der verschiedenen Abdämmungen und die sich daraus ergebenden meteorologischen und hydrologischen Verhältnisse derartig, daß jede Arbeit mit großer Kraftanspannung ausgeführt werden muß. Dabei muß man auch damit rechnen, daß die verschiedenen Abdämmungen sich gegenseitig beeinflussen werden. Die Durchführung der Arbeiten muß deshalb in einer bestimmten Reihenfolge vor sich gehen. *

Das Tempo, mit dem gearbeitet werden kann, hängt ferner nicht allein von den technischen, sondern auch von den wirtschaftlichen Faktoren ab. Man wird auch mit Rückschlägen rechnen müssen, die im Zusammenhang mit der Art und dem Ort der Arbeiten nahe der See durch natürliche Verhältnisse verursacht werden können.

Die Verstärkung der bestehenden Deiche wird ungefähr die gleiche Zeit (etwa 20 bis 25 Jahre) beanspruchen, wie sie für die Abdämmungen angenommen wird. Diese Arbeit ist, was den Umfang und die Kosten anbetrifft, von der gleichen Größenordnung wie die Ausführung der Abdämmungen. Allerdings wird man bei den letzteren Arbeiten mit größeren technischen Schwierigkeiten rechnen müssen, die einen verzögernden Einfluß auf die Ausführung haben können. Bei den Deichverstärkungen können jedoch Verzögerungen durch die häufig langwierigen Erwägungen über die Lösung zahlloser örtlicher Schwierigkeiten auftreten.

Zu II b des Gutachtens Die technische Durchführbarkeit der Abdämmungen

Die Abdämmung der Meeresarme stellt die entwerfenden und ausführenden Ingenieure und andere Techniker vor Schwierigkeiten, die vorher zwar auch bei anderen Abdämmungen auftraten, sich hier aber in besonderem Maße zeigen. Die Stromrinnen in den Meeresarmen, die gebändigt und abgeschlossen werden müssen, sind tiefer und mächtiger, als sie anderswo bisher je bezwungen wurden. Die starken hin- und herziehenden Tideströmungen erschweren die Anlage des Deichkörpers und geben je Tag nur während vier kurzer Perioden des Stillwassers die Gelegenheit zur Ausführung von Arbeiten, die ruhiges Wasser verlangen. Die Seegaten stehen den am häufigsten vorkommenden kräftigen nord- bis südwestlichen Winden offen. Hierdurch werden die Zeiträume, in denen nicht gearbeitet werden kann, häufig und lang sein. Auch der Nebel wird auf diesen breiten und eigenartig geformten Gewässern die Ausführung erschweren können. Die beträchtlichen Materialmengen, die oft in sehr kurzer Zeit verarbeitet werden müssen, werden eine starke Konzentration von Baugeräten verlangen.

Diesen hier kurz erwähnten erschwerenden Umständen kann jedoch das Folgende gegenübergestellt werden:

1. Die Erfahrung im Entwerfen und Ausführen großer und schwieriger Abdämmungen ist durch die Ausführung der Zuiderzeewerke, der Abdichtung der Stromgaten auf Walcheren, der Abdämmung der Brielschen Maas und des Braakman und auch bei der Wiederherstellung der jüngsten Sturmflutschäden gewachsen. Viele technische Fachsparten haben davon Nutzen gehabt: Ingenieure wie Ausführende, Labor- wie Schlepperpersonal, Faschinenarbeiter, Kranmaschinisten, Baggermeister usw. Infolgedessen kann man sich auf einen schlechterdings unentbehrlichen, großen und vielseitig unterrichteten Stamm von Spezialisten in vielen Sparten und von verschiedenem Rang stützen, von denen viele noch heute tätig sind.

2. Ein weiterer wertvoller Punkt ist der Fortschritt der Technik, und zwar sowohl hinsichtlich der Möglichkeiten zur Ermittlung der Auswirkungen auf die Wasserstände und Strömungen als auch hinsichtlich neuer Ausführungsmethoden, Baumaterialien und Baugeräte.

Die Kenntnis der Meeresarme und des Systems der Flußmündungen ist dank der vielen oft jahrelangen Untersuchungen und Studien wesentlich erweitert worden. Dies führte bereits vor 1953 u. a. zu einem Plan für den Abschluß des Haringvliet. Der theoretische Einblick in die Wasserbewegung ist derartig vertieft, daß im Zusammenhang mit Messungen in der Natur und im Modellversuch Berechnungen aufgestellt werden können, die nicht nur zuverlässige Vorhersagen über die Wasserbewegungen während der Ausführung der Abdämmungen, sondern auch für den Zustand nach endgültiger Fertigstellung der Arbeiten liefern. Ferner kann der Modellversuch einen Anhalt dafür geben, wie die in Ausführung befindlichen Bauten durch Strömungen angegriffen und gegen Strömungs- und Wellenangriff verteidigt werden können. Beides kann heute eine reelle Grundlage für die Aufstellung eines Arbeitsplanes liefern.

Die Zahl der bei Abdämmungen anzuwendenden Arbeitsverfahren wurde vermehrt. Als Beispiel kann die Entwicklung in der Anwendung von Caissons genannt werden sowie die Möglichkeit einer Anwendung von Asphalzerzeugnissen und anderen Materialien, wenn auch in dieser Hinsicht noch nähere Untersuchungen erforderlich sind.

Daneben hat auch das für die Ausführung erforderliche Baugerät in den letzten Jahren sowohl im Hinblick auf die Kapazität als auch auf die Vielseitigkeit eine Entwicklung durchgemacht, so daß mit Geräten mancherlei Art Leistungen erreicht werden können, die in jüngster Vergangenheit undenkbar waren.

Auf Grund des oben Gesagten, d. h. auf Grund der in unserem Lande gereiften Erfahrung, der durchgeführten Untersuchungen und des heutigen Standes der Technik, glaubt die Deltakommision, daß der Abschluß der Seegaten heute trotz der dabei zweifellos zu erwartenden Schwierigkeiten verwirklicht werden könne.

Zu II c des Gutachtens Einfluß auf die Nordseewasserstände und -strände

Vorläufige Berechnungen haben ergeben, daß als Folge der Abdämmung entlang der Küste eine Erhöhung der Hochwasserstände erwartet werden kann, die jedoch bei Sturmflut in der Höhe von Hoek van Holland und in der Mündung der Westerschelde nicht mehr als einige Zentimeter betragen wird.

Allerdings muß mit größeren Sturmfluthöhungen in den Meereseinschnitten gerechnet werden, die außerhalb der Abschlußdämme verbleiben werden. Diese Erhöhungen in Bezug auf den heute

bestehenden Zustand werden durch örtliche Veränderungen in der Tidebewegung und des Windstaus entstehen. Die Schutzanlagen außerhalb der Dämme werden deshalb so ausgeführt werden müssen, daß sie gegen diese höheren Fluten bestehen.

Es wird erwartet, daß sich die Dünenkette nach Abdämmung der Seegaten langsam mit Ausnahme der Stellen schließen wird, wo regelmäßig größere Mengen von Süßwasser abgeleitet werden. Die Trägheit dieses Ansandungsvorganges geht u. a. aus den bereits lange im Gang befindlichen Untersuchungen über die Sandbewegung entlang unserer Küste und aus den Peilungen auf der Brielschen Maas-Fläche nach dem Abschluß bei Oostvoorne hervor.

Zu II d des Gutachtens Der Verkehr auf dem Wasser

Auf dem Süßwasserbecken wird die Eisbildung in strengen Wintern, wie sie durchschnittlich ungefähr einmal in fünf Jahren im Südwesten des Landes vorkommen, wahrscheinlich größer sein als in den heute offenen Meeressarmen, in die das Seewasser eindringt. Die Aussüßung des Wassers und der Fortfall der Tidebewegung werden die Bildung und das Festsetzen des Eises fördern. Insbesondere beim Eintreten des Tauwetters werden die Fahrrinnen durch das rechtzeitige Einsetzen von Eisbrechern geöffnet und durch geeignete Maßnahmen so schnell wie möglich eisfrei gemacht und gehalten werden müssen. Die Hauptschiffahrtsstraßen müssen zu diesem Zweck durch Dämme gegen Eisstauungen abgeschirmt werden.

Es wird notwendig sein, die Beseitigung des von den Flüssen Waal und Maas geführten Treibeises sicherzustellen. Hierfür muß in der Abdämmung des Haringvliet eine Gelegenheit geschaffen werden.

Die Schifffahrt auf dem von dem Meer abgeschlossenen, ziemlich geschützten See wird bei starkem Wind oder Sturm weniger Schwierigkeiten und auch weniger Gefahren ausgesetzt sein als auf den offenen Meeressarmen. Dies ist besonders deshalb der Fall, weil für die Bekämpfung von Eisstauungen auf den wichtigsten Fahrstraßen nach obiger Empfehlung Schutzdämme vorhanden sein sollten, die auch den Wellenschlag brechen.

Durch den Wegfall der Tideströmungen können diese nicht mehr für das sogenannte Tidefahren ausgenutzt werden. Ihre Wichtigkeit für die Schifffahrt nimmt jedoch infolge der zunehmenden Verwendung von Fahrzeugen mit eigenem Antrieb und höheren Fahrtgeschwindigkeiten ab.

Die Abnahme der Strömungen ermöglicht eine größere Ausbreitung und eine bessere Abwicklung des Verkehrs. Das ist gleichbedeutend mit Zeitersparnis.

Die oft hinderlichen Querströmungen über die bei Hochwasser überfluteten Sandbänke werden der Vergangenheit angehören.

Durch das Abschneiden von Untiefen wird der Fahrweg zu verkürzen sein. Diese Verkürzungen sind unter dem heutigen Tideeinfluß schwierig zu verwirklichen oder zu erhalten.

Der Unterhalt der bestehenden Rinnen wird wesentlich erleichtert werden.

Das Vorhandensein der Schutzdämme entlang des Fahrweges wird Gelegenheit geben, die Befahrung mit festen Feuern vorzunehmen. Sie werden dem Fahrwasser eine bessere Kennzeichnung geben und so die Anzahl der Unfälle bei Nebel vermindern.

Die breiten und tiefen, künftig jedoch strömungslosen Rinnen werden der stets zunehmenden Anzahl schnellfahrender Schiffe keine Beschränkung der Geschwindigkeit auferlegen.

Da nach der Vollendung der geplanten Abdämmungen die Anzahl der zu passierenden Schutzschleusen auf den großen Fahrstraßen nicht größer zu sein braucht als heute, wird die Schifffahrt in dieser Hinsicht keine größere Behinderung erfahren. Sollte sich im Laufe der Arbeiten ergeben, daß während einer etwaigen Übergangszeit Schwierigkeiten auftreten, dann werden hiergegen Maßnahmen ergriffen werden müssen.

Der Schiffsverkehrsverkehr nach den kleinen, innerhalb der Abdämmungen gelegenen Häfen wird bequemer werden. Einige dieser Häfen werden infolge des Fortfalls des Hochwassers zwar vertieft werden müssen, aber damit auch jederzeit zugänglich und demnach verbessert werden.

Zu II e des Gutachtens Die Entwässerung

Beinahe 50 v. H. des Rijnwassers oder rund 75 v. H. des Wassers der Waal und Maas kommen über das Haringvliet zum Abfluß. Selbst bei sehr hohen Abflüssen strömt kein Oberflächenwasser durch das Brouwershavensche Gat und die Oosterschelde nach See. Im Gegenteil bewegt sich normalerweise ein salziger Flutüberschuß von den südlichen Gewässern zum Haringvliet.

In Verbindung mit dem oben über die Abfuhr des Treibeises Gesagten ist es klar, daß beim Abschluß der Seegaten eine Anzahl Entwässerungsschleusen für das Haringvliet geplant werden muß.

Bei Sturmflut kann die Abführung (des Binnenwassers) durch diese Entwässerungsschleusen in ungünstigen Fällen während drei oder vier nacheinanderfolgenden stark erhöhten Niedrigwassern gehemmt sein. Modellversuche haben jedoch gezeigt, daß das Fassungsvermögen der abgeschlossenen Meeresarme groß genug ist, um auch dann gefährlich hohe Wasserstände im Becken zu verhindern.

Bei einem großen Teil der Inseln und der angrenzenden Gebiete wird das Wasser durch freies Abströmen während der Niedrigwasserzeiten abgeführt. Da die Wasserspiegelschwankungen hinter den Dämmen beschränkt sein werden, behindert dies manche natürliche Vorflut, während die künstlichen Entwässerungen stärker belastet werden. Die Kosten der Maßnahmen, die im Zusammenhang hiermit getroffen werden müssen, sind im Verhältnis zu den erreichbaren Vorteilen gering.

Zu II f des Gutachtens Die Fischerei und die Muschelkulturen

Die gesamte Berufsbevölkerung, die in der Fischerei auf den abzuschließenden Meeresarmen, in den Muschelkulturen und in den damit zusammenhängenden Betrieben beschäftigt ist, zählt rund 2000 Seelen, von denen 900 in der Austern- und Muschelzucht beschäftigt sind. Die Investitionen der niederländischen Austern- und Muschelkultur betragen ungefähr 20 Millionen Gulden. Die vorhandenen Vorräte können mit 25 Millionen Gulden bewertet werden. Die Austern werden zum großen Teil ausgeführt; die Einkünfte betragen in den letzten Jahren rund 4 Millionen Gulden je Jahr. Der jährliche Ertrag aus den unverarbeiteten Muscheln in den Niederlanden kann für den Großhandel mit 5 Millionen Gulden je Jahr angesetzt werden. Infolge des Auftretens eines Parasiten hat sich der Muschelfang in den letzten Jahren um 80 v. H. nach der Waddenzee verlagert; das Wässern und Verarbeiten geschieht jedoch noch in Zeeland.

Die Austern sind sehr empfindlich für die natürlichen Verhältnisse, unter denen sie gezüchtet werden. In diesem Zusammenhang ist es vor allem die Oosterschelde, die sich dafür ausgezeichnet eignet. Der völlige Abschluß dieses Meeresarmes wird auch den Untergang der dortigen Austernzucht zur Folge haben. Deshalb muß sorgfältig untersucht werden, ob bei endgültiger Gewährleistung der Sicherheit eine Möglichkeit zu finden ist, um die lohnende Austernzucht in irgendeiner Form zu erhalten.

Zu II g des Gutachtens Verbindungsmöglichkeiten durch die Anlage von Dämmen

Auf den Abschlußdämmen und in ihrer Nähe können Vorkehrungen getroffen werden, die einen Landverkehr ermöglichen. Hierdurch werden die Inseln untereinander und in ihrer Gesamtheit auch mit dem am dichtesten bevölkerten Teil unseres Landes inniger verbunden.

Welche Wirkungen diese verbesserten Verbindungen zur Folge haben werden, ist mit größerer Sicherheit anzugeben als das Maß, in dem diese Veränderungen sich vollziehen werden, und die Zeit, die dafür erforderlich sein wird.

Ein verbesserter Verkehr zu Lande kann die folgenden Veränderungen zur Folge haben:

1. Durch die bessere Erreichbarkeit der großen Zentren und im Zusammenhang mit der unter h zu besprechenden umfangreicheren Süßwasserversorgung wird für die Landwirtschaft eine teilweise Umschaltung auf höherwertige Gewächse möglich, die zum Teil für den Export geeignet sind. Dies kann Hand in Hand mit einer Intensivierung der landwirtschaftlichen Arbeit gehen.
2. Es wird auch ein Teil des auf den Inseln vorhandenen überschüssigen Arbeitskontingentes bei nicht zu großer Entfernung von den großen Zentren der Industrie und des Verkehrs dort arbeiten, aber doch auf den Inseln wohnen bleiben können. Dies bringt verschiedene wirtschaftliche und soziale Vorteile mit sich.
3. Wird der Bevölkerungsüberschuß in einigen Dörfern oder Landstrichen beträchtlich, dann besteht infolge der verbesserten Verkehrsverbindungen Aussicht, bestimmte Industrien an Orten zu gründen, wo dieser Überschuß eine geeignete Zusammensetzung hat. Dieser Vorgang hat sich nicht allein anderswo in unserem Land, sondern auch in Belgien und Deutschland abgespielt.
4. Die neuen Verbindungen können zweifellos zur Entwicklung von Erholungsorten beitragen, die für den Westen der Niederlande sowie für das ebenfalls sehr dicht bevölkerte Gebiet Mittelbelgiens bequem zugänglich sind. Dies kann eine Quelle von Arbeit und Wohlstand ergeben.
5. Abgesehen von den verschiedenen oben genannten möglichen Folgen auf wirtschaftlichem und sozialem Gebiet wird die engere Verbindung der Inseln mit größeren Kulturzentren einen günstigen Einfluß ausüben können.

6. Von den besseren Verbindungen darf eine vermehrte Arbeitsmöglichkeit und als Folge davon eine Verminderung der Auswanderung erwartet werden, durch die der beste Teil der jüngeren Bevölkerung verloren geht. Beides wird eine Grundlage für die Bekämpfung des Rückganges bilden können, der die Inselgebiete heute bedroht.

Die Sicherung und die wirtschaftlichen Belange eines möglichst großen Süßwassersees verlangen, daß die Dämme so weit seawärts gelegt werden, wie es technisch zu verantworten ist. Eine Verschiebung der Abschlußdämme landeinwärts allein mit Rücksicht auf eine günstigere Linienführung für den Landverkehr kann deshalb nicht gebilligt werden.

Sollte die durch die Abschlußdämme gegebene Linienführung als wenig zweckentsprechend für den Landverkehr angesehen werden, dann können östlich der Dämme unter weniger beschwerlichen Verhältnissen als bei den offenen Meeressarinen Verbindungen ausgeführt werden, die unter günstigeren Voraussetzungen geschaffen werden können, wenn sie mit eventuell binnenseits der Abdämmungen auszuführenden sekundären Arbeiten zusammenfallen.

Zu II h des Gutachtens Die Vorteile eines Süßwasserbeckens

Für eine günstige Land- und Gartenbauerzeugung ist ein guter Süßwasserhaushalt im Boden notwendig. Nicht immer ist genügend Süßwasser vorhanden, während die Versalzung unseres Polderlandes zunehmend nachteilige Folgen hat. Ferner hat die Urbarmachung des Nordostpolders deutlich die Bedeutung einer Süßwasserinfiltration für die Erzeugung auf leichten Böden gezeigt, so daß heute an vielen Stellen ein großes Bedürfnis an Süßwasser während der Wachstumsperiode der Pflanzen entstanden ist und auch die künstliche Beregnung eine zunehmende Bedeutung gewinnt.

Für die gute Entwicklung unserer dortigen Landwirtschaft muß gefordert werden, daß ausreichend Süßwasser im Südwesten des Landes zur Verfügung steht. Unsere großen Flüsse als die Hauptquellen können jedoch nicht immer den Bedarf decken, so daß eine Vorratsbildung erforderlich ist.

In den Becken hinter den Abschlußdämmen kann ein Teil des heute nutzlos ins Meer strömenden Wassers des Rijn und der Maas — neben dem Abfluß kleinerer Ströme — gesammelt und bewahrt werden, um in Trockenzeiten oder bei geringerer Wasserführung der Flüsse der Austrocknung der Landbaugebiete im Südwesten des Landes einschließlich Südhollands und eines Teiles von Brabant zu begegnen.

Neben der Verhinderung der Austrocknung spielt auch die Bekämpfung der Versalzung eine große Rolle. Dies gilt nicht allein für die Inseln, sondern unter anderem auch für die Gebiete, die Wasser aus dem Rotterdamsche Waterweg einlassen. Um 1900 lag die Versalzungsgrenze in diesem Fluß bei Hochwasser in der Höhe von Schiedam. Heute liegt diese Grenze bei mittlerer Wasserführung bereits an der Stelle des wichtigen Wassereinlaßpunktes der Deichhauptmannschaft Delfland, d. h. beim Parkhafen in Rotterdam. In trockenen Zeiten kann hier kein Süßwasser eingelassen werden. Bei geringer Wasserführung zieht die Salzgrenze weiter stromaufwärts und manchmal sogar bei Krimpen am Lek vorbei.

Durch den Abschluß der Seegaten kann mehr Süßwasser entlang des Rotterdamsche Waterweg zum Abfluß gebracht werden. Die Versalzungsgrenze kann dadurch auch in trockenen Zeiten zurückgedrängt werden.

Zu II i des Gutachtens Landgewinn und -verlust

Obgleich entlang der Ufer des gedachten Süßwasserbeckens tonhaltige Ablagerungen (Anwachs, Groden) vorhanden sind, die für landwirtschaftliche Gelände geeignet sein sollten, findet man in diesem Becken hauptsächlich große Flächen sandiger Ufer und Sandbänke, deren Fruchtbarkeit vom Vorhandensein des Süßwassers abhängt.

Wenn dies Süßwasser vorhanden sein wird, besteht die Möglichkeit, jene Sandgebiete in lohnende Kultur zu nehmen, weil hierfür nach dem Abschluß der Seegaten keine sehr hohen Eindeichungen mehr erforderlich sind.

Möglicherweise könnten auch unter dem künftigen Wasserspiegel liegende Sandgebiete eingedeicht werden, aber aus landwirtschaftlichen Gesichtspunkten ist andererseits ein großes Süßwasserbecken erwünscht. Diese gegensätzlichen Interessen werden gegeneinander abgewogen werden müssen.

Im Hollandsche Diep und dem Haringvliet wird Gelegenheit zur Ablagerung von Rijn- und Maasschlick auf den häufig flachen Ufern gegeben sein. Aus verschiedenen Gründen ist es nämlich

nötig, diese gemeinsame Mündung von Rijn und Maas unterhalb der Moerdijkbrücke zu regulieren. Die neben dem regulierten Fluß zwischen den Bühnen liegenden Gewässer und Sandbänke werden aufschlickern und schließlich für Landgewinnung verfügbar werden.

Wenn man die bestehenden Deiche verstärken würde, statt die Seegaten abzuschließen, dann würde hinter diesen Deichen ein Streifen Boden mit einer mittleren Breite von rund 30 m mit Beschlag belegt werden müssen. Dies würde nicht allein zur Folge haben, daß eine Oberfläche von schätzungsweise 2500 ha Kulturboden verlorengelassen, sondern auch, daß über die ganze Länge der verstärkten Deiche der örtliche agrarwirtschaftliche Zustand aus dem Gleichgewicht gebracht wird. Wenn es sich herausstellen sollte, daß man den Klei für die Abdeckung der verstärkten Deiche aus dem dahinter liegenden Land beziehen muß, würde dies weiterhin zu einer Vernichtung von Kulturboden führen.

Zu II j des Gutachtens Die Erholung

Auf den seeländischen Gewässern sind die Erholungsmöglichkeiten unter den heutigen Umständen von begrenzter Bedeutung. Sie werden umfangreicher werden, wenn diese Gewässer durch das Verschwinden der Tidedrömungen und durch das Vorhandensein wellenbrechender Dämme ruhiger geworden sind, so daß die Ausübung des Wassersports auch mit bescheidenen Fahrzeugen möglich wird. Auch an die Bepflanzung der Ufer und Sandbänke kann gedacht werden. Dadurch werden diese zu begrünten Inselchen.

Neben den südwestlichen Stränden, die sich auf die Dauer verlängern werden, wenn sich die Dünenreihe langsam schließt, werden entlang der abgedämmten Gewässer neue Möglichkeiten zur Erholung entstehen. Infolge der Verbesserung der Verkehrsverbindungen nach dem Bau der Abschlußdämme wird eine größere Bevölkerungsgruppe von diesen neuen Möglichkeiten Gebrauch machen können. Der Fremdenverkehr sowohl für einen einzigen Tag als auch für längere Zeit wird hierdurch zugunsten des betroffenen Gebietes zunehmen.

Die Sicherung des Seedeichs vor dem Wesselburener Koog in Norderdithmarschen

Von Walter Bothmann



Abb. 1. Lage des Wesselburener Kooges

Inhalt

I. Lage und Gefährdung des Kooges	18
II. Möglichkeiten für die Sicherung des Seedeichs	
1. Die besonderen Verhältnisse an der Dithmarscher Küste	21
2. Die Nachteile der alten Uferdeckwerke	22
3. Der Bauentwurf des neuen Steindeckwerks	24
III. Die Bauausführung	
1. Das neue Steindeckwerk	27
2. Die Aufgabe der Buschlahnungen vor der neuen Ufersicherung	27
3. Versuchsstrecken für Bitumenbauweise	28
IV. Bisherige Ergebnisse der neuen Bauart des Steindeckwerks	30
V. Schriftenverzeichnis	32

I. Lage und Gefährdung des Kooges

Im Jahre 1862 wurde in Norderdithmarschen an dem Südufer der Eidermündung der 1035 ha große Wesselburener Koog eingedeicht. Wie ein breiter Buhnenkopf schiebt sich der Koog nach Westen hin in die Nordsee vor (Abb. 1). Auf seiner Nordseite wird er von der hier in die Nordsee einmündenden Eider hart bedrängt, deren Lauf in der Mündungsstrecke von jeher leicht zu Bettverlagerungen neigte. Bei der Deichführung des Kooges wurde der neue Seedeich so weit landeinwärts von der damaligen Vorlandkante verlegt, daß noch ausgedehnte grüne Vorländereien außendeichs verblieben. An der Nordwestecke des neuen Kooges konnte man am sogenannten Hundeknöll das grüne Vorland noch am Ende des 19. Jahrhunderts in einer Tiefe bis zu rund 1000 m vom Seedeich antreffen (Abb. 2). Die exponierte Lage des Kooges führte jedoch bald zu erheblichen Verlusten des Außenvorlandes. An der Nordseite des Kooges mußte gegen die andrängende Eider das Vorland vor dem Seedeich um das Jahr 1927 durch Steindecken aus Basalt und durch schwere Basaltbühnen gegen weiteren Abbruch geschützt werden. In einer Länge von 3,20 km wurde allmählich die Nordseite des Kooges bis zur Nordwestecke durch schwerste Steinbauwerke gesichert (Abb. 6).

An der Westfront des Kooges versuchte man, die Abbruchkante des Vorlandes in einer Entfernung von 60 bis 200 m vor dem Deich durch schräge Sodenabdeckung der Böschung und Anlage einer Buschlahnung entlang der Uferkante aufzuhalten. Davor erstreckte sich seewärts ein System von Landgewinnungswerken der üblichen Bauart und Abmessungen (Abb. 3). Bei den kräftigen Längsströmungen vor dem Ufer, die bei Flut und Ebbe durch den starken Wasseraustausch zwischen dem Wesselburener Watt und dem Eiderfluß veranlaßt wurden, konnte die Aufgabe der Landgewinnungswerke weniger darin bestehen, neues Vorland zu schaffen, als vielmehr den sandigen und beweglichen Wattboden festzuhalten, einen Abtrag des Wattbodens vor dem Ufer zu verhindern und den Wellenangriff auf die Vorlandkante zu mildern.

Doch war der Seeangriff auf die Westseite des Kooges so erheblich, daß Schäden an der Uferkante und ihre Wiederinstandsetzung von Jahr zu Jahr steigende Unterhaltungskosten erforderten. So reifte vor Beginn des zweiten Weltkrieges der Entschluß, durch den Bau einer rund 2 km langen, senkrecht zum Ufer und etwa in der Mitte der Westfront des Kooges gelegenen Abweishühne die lästige Küstenströmung vom Ufer abzulenken und ruhigere Verhältnisse zu schaffen. Auch hoffte man, dadurch den weiteren Bau eines kostspieligen Steindeckwerks als Uferschutz möglichst zu ersparen.

Der Ausbruch des zweiten Weltkrieges veränderte die Lage im Küstenschutz an der Westküste Schleswig-Holsteins sehr bald zu ihrem Nachteil. Der harte Eiswinter 1939-40, verbunden mit ungewöhnlich ungünstigem Zusammentreffen meteorologischer Verhältnisse, führte bei Eintritt des Tauwetters dazu, daß die Buschlahnungen der Landgewinnungswerke vor der Westküste durch eine festgefrorene starke Grundeisdecke emporgehoben und herausgezogen

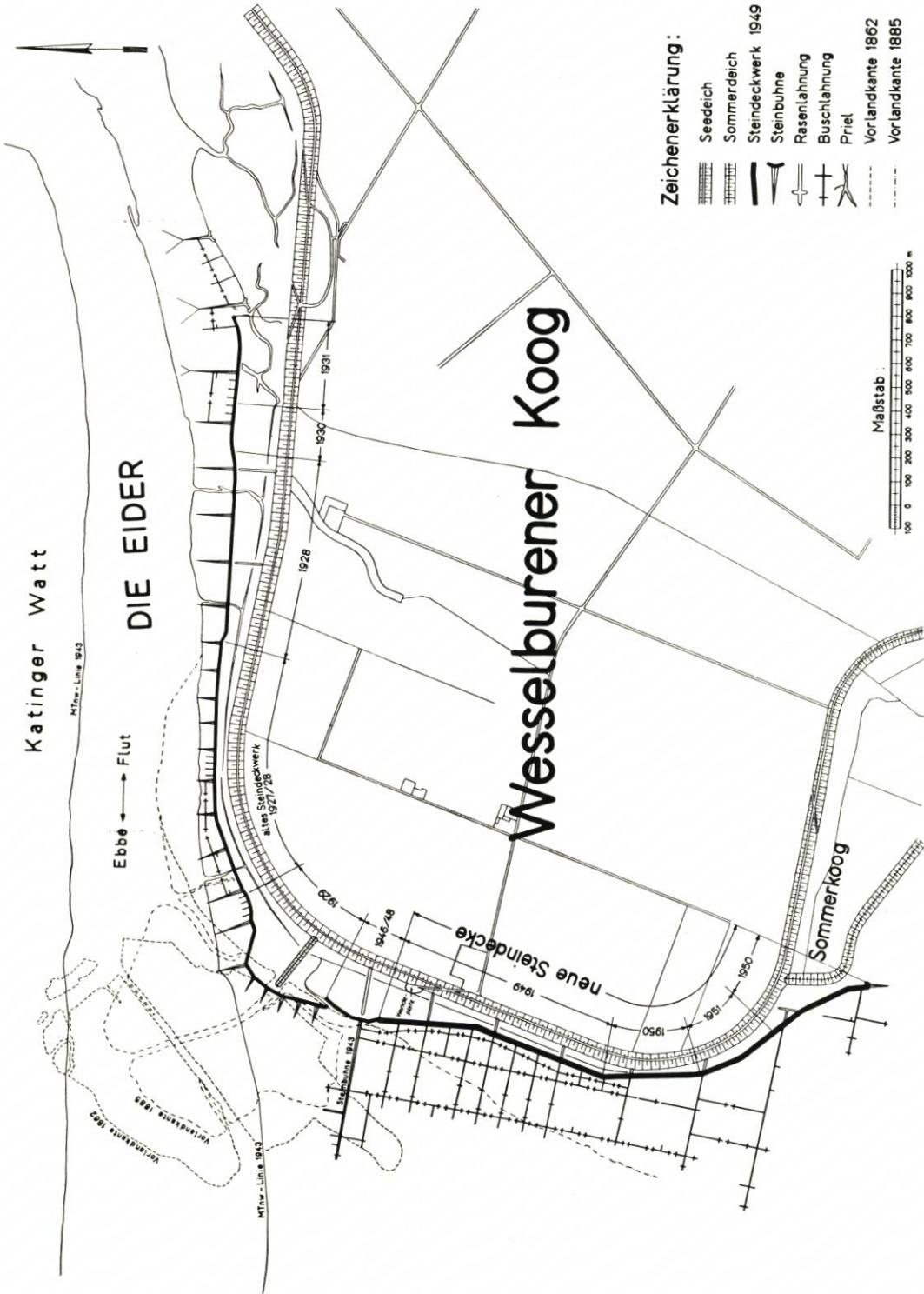


Abb. 2. Uferschutzwerke des Wesselburener Kooges

wurden. Die auswärtige Dienstverpflichtung der Restbelegschaft des Marschenbauamts Heide verhinderte eine schnelle Instandsetzung der halb herausgezogenen Werke durch Nachrammen, und so wurden in den anschließenden Wochen die Werke bzw. deren Buschfüllungen ein Opfer des Seegangs. In den folgenden Kriegsjahren war jede Möglichkeit zur Ausbesserung und

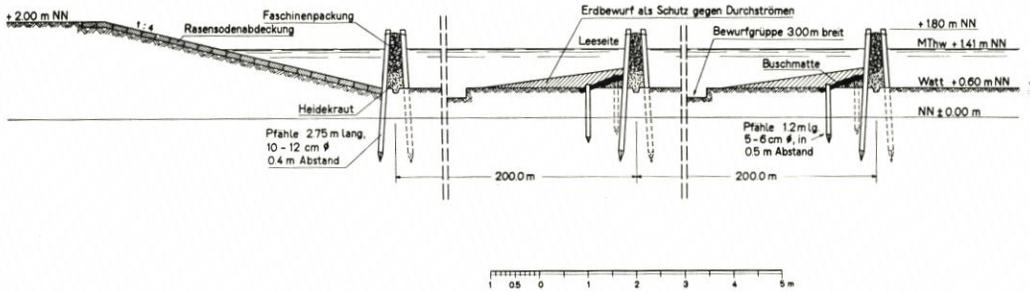


Abb. 3. Uferschutz der Westseite des Wesselburener Kooges durch Längslahnung an der Vorlandkante und Landgewinnungsfelder vor dem Ufer. Zustand bei Kriegsausbruch 1939

Wiederherstellung der Werke genommen, und so konnte sich auch vor dem Wesselburener Koog der Wellenangriff nunmehr ungehemmt durch die dämpfende Wirkung der Landgewinnungsfelder voll auf die weiche Uferkante im Westen des Kooges auswirken.

In steigendem Maße traten bei kleineren Sturmfluten Uferleinbrüche auf einzelnen Strecken auf. Mit großer Mühe wurden die Abbrüche mit Boden aufgefüllt, mit Soden abgedeckt und nur die Längslahnung davor instandgehalten, ohne jedoch vermeiden zu können, daß in kurzer Zeit Einbrüche erneut auftraten (Abb. 4).

Nach der Kapitulation im Jahre 1945 traten statt der erwarteten Besserung neue Schwierigkeiten hinzu. Die Übervölkerung des Landes Schleswig-Holstein durch Gefangenenlager und Flüchtlinge führte in der holzarmen Marsch dazu, daß die frierende Bevölkerung die noch vorhandenen hölzernen Restbestände an Schutzwerken plünderte. Holzpfähle und anderes Baumaterial wurden für Küstenschutz nicht zur Verfügung gestellt, und so bildete sich auf der gesamten Länge des Westdeiches eine steile Abbruchkante im Vorland aus, die unaufhaltsam weiter zurückwich und sich dem Deich immer mehr näherte. Hierdurch entstand für den See- deich auf der Westseite des Kooges eine sehr ernste Gefahr. Die Wiederherstellung einer Uferbefestigung in der alten Form durch Auffüllung der Einbrüche war innerhalb der wenigen verfügbaren Sommermonate auf der 2 km langen Abbruchstrecke kräftemäßig und wegen der fehlenden Baustoffe — der Vorrat an Salzwassersoden war bei dem schmalen Vorlandstreifen ohnehin zu gering — nicht durchführbar und mußte wegen der geringen Lebensdauer dieser Ausbesserungen jetzt als sinnlos erscheinen. Es war also nur noch eine Frage der Zeit, bis die Abbruchkante den Deichfuß erreichen und den Seedeich vom Fuß her zum Einsturz bringen würde, falls es nicht gelang, durch ein Steindeckwerk den Deichfuß zu sichern und den Koog vor der Zerstörung zu retten. Erst die Währungsreform im Sommer 1948 schuf die Voraussetzungen dafür, an der Küste endlich wieder planvolle Bauarbeiten durch die öffentliche Hand auszuführen. Dabei zeigte sich sofort, daß das finanzschwache Land Schleswig-Holstein nicht in der Lage war, die notwendigen dringendsten Aufgaben zur Beseitigung der Gefahrenquellen an der Westküste aus eigener Kraft auszuführen. Ein Notruf der Wasserwirtschaftsverwaltung führte wenige Wochen nach der Währungsreform zu einer mehrtägigen Bereisung der Westküste durch den Länderrat. Die Demonstration der kritischen Lage an der Westküste, insbesondere die Besichtigung des gefährdeten Seedeichs am Wesselburener Koog, mußte



Abb. 4. Einbrüche in das Vorlandufer an der Westseite des Wesselburener Kooges als Folge einer kleinen Sturmflut. Rechts die Schutzlahnung am Fuße der abgeschrägten besetzten Vorlandböschung
Bildarchiv 47/26 — 29. 10. 1943

Sämtliche Fotos: Bildarchiv Marschenbauamt Heide, Aufnahmen W. Bothmann

auch die Vertreter der süddeutschen Staaten so stark beeindrucken, daß sie entscheidend dazu beitrug, die Verpflichtung aller deutschen Länder zur sofortigen Mithilfe beim Küstenschutz der Nordsee erkennen zu lassen. Diese Hilfe wurde nun auch schnell herbeigeführt.

Im folgenden Frühjahr 1949 konnte bereits der Bau eines Steindeckwerks dank der Bereitstellung von Mitteln durch die damalige Bizonenverwaltung in Angriff genommen werden.

II. Möglichkeiten für die Sicherung des Seedeichs

1. Die besonderen Verhältnisse an der Dithmarscher Küste

Im allgemeinen kommen im Wattenmeer an der Westküste Schleswig-Holsteins zwei Methoden in Frage, um einen im Angriff liegenden Seedeich gegen Unterspülung zu schützen. Diese Gefahr droht dann, wenn der Vorlandstreifen zwischen dem Seedeich und dem tiefen Watt so schmal geworden ist, daß die Abbruchkante des Vorlands sich dem Deichfuß nähert.

Nach Möglichkeit versucht man, rechtzeitig durch Landgewinnungsbauten den Angriff auf die Uferkante aufzuhalten, die Wattflächen davor durch Auflandung aufzuhöhen, zu begrünen und somit durch neues grünes Vorland einen ausgedehnt breiten Sockel vor dem Seedeich zu schaffen. Diese elastische, flächenhafte Methode der Landgewinnung hat den Vorteil, daß die Nutzung von grünem neuen Vorland gleichsam als Nebenprodukt anfällt. Kennzeichnend für diese Methode des Deich- bzw. Küstenschutzes ist der bekannte Satz, daß Landgewinnung der beste und billigste Küstenschutz ist [BOTHMANN (1)].

Ist der Abbruch so weit zum Seedeich vorgeschritten, daß durch starken Seeangriff oder zu tief gelegenes sandiges Watt diese Methode nicht mehr zum Ziel führt, so bleibt nur eine starre lineare Verteidigung der Deichlinie übrig. Der Übergang von der grünen Vorlandkante bzw. von der Deichberme zum tiefen Watt muß durch eine Steinböschung überbrückt werden.

Nun boten die Kriegs- und Nachkriegsjahre durch die Drosselung der Bautätigkeit und Unterhaltungsarbeit und durch eine Fülle von kleineren Sturmfluten, die für die Uferkanten besonders schädlich sind, ausreichend Gelegenheit, Vor- und Nachteile dieser beiden Systeme zum Schutz der Seedeiche zu beobachten. Nach Zerstörung der Landgewinnungswerke war dieses besonders deutlich im Dithmarscher Raum der Küste zu erkennen, der wegen des hohen Sandanteils der Watten und Vorländereien sehr empfindlich ist. Veränderungen gehen hier schneller vor sich als in Küstenstrecken mit bindigem Bodenmaterial und stärkerem Kleianteil. Störungen in der Durchführung der jährlichen Unterhaltungsarbeit führen daher schnell zu gefährlichen Schadensstellen. Die Empfindlichkeit der Dithmarscher sandigen Watten trat besonders eindrucksvoll hervor am Beispiel des Trischenkooges, dessen Zerstörung im Jahre 1943 zwar seit 1936 als unvermeidlich angesehen wurde, doch nicht in so kurzer Zeit und so vollständig erwartet worden war [WOHLENBERG (3)].

Es ist während des zweiten Weltkrieges und in den darauf folgenden Jahren an einigen kurzen Strecken der Dithmarscher Bucht gelungen, dort, wo in ähnlicher Weise wie am Wesselburener Koog ein schmaler Vorlandstreifen durch das Fehlen der zerstörten Landgewinnungswerke zum Abbruch kam und die Abbruchkante sich dem Deichfuß näherte, den Bau neuer, teurer Steindecken zum Schutz der gefährdeten Deichstrecken durch örtliche Landgewinnungswerke zu vermeiden. Durch besondere Ausnahmegenehmigungen wurde das Marschenbauamt Heide in die Lage versetzt, vor diesen Gefahrenstellen Landgewinnungswerke in dichtem Netz herzustellen, um die Tendenz zum Abbruch der Vorlandkante und zur Vertiefung des Wattbodens nicht nur aufzuhalten, sondern in kurzer Zeit einen Anwuchs in den neuen Feldern hervorzurufen. Diese Notmaßnahmen führten auch schnell zum Erfolg, und in überzeugender Weise kam an solchen Stellen die Bedeutung der Landgewinnung für den Ufer- und Deichschutz zur Darstellung. Für den Wesselburener Koog kam dieses Verfahren, durch Landgewinnungsanlagen allein den Vorlandabbruch kurz vor dem Deichfuß noch aufhalten zu wollen, nicht mehr in Frage. Einmal hätte es bei dem harten Angriff an dieser Stelle nicht zum vollen Erfolg geführt, und die Wirkung der Landgewinnungsfelder wäre bei dem Fortschreiten der Deichgefährdung auch zu spät eingetreten. Es konnte daher nur noch die schnelle Herstellung eines Steindeckwerkes die Gefahr für den Seedeich abwenden.

Die veränderten wirtschaftlichen Verhältnisse und die Beobachtungen an den bisher üblichen Steindeckwerken, deren Unterhaltsarbeiten während der Kriegsjahre zu erheblichen Schwierigkeiten geführt hatten, gaben den Anlaß, bei der Planung von der Bauart früherer Steindecken an der Westküste abzuweichen. Es soll daher auf die Überlegungen, die zu einer neuen Bauweise am Wesselburener Koog führten, näher eingegangen werden.

2. Die Nachteile der alten Uferdeckwerke

Die an der Westküste Schleswig-Holsteins seit etwa hundert Jahren errichteten Steindeckwerke sind durchweg nach dem gleichen Schema gebaut worden. Eine verhältnismäßig steile Böschungsneigung bildet den Übergang vom tiefen Watt zur Höhe der Vorlandkante bzw. der Deichberme. Auf einer Unterlage von Grand sind große Feldsteine verlegt, die gewöhnlich durch Fischen von Findlingen aus den Steingründen in der Ostsee gewonnen worden waren (Abb. 5). In neuerer Zeit sind teilweise statt der Findlinge entweder Basaltsäulen oder auch behauene Granitsteine im Verband gesetzt worden (Abb. 6). Aus dem Bedürfnis, die Kosten dieser relativ teuren Bauwerke nicht zu hoch ansteigen zu lassen und an Steinen zu sparen, erklärt sich die steile Böschung und der hinter der Oberkante der Steinböschung unmittelbar anschließende Vorlandrasen. Als Nachteil dieser Uferböschung tritt hier bei Hochwasser eine starke Brandung und als Folge davon eine häufige Beschädigung der Rasendecke durch die aufschlagende Welle auf. Durch Höherführung der Steinböschung über die Vorland-

höhe um rund 20 bis 30 cm hat man häufig versucht, die Hintersodung dem Wellenangriff besser zu entziehen in der Absicht, durch die Überhöhung eine Art Wasserpolster zur Dämpfung des Wasserangriffs zu erreichen. Die Wirkung dieses sogenannten Wasserpolsters, bei dem stärkere Strömungen der rücklaufenden Wellen auftreten, ist jedoch umstritten, so daß teilweise dieser Höhenunterschied zwischen Überhöhung der Steinkante und der Hintersodung durch Umbauten wieder beseitigt worden ist.

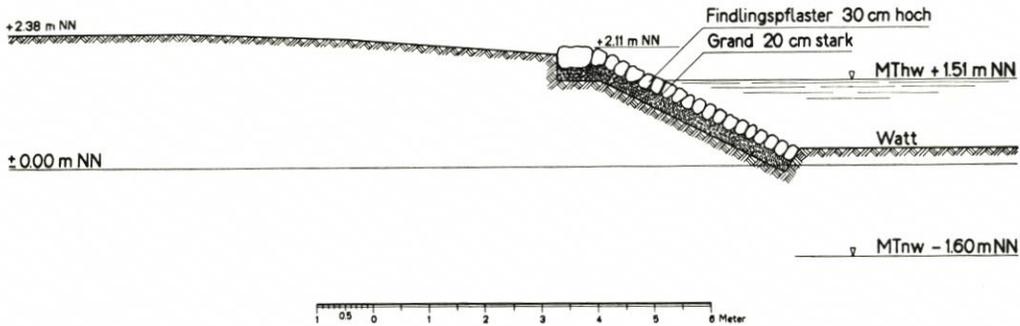


Abb. 5. Steindeckwerk älterer Bauart

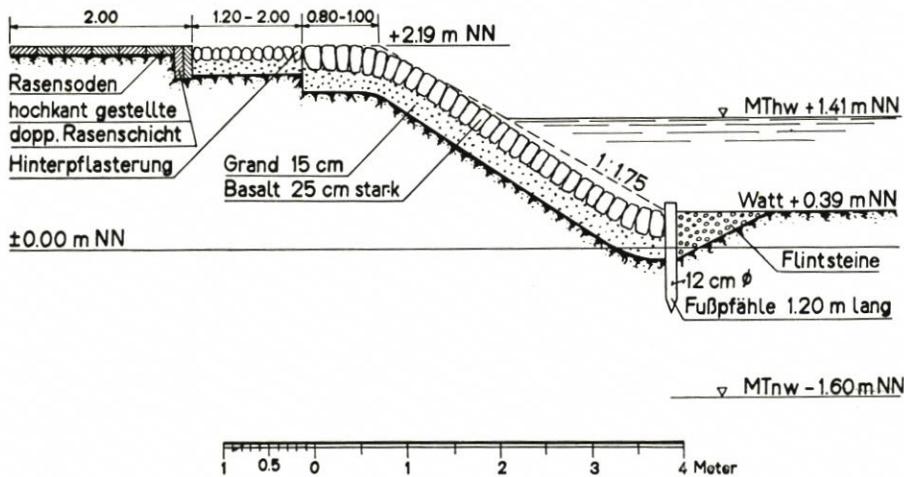


Abb. 6. Steindeckwerk aus Basaltpflaster auf der Nordseite (Eiderufer) des Wesselburener Kooges. Das Deckwerk ist nachträglich wegen Schäden an der Hintersodung oben verbreitert worden

Die Nachteile dieser Steindecken zeigten sich in besonderem Maße im Verlaufe des zweiten Weltkrieges. Bei Steindecken mit steiler Böschung zeigt sich die Tendenz, daß die Brandung und rücklaufende Welle leicht zur Vertiefung des Watts und zur Bildung von Rinnen bzw. Prieln vor dem Fuß der Steindecke führen. Dieser Tendenz war in Friedenszeiten dadurch begegnet worden, daß vor den Steindecken entweder Landgewinnungsfelder oder senkrecht zur Steindecke angeordnete Buhnen aus Stein oder Busch angeordnet waren. Der rasche Verfall dieser Anlagen in den ersten Kriegsjahren verstärkte nicht nur den Angriff auf den Fuß der Steindecken durch Prielbildung und Vertiefung des Watts, er verstärkte auch den Wellenangriff auf die obere Hintersodung, da die dämpfende Wirkung der Buschlahnungen nun fortfiel. Als Folge zeigten sich allmählich recht unangenehme größere Zerstörungen des Rasens hinter den Steindecken, die von tiefen Bodenauswaschungen begleitet waren und

den vorher geschilderten Zerstörungen am Ufer des Wesselburener Kooges wenig nachstanden (Abb. 8). Die Ausbesserung dieser Schäden, die Heranschaffung neuer Soden — bei der Knappheit an Soden zum Teil aus weiten Entfernungen — war außerordentlich mühsam und teuer. Es wurde dabei die Beobachtung gemacht, daß bei gleichen Voraussetzungen für den Wellenangriff das Ausmaß der Zerstörungen hinter der Steindecke nicht unwesentlich von der Höhenlage des Vorlandes und damit von der Höhe der Oberkante des Steindeckwerks abhängig war. Je höher Vorland und Steindecke lagen, um so geringer waren die Schäden, wobei verhältnismäßig geringe Höhenunterschiede bereits eine wichtige Rolle spielten. Von den in der Nähe des Wesselburener Kooges gelegenen Steindeckwerken zeigte der Hedwigenkoog mit einer Höhe der Oberkante Steindecke auf + 2,00 m NN die stärksten Schäden, etwas geringer waren sie vor dem Nordgrovener Sommerkoog mit der Höhenlage + 2,28 m NN (Abb. 8), während auf der Steindecke nördlich von Büsum mit + 2,90 m Höhe auf eine Ausbesserung der Sodendecke jahrelang verzichtet werden konnte.

3. Der Bauentwurf des neuen Steindeckwerks

Diese Erfahrungen hinsichtlich der teuren Unterhaltungskosten und Ausbesserungen an bestehenden Steindecken ließen es nicht ratsam erscheinen, auf einer Strecke von 2,4 km die alte Bauweise erneut anzuwenden, um so weniger, als die Vorlandhöhe vor dem Wesselburener Seedeich mit durchschnittlich + 2,00 m NN so niedrig war, daß die Anwendung der früheren

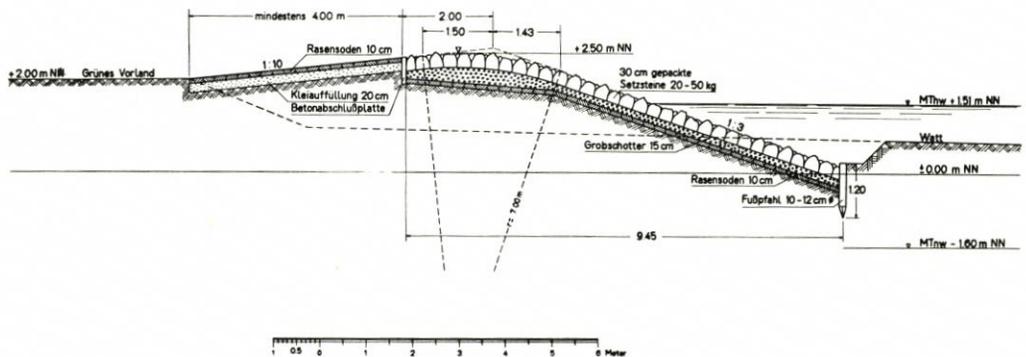


Abb. 7. Neues überhöhtes Steindeckwerk aus Setzsteinen auf der Westseite des Wesselburener Kooges. Baujahr 1949—51

Bauart große Unterhaltungsarbeiten erwarten ließ. Es wurde daher ein neues Steindeckenprofil gewählt, bei dem die Steinoberkante bis zur Höhe + 2,50 m NN überhöht wurde (Abb. 7). Diese Erhöhung gegenüber der natürlichen Vorlandhöhe bedingt ein rückwärtiges Gefälle der Hintersodung als Übergang zum Vorlandrasen. Dieses rückwärtige Gefälle wird für vorteilhaft gehalten, da der unmittelbare Wellenschlag und horizontale Wasserangriff gegen die Hintersodung gemildert werden. Zugleich entsteht durch die Überhöhung bei Sturmfluten ein Wasserpolster in voller Vorlandbreite hinter der Steindecke.

Bei fallendem Sturmflut-Wasserstand würde die wie ein kleiner Sommerdeich wirkende Überhöhung der Steindecke dazu führen, daß die als Wasserpolster wirkende Überschwemmung des Vorlandes bestehen bleibt. Es waren daher Entwässerungsvorrichtungen vorzusehen, die das Grabensystem des Vorlandes durch die Steindecke hindurchführen. Hierzu wurden vorsichtshalber Rohrdurchlässe angeordnet, da bei offenen Gräben die Unterbrechung der Steindecke leichter zu Beschädigungen der Hintersodung führen kann. Die Rohrdurchlässe weisen Abstände von rund 300 m auf und sind zwischen Stirnmauern auf einer Grundplatte aus Beton verlegt. Diese offenen Rohrdurchlässe dienen nicht nur einer schnellen Entwässerung des Stauwassers auf dem Vorland unter Vermeidung eines stär-

keren Gefälles bei fallendem Außenwasser; sie sind zugleich in der Lage, bei steigendem Hochwasser eine allmähliche und daher un sch ä d l i c h e Überflutung des Vorlandes mittels des Grabensystems herbeizuführen. Sobald das Außenwasser die Kronenhöhe der Steindecke erreicht hat und der Wellenschlag das Deckwerk überströmt, ist das Vorland bereits r ü c k w ä r t i g durch die Durchlässe mit Wasser voll aufgefüllt, so daß sich der Schlag der Wellen nicht auf die grüne Sodendecke auswirken kann. Nur die rückwärts geneigte Übergangsstrecke zwischen Steindecke und Vorlandhöhe liegt in etwa 3 m Breite noch trocken, sobald das erste Außenwasser das Steindeckwerk überströmt (Abb. 15).

Der Hauptwert bei dem Entwurf des neuen Steindeckwerks wurde jedoch darauf gelegt, eine Brandungswelle an der Steindecke durch Querschnittsgestaltung und Schaffung einer rauhen Steinoberfläche möglichst zu vernichten. Günstige Erfahrungen mit einem rauhen Deckwerk sind im Jahre 1938 auf einer Teilstrecke im Hedwigen Koog gemacht worden. Die früher gebauten Steindecken begünstigen durch glatte Oberfläche und durch steile Neigung das Auftreten einer Brandungswelle, deren Energie sich nicht nur auf das Steindeckwerk, sondern unangenehmer auf die weiche Hintersodung im Anschluß an das Deckwerk auswirken kann und zu den erwähnten umfangreichen Schäden führt.

Das neue rauhe Deckwerk ist 1 : 3 geneigt, die Steindecke endet nicht am höchsten Punkt dieser Böschungsneigung, sondern ist binnenwärts um etwa 1,00 m verbreitert. Wichtig ist ferner die Ausbildung des Steinbelags. Steindecken aus Quadern, Feldsteinen oder Findlingen und Basalt zeigen eine verhältnismäßig glatte Oberfläche und begünstigen ein ungedämmtes Vorwärtsschießen der Welle. Die Verwendung von Basalt hätte sich sehr teuer gestellt. Bei der ungünstigen wirtschaftlichen Lage des überbevölkerten Landes Schleswig-Holstein schien es wünschenswert, Baustoffe zu verwenden, die im Lande selbst anfielen. Dafür kamen hauptsächlich die Endmoränenfelder an der Ostküste mit ihren Kiesgruben und Findlingen in Frage. Die Findlinge wurden so gespalten, daß sie bei einem Einzelgewicht von 20 bis 50 kg eine ebene Setzfläche aufwiesen und sich nach oben pyramidenartig verjüngten. Diese Setzsteine, vergleichbar einer Straßenpacklage in größerem Format, müssen in ihren Setzflächen eng versetzt werden und sollen eine sehr rauhe gezackte Oberfläche ergeben, die die schießende Bewegung der Welle abbremsst. Eine kurze, im Jahre 1943 ausgeführte Probestrecke am Wesselburener Koog hatte gezeigt, daß die Verzahnung der Steine so gut war, daß Bedenken hinsichtlich des Losspülens der Einzelsteine trotz des starken Seeangriffs an dieser Küstenstrecke nicht begründet waren.

Ein weiterer Vorteil der Setzsteindecke wird darin gesehen, daß bei Sackungen oder Ausspülungen die Decke so e l a s t i s c h ist, daß sie einsinkt und gegebenenfalls durch Nachpacken wieder aufgehöhht werden kann. Bei Basaltdecken dagegen hat sich häufig gezeigt, daß die gewölbeartige Verspannung der Basaltsäulen die Bildung von Hohlräumen unter der Decke bis zum Zeitpunkt des Einsturzes verschleiert und daß die Ausbesserung und Neuverlegung des Basaltpflasters sehr teuer wird. Es wurde daher bei der neuen Konstruktion im Interesse einer glatten Linienführung die Steindecke unbedenklich auch in a u f g e s c h ü t t e t e m Boden verlegt. Da die örtlichen Vorlandeindrücke zum Teil bis tief in die Nähe des Deichfußes vorgeschritten waren, schien es wünschenswert, die Linienführung nicht bis in den gewachsenen Boden an den Deich heranzulegen. Die neue Steindecke schloß daher auch im Auftrag wiederhergestellte Vorlandflächen — bis zu 65 m Tiefenausdehnung landwärts — ein.

Der sandige Boden an der Dithmarscher Küste gestattete es leider nicht, die Steindecke auf einer Kleiunterlage zu verlegen. Um Ausspülungen des Untergrundes der Decke zu vermeiden, wurde folgender Weg beschritten. Das Böschungsplanum wird mit einer Schicht von möglichst bindigen Grassoden sorgfältig abgedeckt, darauf wird eine 15 cm starke Schicht Schotter verlegt und sodann die Setzsteine versetzt (Abb. 9). Die Verwendung von Grand wurde nicht zugelassen, da dieser nach den Erfahrungen bei den alten Steindecken unter der Wirkung des Wellenganges auf der Böschung leicht abwärts rollt.

Der Fuß der Steindecke ist verhältnismäßig tief abwärts geführt, um auch für den Fall einer ungünstigen Entwicklung bei Vertiefung des Watts eine Freispülung des Steindecken-

Abb. 8
Zerstörungen hinter dem
durch Betonplatten ver-
breiterten Steindeckwerk
des Nordgrovener
Sommerkooges

Bildarchiv 137/3 — 1. 6. 1953



Abb. 9
Überhöhtes Stein-
deckwerk Wesselburener
Koog. Einbau der Setzsteine
auf Schotterunterlage

Bildarchiv 77/45 — 5. 7. 1949



Abb. 10
Überhöhtes Steindeckwerk.
Landseitige Abschlußplatten
aus Beton

Bildarchiv 84/10 — 7. 10. 1949



fußes zu vermeiden, wie sie während des letzten Weltkrieges häufig auftrat und zu neuen umfangreichen Fußverstärkungen führte. Eine Reihe Fußpfähle bildet den wattseitigen unteren Abschluß des Deckwerks. Die binnenseitige Verbreiterung der Steindeckenkrone erhält durch eine Betonplatte einen Abschluß gegen die Rasensoden (Abb. 10).

Die im rückwärtigen Gefälle an das Steindeckwerk anschließende Hintersodung erhält eine Unterbettung aus etwas bindigem Boden. Dieser mußte, ebenso wie die an der Baustelle nicht vorzufindenden fetten Rasensoden, vom südlichen Eiderufer aus einer mittleren Entfernung von rund 4 km durch Feldbahn herbeigeschafft werden (Abb. 11). Dieser Sodestreifen, der am längsten aus dem Wasser herausragt und bequem begangen werden kann, verleitet dazu, daß Unbefugte ihn als Transportweg für die Bergung von Strandgut, das sich an der Steindecke ansammelt, mißbrauchen und durch Fahrspuren beschädigen. Es wurden daher in kurzen Abständen aus alten unbrauchbaren Feldbahnschienen einfache Barrieren senkrecht zum Ufer landeinwärts der Steindecke errichtet, die ein Befahren und Beschädigen der Hintersodung durch Fahrzeuge verhüten (Abb. 13). Sie erschweren auch für die Schafe das Austreten eines Steiges dicht neben der Abschlußplatte, da gerade an dieser Stelle die Soden durch die bevorzugte Begehung durch Mensch und Tier am meisten leiden.

III. Die Bauausführung

1. Das neue Steindeckwerk

Aus finanziellen Gründen wurde der Bau des 2314 m langen Steindeckwerks auf drei Jahre verteilt. Im Norden des Kooges, wo der Abbruch am raschesten fortschritt, wurde der erste Bauabschnitt im Jahre 1949 begonnen, im folgenden Jahre mußte wegen des inzwischen schnell fortschreitenden Abbruchs im Süden des Kooges der Bau vom Süden begonnen werden. Die dazwischen verbliebene Lücke wurde im dritten Baujahr 1951 geschlossen. An Steinbaustoffen waren für die Gesamtstrecke etwa 14 000 t Setzsteine und 7000 t Schotter einzubauen. Da diese Steinstoffe von der Ostküste des Landes heranzubefördern waren, erschien es zweckmäßig, die gesamten Baustoffe mit dem Lastwagen zu befördern, da die Eisenbahnverbindungen zwischen Gewinnungs- und Verwendungsstelle nicht günstig waren. Der früher übliche Antransport auf dem Wasser bot keinen kostenmäßigen Vorteil. Es erschien vorteilhafter, von dem Wasserwege mit dem zugehörigen Bau einer Löschrücke ganz abzusehen und einen durchgehenden Kraftwagentransport von der Gewinnungsstelle der Steinbaustoffe bis zur Baustelle anzustreben. Statt des Baues einer Löschrücke an der Eider wurde daher im Anschluß an das feste Straßennetz des Kooges ein befestigter Feldweg zur Deichüberfahrt im Wesselburener Koog auf 700 m Länge einschließlich der Deichrampen und auf der Außenseite des Seedeichs ein Wendepfad für die Lastzüge ausgebaut. Auf diese Weise konnten die Lastzüge die Ladungen in die Feldbahnzüge im Außendeich umschlagen und die Feldbahnzüge, ohne den Deich überqueren und die Deichneigung überwinden zu müssen, den noch erforderlichen Längstransport auf dem Vorland bis zur Einbaustelle fortsetzen. Von den Zufälligkeiten des Wassertransports unabhängig geworden, konnte die Anfuhr der Baustoffe nunmehr nach dem gewünschten Zeitplan pünktlich vor sich gehen.

Die Bauarbeiten wurden zum Teil im Unternehmerbetrieb, zum Teil im Eigenbetrieb des Marschenbauamts durchgeführt.

Die Gesamtkosten des Steindeckwerks für 2314 m Länge einschließlich des Ausbaues von 3000 m Lahnungen, der Zufahrtsstraße und der umfangreichen Neubeschaffung von Feldbahnmaterial betragen rund 1 100 000,— DM, d. h. rund 475,— DM für 1 lfdm Steindeckwerk, die Kosten für den Bau der Steindecke ohne die Nebenanlagen betragen rund 344,— DM für 1 lfdm Steindeckwerk.

2. Die Aufgabe der Buschlahnungen vor der neuen Ufersicherung

Die neue Bauart des Steindeckwerks ließ zwar erhoffen, daß durch die flachere Neigung und die raue Oberfläche der Wellenangriff und auch die Tendenz zur Bildung einer

Wattvertiefung (Prielbildung) längs der Steindecke gehemmt werden würde, jedoch schien es bei der Längsströmung vor der Uferkante, wie sie allein schon durch den lebhaften Wasseraustausch von und zum Eiderfluß bewirkt wird, nicht ratsam, auf die schnelle Wiederherstellung eines Netzes von Landgewinnungsfeldern vor der neuen Steindecke ganz zu verzichten.

Um die Nordwestecke des Kooges herum hatte sich während der Kriegsjahre ein Priel vor dem alten Basaltdeckwerk gebildet. Das vorhandene System von schweren Basaltbuhnen davor hatte zwar verhütet, daß der Priel sich bis an den Fuß der alten Basaltsteindecke heranschieben konnte, jedoch hatte sich der Priel vor den Köpfen der Buhne ausgebildet und drohte die Buhnen allmählich freizuspülen. Zur Beseitigung dieser Gefahr mußte trotz der Schwierigkeiten für die zivile Bautätigkeit im Jahre 1943 eine rund 600 m lange Abweibuhne senkrecht zum Ufer angelegt werden, wobei der entstandene Priel durchdämmt wurde. In den folgenden Jahren trat die erwartete Beruhigung durch dieses Bauwerk an der Nordwestecke auch ein. Links und rechts von der Wurzel dieser Buhne wurden zur Vermeidung eines Abreißens der Buhne durch Hinterspülung die bereits erwähnten Probestücke eines Deckwerks aus Setzsteinen hergestellt.

Es schien nach diesen Erfahrungen mit der Wattvertiefung vor der Uferlinie also ratsam, vor der neuen Steindecke ein Netz von Landgewinnungsfeldern wiederherzustellen. Bei dem Neubau wurde jedoch dieses Netz im Grundriß wesentlich enger gestaltet als es bei ausgesprochenen Landgewinnungsfeldern sonst üblich ist. Sinn und Zweck dieser Felder bestand in erster Linie darin, den durch Sturmfluten und Brandung aufgewühlten Sand festzuhalten und zu verhindern, daß er durch eine Küstenströmung eiderwärts weitergetragen wurde. Die Größe der neuen Felder beträgt etwa 1 bis 6 ha, an der Uferkante mit 50×100 m² Feldgröße beginnend.

3. Versuchsstrecken für Bitumenbauweise

Die rein sandige Beschaffenheit des Watts und des Vorlandes im Dithmarscher Raum macht es erforderlich, sich beim Bau von Steindeckwerken gegen eine Auswaschung des Böschungsplanums für das Steindeckwerk zu schützen. Die dazu bisher häufig verwendete Lage von einer oder zwei Schichten Rasensoden unter einer Schotter- oder Grandschicht ist nicht beständig und schließt Schäden nach dem Zerfall der Soden nicht aus. Beim Bau des Steindeckwerks im Wesselburener Koog mußten — wie erwähnt — brauchbare Soden aus rund 4 km Entfernung herangeschafft werden. Hinzu kommt, daß die Rasensoden durch den Ausfall von Landgewinnungsarbeiten seit 1939 und den dadurch verursachten Landabbruch auf weiten Strecken des Bauamtsbezirks sehr knapp geworden sind und bereits für die laufende Deichunterhaltung teilweise aus größeren Entfernungen und fremden Deichabschnitten beschafft werden müssen.

Es wäre erwünscht gewesen, für die Abdichtung der Böschung gegen die auflagernde wasserdurchlässige Steindecke statt der Sodendecke eine andere Isolierschicht zu verwenden. Nach den bisherigen widersprechenden Ergebnissen mit Teer- und Asphaltbezügen an der Nordsee war das Risiko jedoch nicht vertretbar, für die gesamte Deckwerkslänge neue Verfahren von Isolierungen anzuwenden. Um so mehr erschien es geboten, anlässlich des Neubaus dieser Steindecke auf kurzen Probestrecken Versuche mit diesen Verfahren durchzuführen, um für spätere Neubauten ihre Brauchbarkeit beurteilen zu können.

Die Schwierigkeit der Ausführung von Schwarzdecken an der Nordseeküste liegt darin, daß der Fuß dieser Bezüge in einem Bereich hergestellt werden muß, wo durch den Tidewechsel nur wenige Stunden lang das Salzwasser bei Niedrigwasser abwesend ist, und daß diese Zeit zur Herstellung des Belages ausreichen muß, bevor das Wasser wieder ansteigt. Schon die Rammung der Fußpfähle und die Herstellung des Böschungsplanums in dem wassergesättigten feinen Sandboden im unteren Teil bereitet Schwierigkeiten. Diese werden gesteigert, wenn zusätzlich Schwarzbeläge hergestellt werden sollen und Regen oder Westwindwetterlagen mit höheren Wasserständen die Arbeitszeiten noch weiter verkürzen.



Abb. 11
Überhöhtes Steindeckwerk.
Hintersodung wird mit
landseitigem Gefälle verlegt

Bildarchiv 84/11 — 7. 10. 1949

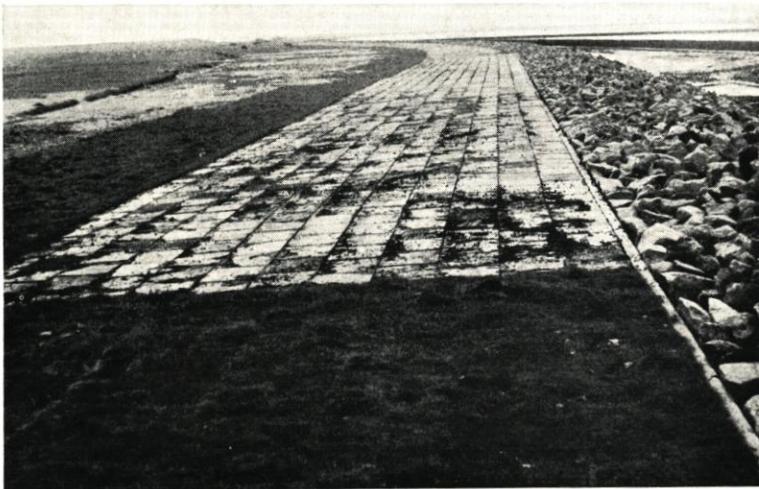


Abb. 12
Versuchsstrecke mit
Gußasphaltplatten
als Ersatz für Rasensoden

Bildarchiv 103/27 — 11. 9. 1951



Abb. 13
Fertig verlegtes überhöhtes
Deckwerk aus Setzsteinen.
Rechts Barrieren zur Ver-
meidung von Sodenschäden
durch Längsverkehr

Bildarchiv 112/24 — 4. 2. 1952

Die Bedingungen für die Herstellung derartiger Decken für Uferschutzwerke an der Nordsee sind somit weit schwieriger als an Stellen, wo eine trockene Baugrube zur Verfügung steht oder Sicherungen nur für seltene hohe Wasserstände (Ostsee) zu treffen sind.

Als Isolierschicht auf dem Böschungsplanum wurden eingebaut:

- a) Sandgußasphaltplatten, 3 cm stark, mit Sandgußasphaltmatten am Fuß,
- b) Mastixeingußdecken, 10 cm stark,
- c) fertige Gußasphaltplatten von 40×40 cm² Größe mit Fugenverguß.

Die Knappheit an Salzsoden zum Ausbessern der Hinterdeckung im Anschluß an die Steindecke und deren häufige Zerstörung an den vorhandenen alten Steindeckwerken gab Anlaß, die Asphaltbauweise auch als Ersatz für die Rasensoden hinter der Steindecke versuchsweise auszuprobieren. In 4 m Breite wurden hier ebenfalls Abdeckungen in Sandgußasphalt, Mastixeingußdecken und Gußasphaltplatten ausgeführt (Abb. 12). Ihre Bauausführung war wesentlich einfacher, da sie oberhalb der MThw-Grenze im Trocknen vor sich gehen konnte. Auf die Einzelheiten der verschiedenen Versuchsausführungen soll hier nicht näher eingegangen werden. Ein Teil der Versuche ist von Dr.-Ing. HENNEKE (2) ausführlicher dargestellt.

IV. Bisherige Ergebnisse der neuen Bauart des Steindeckwerks

Soweit es sich bisher übersehen läßt — der erste Teil des Deckwerks ist seit Herbst 1949 fertig —, sind die Erwartungen, die an das neue Steindeckwerk geknüpft wurden, voll erfüllt worden. Bei Sturmfluten bestätigte sich, daß die Überflutung des Vorlandes durch Einstau in die Durchlässe und das Grüppensystem so schnell vor sich geht, daß zum Zeitpunkt des Überströmens der Steindecke nur noch ein Streifen von rund 3 m Breite der Hintersodung aus dem Wasser ragt (Abb. 15).

Irgendwelche Sodenschäden sind an der Hintersodung bisher nicht aufgetreten, der frisch angegedeckte Sodenstreifen hinter der Steindecke zeigt gute Wüchsigkeit. Dieses dürfte auf die erwartete und eingetretene Dämpfung der aufschießenden Welle an der rauhen Steindecke zurückzuführen sein.

Abbildung 14 vermittelt einen Eindruck von der Brandung, wie sie an einem steilen Steindeckwerk aus Basalt an der nordwestlichen Ecke des Kooges bei einer kleinen Sturmflut auftrat (27. 10. 1949).

Die zum gleichen Zeitpunkt aufgenommene Brandung an dem südlich davon anschließenden überhöhten Deckwerk mit flacher Böschung aus Setzsteinen (Abb. 15) zeigt, daß hier der Wellenangriff auf das Deckwerk und die Hintersodung wesentlich geringer ist.

Schäden an der Steinböschung sind durch Sturmfluten nicht eingetreten. Sofern vereinzelt kleine Steine, die sich lose oder zum Verzwicken oben auf den Setzsteinen befanden, durch Wasser landeinwärts auf die Sodendecke gespült wurden, wurden diese nach der Sturmflut mühelos im Vorbeigehen aufgesammelt und wieder zurückgeworfen.

Unterhaltungsarbeiten für die fertigen Strecken sind bisher nicht angefallen. Größere Sturmfluten sind in den letzten Jahren zwar nicht eingetreten, es hat sich jedoch gezeigt, daß für die Uferschutzwerke weniger die großen Sturmfluten, als vielmehr die um so zahlreicheren kleinen Sturmfluten von 1 bis 1,5 m Höhe über MThw von Bedeutung sind, da in diesem Höhenbereich durch die Brandung die Beschädigungen an der Uferkante des Vorlandes und den Schutzwerken hervorgerufen werden und die Angriffswirkung bei den kleinen Fluten stundenlang anhält. Derartige Fluten sind — seit dem Bau der ersten Teilstrecke bis Anfang 1954 — 40mal aufgetreten.

Das vor der Steindecke errichtete enge Netz von Buschlammungen als zusätzliche Einrichtung zur Verhinderung des Abtrages von Wattboden hat sich in der kurzen Zeit des Bestehens bereits vorteilhaft ausgewirkt. Es wurde beobachtet, daß nach einer Sturmflut die nordwärts zur Eider gerichtete Küstenströmung in den Feldern den Sand so verlagert hatte, daß bei den senkrecht zum Ufer angeordneten Lammungen der Sand auf der Südseite aufge-

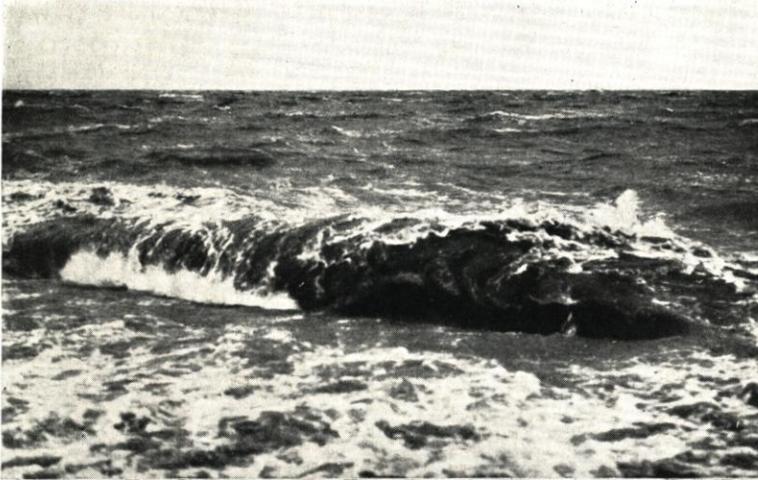


Abb. 14
Sturzwellen bei überspültem
Vorland an der Böschung
eines Basaltdeckwerks
nördlich der Neubaustrecke
des Wesselburener Kooges

Bildarchiv 86/3 — 27. 10. 1949

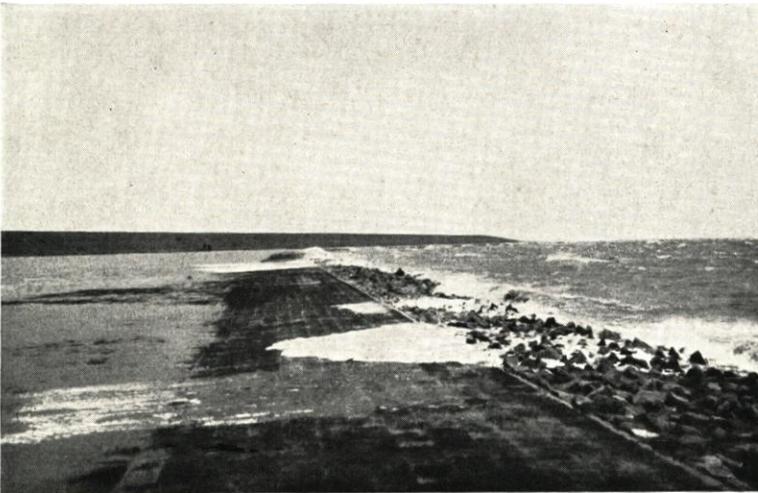


Abb. 15
Brandung vor dem über-
höhten Setzstein-
deckwerk. Die Auf-
nahme ist zum gleichen Zeit-
punkt wie die in Abb. 14
dargestellte nördlich an-
schließende Basaltstrecke
hergestellt. Der Schaum der
ersten Wellen läuft über die
Deckwerkskrone. Das Deich-
vorland ist durch rück-
wärtigen Einstau über Rohre
und Entwässerungsgruppen
bereits überflutet

Bildarchiv 86/45 — 27. 10. 1949

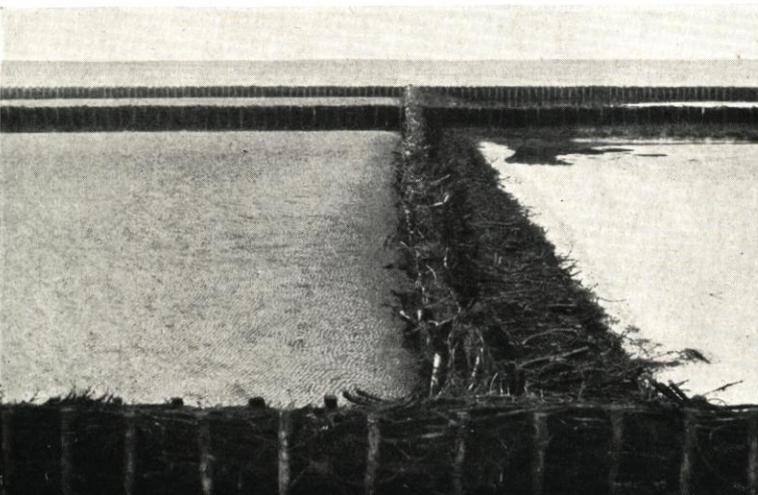


Abb. 16
Sandfangende Wirkung der
engmaschigen Lahnungs-
felder vor dem neuen Stein-
deckwerk nach einer Sturm-
flut. Der bei einer Sturmflut
aufgewühlte Sand ist bei der
nordwärts (von links nach
rechts) gerichteten Strömung
zur Eider hin vor der senk-
recht zur Steindecke ange-
ordneten Buschlahnung ab-
gelagert worden. Watthöhe
liegt links der Lahnung 30
bis 40 cm höher als rechts

Bildarchiv 87/11 — 14. 11. 1949

halten wurde und sich so ein Höhenunterschied von 30 bis 40 cm im Watt nördlich und südlich der Lahnungen gebildet hatte (Abb. 16). Die auflandende Wirkung der Felder ist heute bereits deutlich zu erkennen an der Auflandung des Fußes der Steindecke und an dem längeren Trockenfallen der Felder bei Ebbe und Flut im Vergleich zu den vorgelagerten Wattflächen.

Wenn sich das neuartige rauhe Deckwerk aus Setzsteinen bisher auch ausgezeichnet bewährt hat, so kann ein endgültiges Urteil doch erst nach längeren Jahren gefällt werden. Die dabei gewählte flache Neigung und Überhöhung des Steindeckwerks führt zwar zu einer Vergrößerung der mit Steinen zu versehenden Deckwerksfläche je lfdm Ufer. Diese Mehrkosten werden aufgehoben durch die billigeren Setzsteine. Das Hauptziel der Anordnung liegt jedoch darin, die laufenden U n t e r h a l t u n g s k o s t e n durch Erneuerung der Hintersodung gegenüber den bisher gebräuchlichen Ausführungen zu verringern. Gelingt dieses, so könnten auch höhere Herstellungskosten in Kauf genommen werden.

Die Dithmarscher Küste erscheint für die Erprobung der neuen Bauweise deswegen besonders geeignet, weil sie infolge der sandigen Beschaffenheit der Watten leicht empfindlich ist und sich nachteilige Veränderungen schneller bemerkbar machen als an Küstenstrecken mit bindigem Boden, wo man — das gilt z. B. auch für die Technik der Landgewinnung — „robuster“ vorgehen kann.

Es überrascht auch den Kenner der Küste immer wieder, wie verschiedenartig die einzelnen Küstenstrecken zu behandeln sind und wie Bauweisen, die an der einen Stelle voll ausreichend ihren Zweck erfüllen, an anderen Stellen versagen.

Diese Verschiedenheit der Küstenstrecken hinsichtlich Beschaffenheit und Wellenangriff erfordert daher auch Vorsicht, wenn man versucht, bei Übertragung dieser Bauweise an andere Küstenstrecken etwa durch Verringerung der Steingröße und Steilerstellen der Böschung Ersparnisse zu erzielen.

Überhaupt spielt eine sorgfältige Beachtung von anscheinend nebensächlichen Einzelheiten in Konstruktion und Herstellung für die praktische Bewährung von Küstenschutzbauten eine verhältnismäßig große Rolle.

V. S c h r i f t e n v e r z e i c h n i s

1. BOTHMANN, W.: Die Bedeutung der Landgewinnungsarbeiten für den Küstenschutz an der Nordsee. Landwirtsch. Wasserbau, H. 6—8, 1941.
2. HENNEKE, H.: Gußasphalt und Asphaltmat:en im Wasserbau. „Bitumen“, H. 2, 1952.
3. WOHLIENBERG, E.: Entstehung und Untergang der Insel Trischen. Mitt. Geogr. Ges. Hamburg 49, 1950.

Sinkstoff, Sediment und Anwachs am Hindenburgdamm

Von Erich Wohlenberg

Inhalt

I. Das Wattenmeer zwischen der Insel Sylt und dem nordfriesischen Festland	33
A. Geographische und hydrographische Übersicht	33
B. Dammbau Festland-Sylt	37
II. Der Verlandungsraum nach dem Dammbau	39
A. Der Sinkstoffgehalt im Wasser	41
1. Der Sinkstoffgehalt bei normalem Tideverlauf	42
2. Der Sinkstoffgehalt bei Sturmfluten	47
B. Die Sedimente vor und nach dem Dammbau	51
C. Die Ablagerung der Sinkstoffe und die Leistung der Pflanzengesellschaften für den Anwachs am Hindenburgdamm	57
1. Schlickbindung durch Diatomeen	57
2. Verlandung durch Queller und Andel	65
3. Landgewinnungsmaßnahmen	
a. Das ökologische Prinzip der Landgewinnung	68
b. Gruppen und Äcker	70
c. Die Profilumkehr und ihre Folgen	72
4. Das Maß des Aufwuchses	
a. Die Indikatormethode	77
b. Die Ablagerungen 1935 bis 1937	78
c. Erste Bedeichungspläne	83
d. Die Weiterentwicklung des Anwaches nach dem Kriege	84
e. Die Ablagerungen 1947 bis 1952	86
f. Eis und Sediment	89
III. Zusammenfassung	91
IV. Schriftenverzeichnis	91

I. Das Wattenmeer zwischen der Insel Sylt und dem nordfriesischen Festland

A. Geographische und hydrographische Übersicht

Sylt, die größte deutsche Nordseeinsel, liegt in einer Länge von etwa vierzig Kilometern in Nord-Süd-Ausdehnung vor dem dahinter liegenden Wattenmeer. Durch die nach Osten weisende Halbinsel Nösse und die sich in etwa gleicher Richtung anschließende Wasserscheide der Watten wird der Wattenmeerraum in zwei Hälften geteilt. Die Entfernung zwischen der Morsumer Halbinsel (Nösse-Spitze) und dem Festland beträgt etwa elf Kilometer, diejenige zwischen den Sylter Nord- und Südflügeln bis zum Festland je etwa 20 km (Abb. 1).

Um die Nordspitze von Sylt schiebt sich zunächst mit Tiefen bis zu vierzig Metern das Lister Tief südostwärts in den Raum vor, zerteilt sich aber bald in flachere Tiefs wie Lister Ley, Pandertief und Hoyertief nach Süden bzw. Osten und in das Römer Tief nach Norden. Vom Pandertief zweigt das Munkmarschfahrwasser und vom Lister Ley weiter nach Süden und Südosten das Westerley ab.

An der Südspitze von Sylt fließt mit etwas geringeren Tiefen als das Lister Tief das Vortrapp-Hörnum-Tief in den Wattenraum südlich der Wasserscheide ein. Es teilt sich zunächst hinter Sylt in das Eidum-Tief und später weiter nordostwärts in das Wester-, Sylter- und Osterley. Zwischen Sylterley und Osterley ist noch das Holländerloch zu erwähnen (s. Abb. 2).

Während das Lister Tief im Norden und das Vortrapp-Hörnum-Tief im Süden tiefe Erosionsrinnen mit verhältnismäßig steilen Ufern darstellen, nimmt ihre

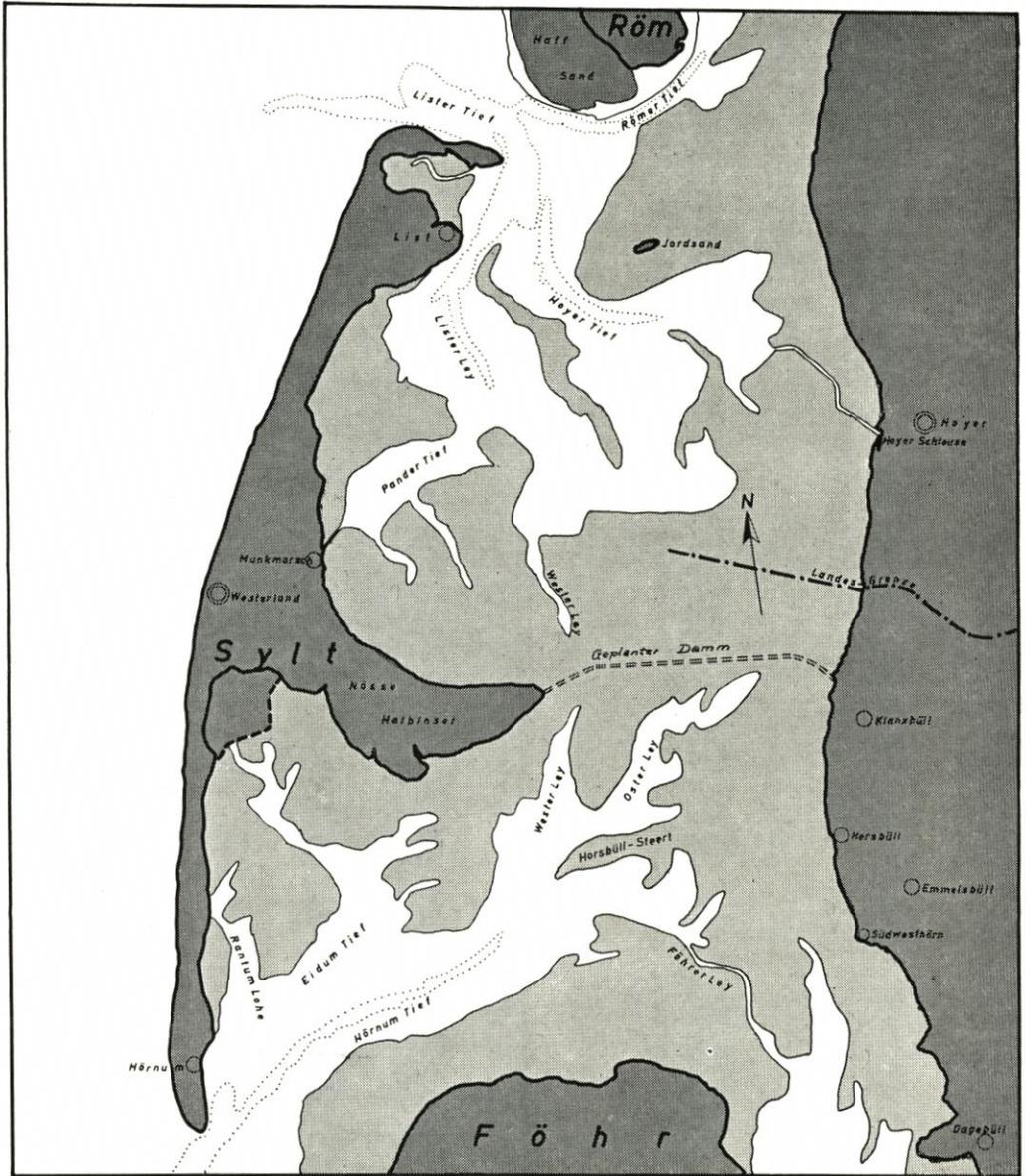


Abb. 1. Das Sylter Wattenmeer 1922 mit der geplanten Dammlinie
 Die grau getönten Flächen stellen die Watten dar.
 Die punktierten Linien umschließen Tiefen über 10 Meter
 (Maßstab etwa 1:275 000)

landseitige Fortsetzung im inneren Wattenraum schnell an Tiefe ab. Das höhere Watt hinter Sylt zeichnet sich durch große Einförmigkeit, das heißt durch eine auffallend geringe Gliederung in der Senkrechten aus. Die an die Wasserscheide heranreichenden Ausläufer wie Westerley, Sylterley, Holländerloch und Osterley haben nicht mehr die Merkmale von Erosionsrinnen, sondern bei ihnen handelt es sich durchweg um mehr oder weniger weit ausladende Mulden, die von den Wattschiffen auch Legden genannt werden. Ihre Wassertiefe

ist nach der Abbildung 2 sehr gering. So zeigte das Holländerloch vor der Durchdämmung im Bereich der „Messungslinie“ (Abb. 2) bei einer Breite von 1000 m nur noch eine Tiefe von etwa 0,50 m bei MTnw. Ähnlich lagen die Größenangaben bei den genannten Leys. Vor der Abdämmung hatte als Nord-Südverbindung für die kleinere Wattenschiffahrt nur das Westerley einige Bedeutung. Die Benutzung dieser Senke war aber auch nur um die Hochwasserzeit möglich; außerdem setzte die geringe Wassertiefe über der Wattwasserscheide dem Tiefgang der Fahrzeuge eine enge Begrenzung. Der Übergang zu den angrenzenden Watten vollzog sich gleitend. Die Legden führten auch bei Niedrigwasser noch etwas Wasser.

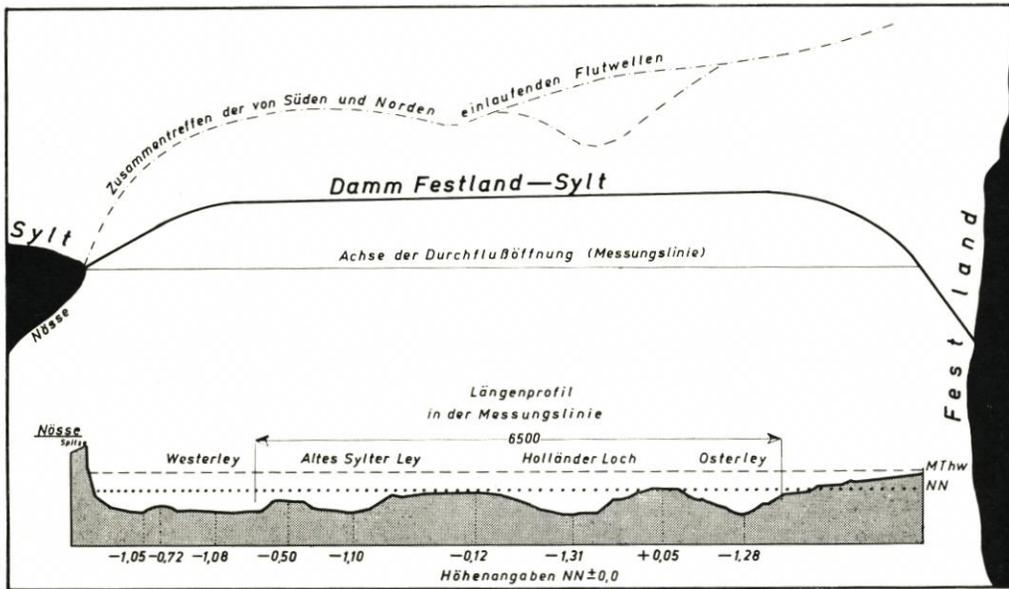


Abb. 2. Oben: Der Treffpunkt der südlichen und nördlichen Flutwelle nördlich der geplanten Dammlinie an verschiedenen Tagen
Unten: Die Tiefenverhältnisse in der Messungslinie vor dem Dammbau [vereinfacht nach PFEIFFER (43)]

Bei Flut wurden sie genährt von den Wassermassen, die südlich und nördlich von Sylt unter dem Druck der atlantischen Tidewelle durch das Hörnum- beziehungsweise Lister Tief einströmten. Sie verbreiterten sich dann sehr schnell, und nach ihrer Vereinigung schob sich ein breites Wasserfeld von Norden und Süden gegen die Wasserscheide und ostwärts gegen das Festland vor. Die bei List im Norden und bei Hörnum im Süden mit der Flut eintretenden Wassermassen bewegen sich in der Größenordnung von je rund 500 000 000 cbm je Tide mit einem gewissen Übergewicht des Südabschnitts. Die entlang der nordfriesischen Küste vordringende Gezeitenwelle läuft von Süden nach Norden. Sie erreicht das Hörnum-Tief etwa eine halbe Stunde früher als das Lister Tief. Aus der Abbildung 3 [EICH (16)] entnehmen wir, daß der Tidehub nach Norden abnimmt. Zeigt die Hubhöhe bei Wittdün auf der Insel Amrum noch 2,33 m, so ermäßigt sie sich bei der Südspitze der Insel Sylt auf 1,72 m, bei der Nordspitze in List auf 1,59 m und weiter nordwärts an der Westküste Jütlands am Nissum Fjord auf 0,63 m [PFEIFFER (43)]. Die von Süden bei Hörnum einströmende Flutwelle ist danach im Mittel 13 cm höher als die von Norden kommende. Der Darstellung von EICH (Abb. 3) sowie den Aufzeichnungen PFEIFFERS entnehmen wir, daß auch das MThw nach Norden abfällt, dagegen vom äußeren Wattenmeer im Westen zur Festlandsküste im Osten ansteigt, und zwar beträgt der Anstieg des Wasserspiegels von Hörnum bis zur Küste 6 cm je Kilometer.

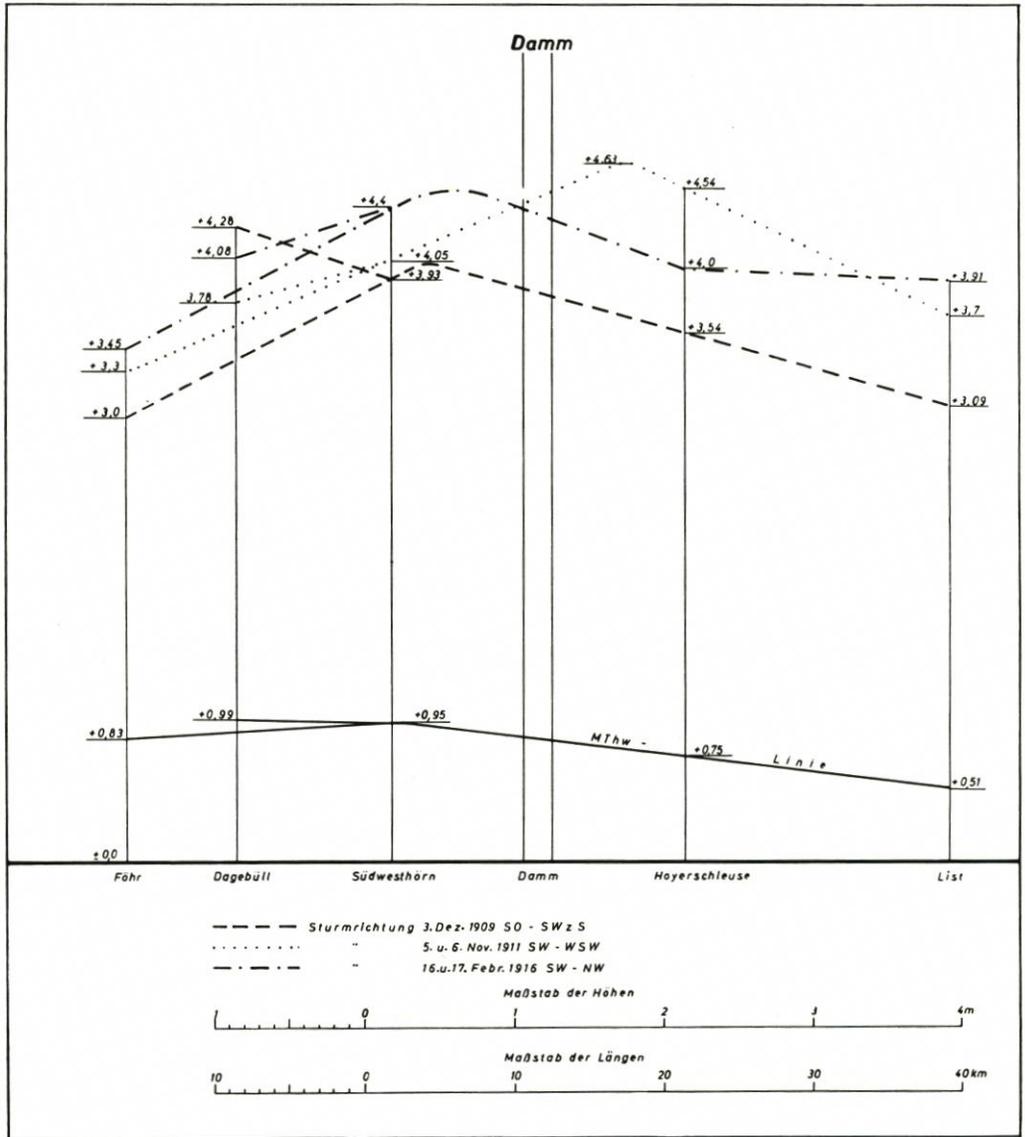


Abb. 3. Mittlere Hochwasserstände

Oben: Sturmfluthöhen im Einflußbereich des geplanten Dammes [nach EICH (16)]

Das mittlere Tidehochwasser (MThw) bei der Insel Sylt [nach PFEIFFER (43)]:

Hörnum

Sylt Süden: + 0,65 m NN

List

Sylt Norden: + 0,50 m NN

Das MThw am Festland

Husum: + 1,29 m NN (heute + 1,48 NN, gemittelt aus 1941—50)

Dagebüll: + 0,99 m NN

Südwesthörn: + 0,95 m NN

Hoyerschleuse: + 0,75 m NN

Nach dem Eintreten der Flut bewegten sich die Wassermassen von Norden und Süden gegen die Wasserscheide (Abb. 1). Nach dem Überfluten der Watten setzte in ganzer Breite eine Süd-Nordströmung ein [PFEIFFER (43)]. Die nach Norden gerichtete Strömung reichte zeitlich über die Stauwasserzeit und örtlich über die Wasserscheide hinaus. Nach den Untersuchungen vor dem Dammbau durch PFEIFFER (43) hielt der Nordstrom bis zu anderthalb, bei besonderer Wetterlage bis zu drei Stunden über den Hochwasserscheitel hinaus an. Erst dann kenterte der Strom. Das bewirkte, daß von den an der Messungslinie (Abb. 2) nach Norden in jeder Tide fließenden 38,5 Millionen cbm bei Ebbe nur 10,5 Millionen cbm nach Süden zurückflossen. Der Mehrabfluß nach Norden betrug also etwa 28 Millionen cbm. Diese Wassermasse führte das Lister Tief zweimal täglich zusätzlich zu den eigenen eingeführten Wassermassen bei Ebbe in die Nordsee zurück. Das galt für die normale Tide. Bei Sturmfluten aus Südwest wurde natürlich ein Vielfaches von diesem normalen Betrag über die Wasserscheide nordwärts ins Lister Tief gedrückt. Infolge des Wasserspiegelgefälles von Süden nach Norden wurden vor dem Dammbau bei Hörnum während des Hochwassers noch eine Stromgeschwindigkeit von 35 cm/sec, auf der Wasserscheide eine solche von rund 20 cm/sec gemessen. Die mittlere Aufhöhung der normalen Flutwelle zwischen Hörnum und der Dammachse am Festland betrug nach PFEIFFER (43) etwa 20 cm. Die höchste beobachtete Sturmflut am Ostende des geplanten Dammes lag zwischen 4,20 und 4,50 m NN.

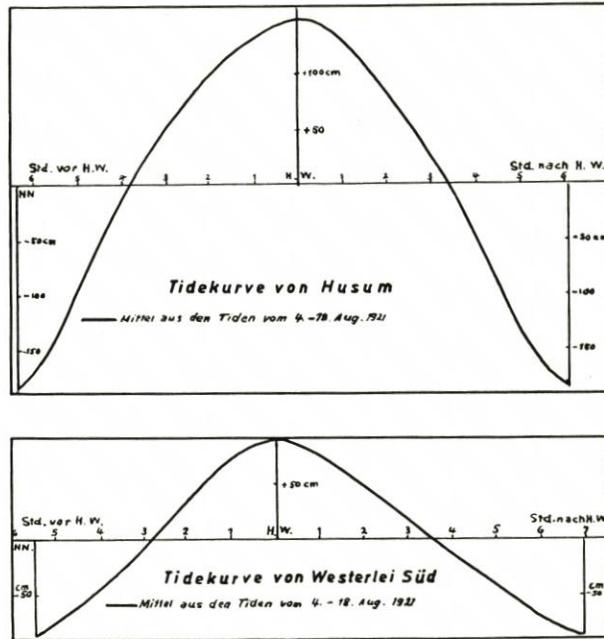


Abb. 4. Die Tidekurven vom Pegel Husum (oben) und von Westerley-Süd (unten) gemittelt aus den Tiden vom 4. bis 18. August 1921 [nach SCHUMACHER und THORADE (54)]

B. Dammbau Festland — Sylt¹⁾

Der im Jahre 1927 fertiggestellte sturmflutfreie Damm zur Insel Sylt hat eine lange Vorgeschichte. Die ersten Pläne gehen auf die sechziger Jahre des vorigen Jahrhunderts zurück. Der Sylter Chronist C. P. HANSEN empfahl [nach MÜLLER-FISCHER (39)] bereits im Jahre 1861 eine Landverbindung zwischen Morsum und dem Ort Rodenäs in der nördlichen Wiedingharde. Die Lage der Wasserscheide war bekannt. Neben der Verbesserung der Verkehrslage für die Insel, die nur bei Hochwasser mit kleinen flachgehenden Booten von Hoyersehleuse zu erreichen war, sprach er bereits damals von der zu erwartenden Anschlickung zu beiden Seiten des Dammes. Der Plan mußte wegen dringender Schutzarbeiten auf den gefährdeteren Inseln und Halligen zunächst zurückgestellt werden. Anfang des 20. Jahr-

¹⁾ Diese beiden Abschnitte A und B wurden für den größeren Leserkreis ausführlicher wiedergegeben, weil die Dissertation von Dr.-Ing. PFEIFFER aus zeitbedingten Gründen (Inflation) nicht gedruckt und daher nur einem kleinen Fachkreis bekannt geworden ist.

hunderts wurden die Eingaben erneuert. Im Jahre 1910 wurde eine Eisenbahnverbindung nach Sylt erwogen, da die Schiffsverbindung über Hoyerschleuse durch Stürme, Eisgang, niedrige Wasserstände besonders bei Ostwind allzu häufig behindert war und selten fahrplanmäßig aufrechterhalten werden konnte. Die Eisenbahnverwaltung lehnte jedoch den Plan ab, da eine Verzinsung des Anlagekapitals nicht errechnet werden konnte.

Vom Ende desselben Jahres liegt ein Bericht vom Wasserbauamt Husum vor. Es wurden die ersten Planungen für den Dammbau erarbeitet. Ein Wattennivellement und Angaben über Art und Höhe des Dammes wurden vorgelegt. Auch in diesem Bericht wird von starken Anlandungen als vermutlicher Folge des Dammbaus gesprochen, obwohl zu jener Zeit nur Erfahrungen vorlagen von Dammbauten, deren Krone etwa 50 cm über MThw lag. Im Sommer des schicksalsschweren Jahres 1914 kamen die Pläne aus dem Zustand der Erwägungen endlich heraus, und im Frühjahr 1915 wurde mit der im Zuge des Dammbaus geplanten Bedeichung des alten Anwachs vor der Wiedingharde begonnen. Im Juni 1917 mußten die Arbeiten jedoch aus kriegsbedingtem Mangel an Arbeitskräften und Geräten wieder eingestellt werden. Als im Jahre 1920 Nordschleswig, der nördliche Teil Schleswig-Holsteins, an Dänemark abgetreten werden mußte, traten zu den geschilderten naturbedingten Schwierigkeiten bezüglich der Verbindung mit der Insel Sylt nun auch grenzpolitische, denn die Anreise nach Sylt über Hoyerschleuse war nicht mehr auf deutschem Hoheitsgebiet möglich. Daher wurde im Jahre 1922 trotz der großen nationalwirtschaftlichen Notlage von den zuständigen Staats- und Reichsministerien der endgültige Beschluß zum Dammbau gefaßt. Da die Voruntersuchungen in der Zwischenzeit weitergeführt worden waren, konnte im Frühling des Jahres 1923 mit dem eigentlichen Dammbau begonnen werden. Zu jener Zeit war der Seedeich um den alten Anwachs der Wiedingharde nördlich des Dammes geschlossen. Dieser nördliche Teil hatte die Gestalt eines Dreiecks erhalten und wurde landläufig mit *Dreieckskoog* bezeichnet. Für die Zeit des Dammbaus beherbergte dieser kleine Koog die Baracken der Bauleitung, der Arbeiter und die Baustoffe. Die Bahnlinie Niebüll-Klanxbüll war in den Jahren 1921/22 bis zum neuen Seedeich fertiggestellt worden. Die technische Oberbauleitung wurde dem derzeitigen Oberbaurat Dr.-Ing. PFEIFFER übertragen, dem wir eine eingehende und grundlegende wissenschaftliche Voruntersuchung über die Wirkungen des Dammes auf die normale Tide und auch auf den Sturmflutverlauf verdanken [PFEIFFER (43)]. Der Schwerpunkt der Untersuchungen von PFEIFFER lag in der Errechnung des möglichen Wasseranstiegs, nachdem der Damm das Übergewicht der von Süden einströmenden Wassermassen abfangen würde. An der südlichen Festlands-ecke wurde von PFEIFFER eine Erhöhung des mittleren Hochwasserspiegels von 0,10 m, d. h. von + 0,85 m NN auf + 0,95 m NN errechnet. Nördlich des Dammes errechnete man ein Absinken des mittleren Hochwassers um etwa 0,05 m, d. h. von + 0,80 auf etwa + 0,75 m NN, denn die von Norden kommende Welle würde nicht mehr wie vor dem Dammbau nördlich der Dammlinie gestaut, und außerdem fehlten die oben erwähnten zusätzlich nordwärts abfließenden 28 Millionen cbm je Tide. Für die Sturmfluten kam PFEIFFER zu einem Höchstwasserstand von + 4,70 m NN im Süden und + 4,60 m NN im Norden. Mit demselben Problem befaßten sich EICH (16), KREY (28) und BUSCH (6). Nach EICH läge nach der Errichtung des Dammes auf beiden Seiten ein begrenzter Meerbusen vor. Die dort einlaufenden Tidewellen würden in ihrer Höhe nur vom unmittelbaren Einfluß des Windes betroffen. Vor dem Dammbau wäre nach EICH infolge Zusammenschlingens der nördlichen und der südlichen Welle eine Wasserspiegelhöhe bei Sturmflut von + 4,80 m NN möglich gewesen. Nach dem Dammbau rechnete er nur noch mit einem Sturmflutanstieg bis auf etwa + 4,50 m NN.

KREY dagegen schloß seine Betrachtung (28) zwar auch mit der Hervorhebung der Windbeeinflussung, rechnete aber „mit voller Sicherheit mit einer starken Steigerung der Fluthöhe“.

BUSCH kam auf Grund seiner Überlegungen zu einem Sturmflutanstieg südlich des Dammes von 62 cm und nördlich von 34 cm über dem vor dem Dammbau beobachteten Sturmflutwasserstand von + 4,20 m NN.

Es ist hier nicht der Ort, die verschiedenen Vorhersagen zu den nach dem Dammbau eingetretenen und bei verschiedener Wetterlage beobachteten Wasserständen in kritischer Weise miteinander zu vergleichen. Das müßte Gegenstand einer hydrographischen Sonderuntersuchung sein.

Nach den Untersuchungen SCHELLINGS (52) haben die Sturmfluten seit Errichtung des Hindenburgdammes folgende am Pegel gemessenen Werte, bezogen auf PN (PN = Pegelnull = -5,00 m NN), erreicht:

Sturmflut	Damm-Süd	Damm-Nord
18. 10. 1936	878	896
27. 10. 1936	908	856
24. 11. 1938	920	824
9. 10. 1949	868	817
24. 10. 1949	818	—
26. 10. 1949	840	—

Das nach Pegelwerten errechnete MThw beträgt jetzt nach SCHELLING (52) an der Südseite des Dammes 600, an der Nordseite 577. Die von demselben Verfasser durch Rechnung ermittelten w a h r s c h e i n l i c h e n Höchstwasserstände bezogen auf das für Husum ermittelte HHW werden für die Nordseite mit + 441 cm NN, für die Südseite + 486 cm NN angegeben; das bedeutet, daß das für Husum ermittelte HHW von + 550 cm NN an der Nordseite des Dammes um 108 cm, an der Südseite dagegen nur um 64 cm unterschritten wird*).

Unter der Oberleitung von Oberbaurat Dr.-Ing. PFEIFFER wurden die beiden örtlichen Hauptbauabschnitte Regierungsaurat MÜGGE auf der Inseleseite und auf der Festlandsseite Regierungsaurat WEINNOLDT übertragen.

Der Dammbau lagert dem Watt in einer Breite von rund 50 m auf; die Kronenbreite beträgt 11 m. Die Dammböschung wird bis zu etwa halber Höhe durch ein schweres Basalt- beziehungsweise Granitpflaster geschützt. Der Damm durchläuft den Tidebereich in einer Länge von 11 km. Die Kronenhöhe lag nach dem Planum auf + 6,80 m NN an der Festlandsseite, das ist rund 2,30 m höher als die größte bisher beobachtete Sturmflut [PFEIFFER und MÜGGE (44)], und auf + 6,24 m NN auf der Inseleseite. Nach vierjähriger Bauzeit wurde der Damm am 1. Juni 1927 dem Verkehr übergeben und erhielt an jenem denkwürdigen Tage in Anwesenheit des altherwürdigen Reichspräsidenten den Namen H i n d e n b u r g d a m m. So erstand zum erstenmal ein sturmflutfreier Damm durch das offene Wattenmeer, eine vom In- und Ausland oft gewürdigte Leistung des deutschen Wasserbaus.

Über die Verlandungserscheinungen im besonderen wird weiter unten berichtet werden. Zum Abschluß des Abschnittes über den Dammbau sei noch an eine Bemerkung von PFEIFFER und MÜGGE (44) erinnert, wonach bereits gleich nach Abriegelung der Baulücken, besonders an der Südseite, reicher Schlickanfall beobachtet wurde.

II. Der Verlandungsraum nach dem Dammbau

Die Errichtung einer festen, sturmflutsicheren Verbindung zwischen dem Festland und der Insel Sylt sollte in erster Linie der V e r k e h r s e r l e i c h t e r u n g dienen. Solange der Dammbau erwogen wurde, solange wurde nebenher zwar immer auf die große Bedeutung des Dammes auch für die Landgewinnung hingewiesen, von den möglichen Ausmaßen der Verlandung aber, sowohl was Menge als auch Qualität des neuen Bodens anbelangt, hatte niemand eine Vorstellung, zumal zu jener Zeit über die vom Wasser des Wattenmeeres bewegten Sinkstoffe nichts bekannt war.

*) 1938 sogar nur um 50 cm.

Abb. 5
Natürliche Ausbreitung des
Quellers vor dem nördlichen
Dammfuß ohne Mithilfe
von Landgewinnungs-
werken. Blickrichtung
auf das Festland

Aufn. E. WOHLBERG, 1931



Abb. 6
Erster Lahnungsbau südlich
des Dammes
Bildarchiv Marschenbauamt
Husum

Aufn. ODEFEY, 1927

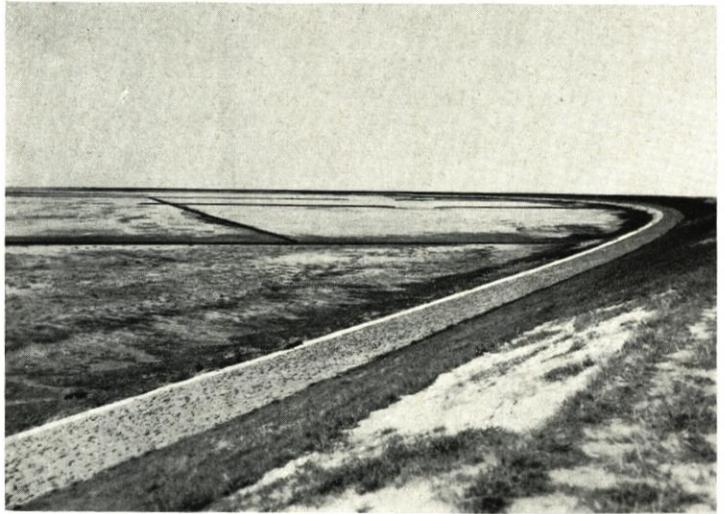


Abb. 7
Das Watt am südlichen
Dammfuß wurde 1929 zum
ersten Male gegrüppelt. Jen-
seits der Grüppen natürliche
Quellerausbreitung ohne
Mithilfe von Grüppen

Aufn. E. WOHLBERG, 1931



Während auf der Dammkrone seit 1927 die Bäderzüge unbehindert von Wind und Wetter sicher hinüber- und herübereilen, vollzieht sich zu beiden Seiten im Schutze des Dammes am Festlandsufer in aller Stille die Anschlickung. Das geschieht nun in einem Maße, wie es von keinem anderen Küstenabschnitt der Nordsee, seien es die Verlandungsräume in Holland und Dänemark oder auch England, bekannt geworden ist. Die besonderen Erscheinungen der Verlandung und die Zahlenwerte werden in den späteren Abschnitten erörtert und dargestellt. Hier seien zunächst die elementaren Ausgangsstoffe des neuen Bodens, nämlich der Sinkstoffgehalt des Wassers auf der einen Seite und das Sediment auf der anderen behandelt.

A. Der Sinkstoffgehalt im Wasser

„Die Sinkstofffrage bildet den Kernpunkt der Wattenforschung.“

J. M. LORENZEN [(33) 1937].

Alle Marschen unserer Küste hat das Meer zusammengetragen. Bis zum letzten Bodenteilchen gehörte die ganze Substanz unserer Köge einst für längere oder kürzere Zeit dem von den Gezeiten bewegten Wasser als Sinkstoff an. Die Landgewinnung kann also nur Erfolg haben, wenn der Flut Gelegenheit gegeben wird, Sinkstoffe an die Küste heranzubringen. Erlöschen die Sinkstoffquellen oder die Transportkräfte, so entfallen damit die grundlegenden Voraussetzungen für den natürlichen Anwachs und damit auch für die Landgewinnung. So ist die Frage nach der Herkunft der Sinkstoffe im Bereich des Küstenwassers der Deutschen Bucht und damit die Frage nach dem möglichen Vorrat auf lange Sicht die Kernfrage für die Landgewinnung überhaupt. Bei dem unwahrscheinlich hohen Umfang der Neuablagerungen am Hindenburgdamm lag allerdings die Gefahr nahe, der Frage nach dem Vorrat von Sinkstoffen auf lange Sicht nicht die nötige Bedeutung beizumessen, wenn sie auch in den Schriften des Marschenverbandes [FRANZIUS (18)] und im Zehnjahresplan des Oberpräsidenten [LORENZEN (33 u. 34)] bereits aufgeworfen wurde. Die ersten Untersuchungen der Forschungsstelle Westküste, die ihre wesentlichen Impulse nicht zuletzt den eben genannten Schriften verdankten, zeigten bald, wie sehr diese Fragen in der Tat berechtigt waren, in der wissenschaftlichen Arbeit nicht gerade den letzten Platz einzunehmen. So erbrachte die Durchführung groß angelegter Sinkstoff-Gruppenmessungen in dem Hauptwattenstrom des nordfriesischen Wattenraumes, der Norderhever [später bearbeitet von PETERSEN (85)], den unmißverständlichen Nachweis, daß die der Landgewinnung zugute kommenden Sinkstoffe in ihrer Masse nicht etwa ihren Weg aus der offenen Nordsee an die Küste — ihren späteren Ablagerungsort — nehmen, sondern aus dem Wattenmeer selber stammen. Historische Kartenvergleiche [DELFF (9 u. 10), BUSCH (7), BRAREN (3)] und die neuzeitlichen Nivellements und geologischen Untersuchungen der Forschungsstelle [DITTMER (13 u. 14), DECHEND (76)] haben dann den Nachweis liefern können, daß die Erosionskräfte in den mehr oder weniger tiefen Wattströmen sowie die abradierenden Kräfte auf den eigentlichen Watten und die Gezeitenströmungen als die verantwortlichen Kräfte für Lösung, Aufbereitung und Transport der Sinkstoffe an die neuen Lagerstätten in der Verlandungszone der Küste anzusehen sind. Damit werden die Untersuchungsergebnisse BROCKMANNS über „Küstennähe und küstenferne Sedimente“ (4 b) auch für Nordfriesland bestätigt. BROCKMANN kam auf Grund seiner Diatomeenuntersuchungen zu der für die Landgewinnung so bedeutsamen Formulierung: „Die Bildung des Schlicks geht in der Gezeitenzone der Küste vor sich.“

Diese schon einmal oder auch viele Male im Laufe der Geschichte des Wattenmeeres abgelagerten, nunmehr aber wieder aufbereiteten Bodenbestandteile bilden eine entscheidende Komponente im natürlichen Haushalt der Sinkstoffe, die andere stellen die organogenen Stoffe dar, deren Herkunft an den Lebensablauf der im Wasser, am Meeresgrund, auf den Watten und im Verlandungsbereich lebenden Pflanzen und Tiere gebunden ist (Absterben, Häutung, Laubfall usw.). Wenn auch die Analyse dieser Stoffe nach Art und Menge

noch mancherlei Schwierigkeiten bereitet, so sollten wir uns trotz aller eindrucksvollen Wägungen und Kurven davor hüten, nur dem Sand und Ton eine Bedeutung zuzusprechen. Seinen „Adel“ verdankt der junge Marschboden erst dem gewachsenen Gefüge und den biogenen Beimengungen [NIENBURG (41), WOHLBERG (67, 69, 70), BROCKMANN (4 b), KOLUMBE (27), PLATH (86)].

Die Westküstenforschung hat diese besonderen Untersuchungen durch den Krieg unterbrechen müssen und jetzt auch noch nicht wieder in der nötigen Breite aufnehmen beziehungsweise zum Abschluß bringen können. Nach den vorliegenden ersten Ergebnissen möge die Feststellung genügen, daß die von FRANZIUS (18) und LORENZEN (33) aufgeworfene Frage ihre tiefe Berechtigung hatte.

1. Der Sinkstoffgehalt bei normalem Tideverlauf

Was von der Norderhever nachgewiesen werden konnte [PETERSEN (85)], wird mit ähnlichem Ergebnis auch von den anderen Tiefs des Wattenmeeres, also auch vom Vortrapp-Hörnum-Tief und von der Föhler Ley, die ihr Wasser von Süden her gegen den Hindenburgdamm führen, zu belegen möglich sein.

Tabelle 1
Sinkstoffwerte je Liter, südlich vom Hindenburgdamm
während der Ebbe

Datum: 23. 11. 1950; Wetterlage: Windstille, ruhige See, Luft-Temp. 4—5° C;
Hochwasser: 13³⁰

Stat. Nr.	Position und Gesamttiefe	Schiff	Zeit der Entnahme	Entnahmetiefe	Oberflächenstrom Treibkörper	Sinkstoffgehalt mg/Liter
1.	Hindenburgdamm Süd 10 m vom Dammfuß 0,65 m	Ruderboot	1400-10	Oberfläche	nicht meßbar	44
				Oberfläche		46
				0,40 m		153
				Grund		31
2.	Ankerposition 200 m südl. vom Damm 1,50 m	„Oland“	1420-30	Oberfläche	nicht meßbar	39
				0,70 m		43
				20 cm über		
				Grund		120
				Grund		546
				Grund		461
3.	Osterley 7 km SO Morsum-Kirche 10,00 m	„Oland“	15 ³⁰	Oberfläche	0,83 m/sec	21
				5,00 m		27
				20 cm über		
				Grund		93
				Grund		65
4.	dasselbst	„Oland“	16 ⁰⁰	Oberfläche	0,75 m/sec	28
				5,00 m		46
				20 cm über		
				Grund		51
				Grund		96
5.	westlich Horsbüllsteert 8 km S Morsum-Kirche 9,80 m	„Oland“	16 ³⁰	Oberfläche	0,80 m/sec	38
				5,00 m		72
				20 cm über		
				Grund		225
				Grund		795

Das bei Hörnum ins Wattenmeer einströmende Wasser enthält nicht die Sinkstoffe, die am Damm zur Ablagerung kommen. Damit soll zwar nicht gesagt werden, daß das freie Meer als Sinkstofflieferant überhaupt ausscheidet, aber die wenigen, vom Verfasser im Jahre 1950 auf der Strecke von Hörnum bis zum Damm entnommenen Sinkstoffproben lassen jedenfalls eine ins Gewicht fallende Zufuhr aus der See hier ebenso wenig wie in der Hever erkennen. Der bei Hörnum geschöpfte Sinkstoff bestand aus Sand, vom feinen bis zum groben; der im Bereich des Dammes und Deiches geschöpfte Sinkstoff aber aus feinstem Korn, und zwar aus sehr wenig Feinsand und zur Hauptsache aus der Staub- und Tonfraktion und darüber hinaus, wie PLATH (86) nachgewiesen hat, aus einem hohen Anteil an tierischen Ausscheidungsprodukten.

Bei den nunmehr zu erörternden Sinkstoffmessungen südlich vom Hindenburgdamm handelt es sich aus zeitbedingten Gründen um erste Ergebnisse, denen zunächst nur orientierende Bedeutung beigemessen werden kann. Wie weiter unten dargelegt wird, erfolgen die größten Ablagerungen neuer Sinkstoffe während der sturmflutreichen Herbst-, Winter- und Frühjahrsmonate (vgl. S. 49, Abb. 10 bis 12). Es erhob sich also die Frage: Was leistet die normale Tide und was die Sturmflut-Tide für den Sedimenthaushalt am Damm. Den folgenden Tabellen 1 und 2 entnehmen wir die Werte, die bei normaler Tide gemessen wurden. Die Entnahmen wurden mit dem horizontalen Wasserschöpfer nach WOHLBERG und SCHWEDER [WOHLBERG (72)] auf der Strecke von Hörnum bis zum Damm vom Motorboot „Oland“ beziehungsweise in Dammnähe vom Ruderboot aus durchgeführt (Abb. 8). Entnahmestufen waren 10 cm unter Oberfläche, die jeweilige halbe Gesamttiefe, 10—20 cm über Grund und 5 cm über Grund. Bei der letzten Probe stand der Wasserschöpfer mit der Grundkufe (Abb. 8) auf dem Boden des Tiefs beziehungsweise des Priels. Die jeweils an der Oberfläche herrschende Strömungsgeschwindigkeit wurde auf einfache Weise an Treibkörpern mit der Stoppuhr gemessen. Die Strömungen in der Tiefe und über dem Boden wurden damals nicht ermittelt.

Auf allen fünf Stationen der Tabelle 1 wurde der Sinkstoffgehalt während der Ebbe bestimmt. Die Werte zeigen fast durchgehend eine Sinkstoffanreicherung mit zunehmender Wassertiefe und stets den höchsten Wert am Grund oder doch in seiner unmittelbaren Nähe. Die Tabelle zeigt ferner, daß bei ruhiger See die gemessenen Werte überhaupt gering sind. Die Tabelle 2 läßt die Gesetzmäßigkeit der Sinkstoffanreicherung zum Grund hin noch deutlicher hervortreten. Sie zeigt aber auch, daß bei den Werten am Grund Zufälligkeiten ihre Hand im Spiel haben. So liegen bei Station 6 zwei Entnahmen am Grund zeitlich nur fünfzehn Minuten auseinander und die spätere Entnahme zeigt fast den vierfachen Wert der ersten am Grund. Es ist möglich, daß sich solche erheblichen Streuungen im Sinkstoffwert verwischen, wenn ein großes Zahlenmaterial vorliegen würde. Allein die Zufälligkeit bleibt auch dann noch als Faktor bestehen. Der Sinkstofftransport ist nicht nur eine Funktion der transportierenden Kräfte, sondern nach DITTMER und VINCK (15) auch abhängig von der *Geschichte* des aufbereiteten Sediments und Sinkstoffes und erfolgt nach den Sinkstoffuntersuchungen in der Eider durchaus nicht immer zügig, d. h. in direkter Abhängigkeit von den verfrachtenden Kräften.

Bei den hohen Werten am Grund bei den Stationen 2 und 3 im Hörnum-Tief waren grobe Quarzkörnchen beteiligt, Bestandteile, die in der Verlandungszone am Hindenburgdamm ganz unbekannt sind.

Mit der Tabelle 3 verlassen wir das eigentliche Wattenmeer und begeben uns mit dem Wasserschöpfer in einen der zahlreichen künstlich angelegten Vorfluter des Anwaches südlich des Hindenburgdamms. Der das Schöpfgerät tragende Galgen wurde an einem der Brückenstege befestigt und an dieser Stelle das ab- und aufkommende Wasser untersucht (Abb. 9).

Der Verfasser beobachtet die Verlandungserscheinungen in diesem Gebiet seit mehr als zwanzig Jahren, und es ist schwer, die Fülle und die Besonderheit der Beobachtungen in einem kurzen Aufsatz darzulegen, weil mit Zahl und Kurve nicht alles wiederzugeben ist. Die Beobachtungen haben immer wieder gezeigt, daß die Sedimentation am Hindenburgdamm auf zweierlei Art vor sich geht. Bei dem einen Vorgang des Aufwachsens handelt es sich um

Tabelle 2
Sinkstoffwerte je Liter, südlich vom Hindenburgdamm
während der Flut

Datum: 24. 11. 1950; Wetterlage: Windstille, ruhige See;
Niedrigwasser: 830

Stat. Nr.	Position und Gesamtfläche	Schiff	Zeit der Entnahme	Entnahmetiefe	Oberflächenstrom cm/sec	Sinkstoffgehalt mg/Liter
1.	Hörnum-Tief querab Hörnum Spitze 9,50 m	„Oland“	830	Oberfläche	33	26
				4,80 m		68
				20 cm über Grund		220
				Grund		54
2.	Dasselbst	„Oland“	900	Oberfläche	80	14
				5,00 m		34
				20 cm über Grund		109
				Grund		1709
3.	Dasselbst	„Oland“	930	Oberfläche	100	16
				5,00 m		52
				20 cm über Grund		289
				Grund		329
			Grund		2138	
4.	Westl. Horsbüllsteert 8 km S Morsum-Kirche 10,00 m	„Oland“	1030	Oberfläche	100	41
				5,00 m		88
				20 cm über Grund		247
				Grund		387
5.	Dasselbst 10,50 m	„Oland“	1045	Oberfläche	94	60
				5,00 m		104
				20 cm über Grund		431
				Grund		634
6.	Dasselbst 10,50 m	„Oland“	1100	Oberfläche	90	18
				5,00 m		59
			1115	20 cm über Grund		238
				Grund		401
		Grund	1571			

echte Sedimentation, womit gesagt sein soll, daß die im Wasser befindlichen Sinkstoffe nach dem Eintreten einer gewissen Wasserruhe vor Damm und Deich zu Boden sinken und diesen mehr oder weniger gleichmäßig bedecken (primäre Sedimentation). Das ist der normale Vorgang, wie er nach jeder Überflutung des Anwachsgebietes durch eine Spring- oder Sturmflut zu beobachten ist. Bei der anderen Art der Sedimentation handelt es sich um den Niederschlag von Sinkstoffen in der Nähe vorangegangener örtlicher Zusammenballungen. In den Haupt- und Nebenvorflutern des Anwachsgebietes werden nämlich bei normalen Tiden und auch bei Springtiden besonders bei bewegter See Sinkstoffe abgesetzt, für deren Beförderung auf den Anwachs hinauf die bewegenden Kräfte und der Wasserstand nicht ausreichen. Es werden gewissermaßen Schlickdepots von begrenzter Dauer angelegt. Durch später wirksam werdende stärkere Kräfte werden diese Depots wieder „in Lösung“ ge-

Tabelle 3

Sinkstoffwerte je Liter in einem Hauptvorfluter des Anwachs südlich vom Hindenburgdamm bei aus- und einströmendem Wasser

Datum: 21. 1. 1954; Wetterlage: NW-Wind 4, See bewegt; Hochwasser: 16³⁰
Position: Hindenburgdamm Süd, Hauptentwässerung im Anwachs. Entnahme am Brückens-
steg in der Höhe des Barackenlagers (vgl. Abb. 9)

Zeit der Entnahme	Gesamttiefe m	Entnahmetiefe	Stromrichtung	Salzgehalt ‰	Sinkstoffgehalt mg/Liter
11 ⁰⁵	0,30	Oberfläche	Ebbstrom	26,94	110
12 ³⁰	0,25	Oberfläche	Ebbstrom	26,82	129
15 ²⁵	0,20	Grund	Stau	26,74	104
15 ³⁵	0,20	Grund	Stau	26,62	79
16 ⁰⁰	0,40	Oberfläche	Flutstrom	26,58	100
			setzt ein		
		Grund	Flutstrom	26,56	868
16 ¹⁵	0,60	Oberfläche	Flutstrom	26,87	114
16 ²⁰		Grund	Flutstrom	27,12	177
16 ³⁵	0,65	Oberfläche	Stau	27,92	50
		Grund	Stau	27,90	105
16 ⁴⁵		Oberfläche	Stau	27,27	65
		0,30 m	Stau	27,47	61
		Grund	Stau	26,47	53
17 ⁰⁰	0,65	—	Ebbstrom	—	—
			setzt ein		

bracht und im höheren Anwachs endgültig sedimentiert (sekundäre Sedimentation). Im einzelnen soll darüber weiter unten berichtet werden (vgl. S. 63 und Abb. 30).

Die vom Seedeich der Wiedingharde westwärts verlaufenden Hauptvorfluter sind im Zuge der Landgewinnungsarbeiten künstlich angelegt. Ihre Sohlenlage gegenüber der Oberfläche des Anwachs, die hier bei der Meßstelle etwa bei + 1,25 m NN, also rund \times 0,25 m über dem mittleren Hochwasserspiegel liegt, beträgt etwa 1,45 m (Abb. 9). Am seewärtigen Ende des Vorfluters schieben sich stets neue Sedimente mit dem Flutstrom in breiter Front heran, so daß hier trotz künstlicher Ausräumungen immer wieder eine Barre gebildet wird. Steigt nun bei Flut der Wasserspiegel, so staut sich zunächst hier draußen vor den Landgewinnungswerken das Wasser und erst von einer gewissen Höhe ab strömt es, nach Überwindung der Barre, in den Vorfluter hinauf. So kommt es, daß der Strom im Vorfluter an der Meßstelle noch vier Stunden nach Niedrigwasser seewärts abfließt. Nach der Tabelle 3 kam der auslaufende Strom erst um 15²⁵ zum Stehen. Um 16⁰⁰ setzte langsam der Rückstrom ein. Dann erscheint für die Dauer nur einer halben Stunde der echte Flutstrom, dessen Kraft an dem betreffenden Meßstage schon um 16³⁵ erlosch. Bis 17⁰⁰ dauerte der Stau und langsam strömte das Wasser wieder ab. Dieser Verlauf ist jedoch nicht ganz die Regel. Am Tage der Messung drehte der Wind nämlich gegen Abend von NW über N nach NO. Die ablandige Tendenz des Windwechsels hatte sich schon am geringen Wasserstand des Meßtages im voraus bemerkbar gemacht, eine Erscheinung, die an der Küste häufig zu beobachten ist.

Der halbablandige Wind am nächsten Tag gab dann die Erklärung für den geringen Wasserstand. Bei normaler Westwindlage wird der Flutstrom in den Hauptvorflutern eher einsetzen, länger andauern und auch höher auflaufen, so daß der Wasserstand bei Tidehochwasser 25 bis 40 cm unter der Anwachsfläche zu liegen pflegt. Die Gesamtwassertiefe wird an der Meßstelle also bei normaler Westwindtide rund 1,00 m betragen, gegenüber nur 0,65 m am Tage der Messung (Tab. 3). Die am Meßtag gefundenen Sinkstoffwerte sind dem geringen Wasserumsatz entsprechend ziemlich klein. Als Höchstwert ragt die Schöpfprobe heraus, die in dem Augenblick gewonnen wurde, als der Flutstrom an der

Meßstelle vorüberschoß. Er führte eine deutlich erkennbare Sinkstoffwolke mit sich. Es wurden 868 mg/Liter am Grund gemessen, an der Oberfläche zur gleichen Zeit dagegen nur 114 mg. Das hohe Sinkstoffgefälle von oben nach unten bestätigt auch hier die Regel. Man kann sich nicht vorstellen, daß der Aufwuchs aus diesen geringen Werten Nutzen ziehen könnte. Es müssen also Kräfte anderer Größenordnungen vermutet werden.

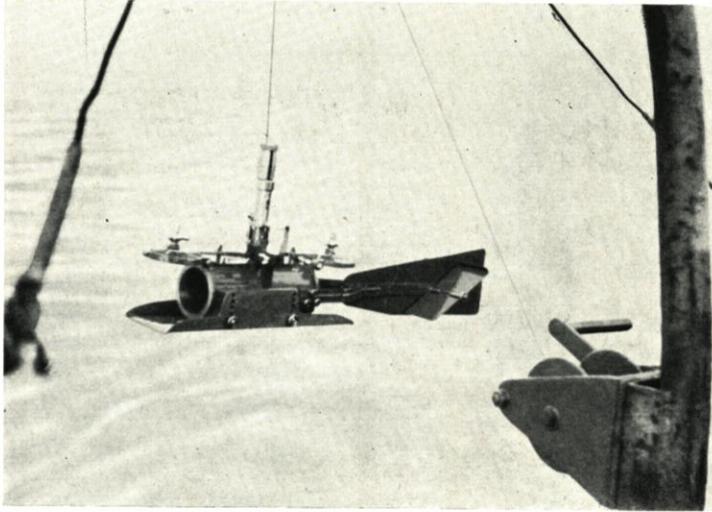


Abb. 8. Sinkstoffentnahme mit dem horizontalen Wasserschöpfer mit Grundkufe nach WOHLBERG und SCHWEDER
Bildarchiv Westküste, 1951



Abb. 9. Sinkstoffentnahme in einer Hauptentwässerung südlich vom Hindenburgdamm
Bildarchiv Westküste, Januar 1954. Aufn. E. WOHLBERG

Im allgemeinen kann immer wieder bei jedem normalen Ablauf der Tide die Beobachtung gemacht werden, daß das bei Ebbe in das freie Wattenmeer zurückfließende Wasser zumindest im Bereich des Anwachsens ziemlich klar ist, sich also der bei Flut mitgebrachten Sinkstoffe in hohem Grade entledigt hat. So war zum Beispiel das aus den Nebenvorflutern zuletzt

abfließende Wasser am Meßtage kristallklar. Dasselbe gilt für das aus den noch höher gelegenen Grüppen, der dritten und letzten Stufe des Vorflutersystems, abfließende Wasser. Das ist jedoch nicht immer so. Zum Abschluß der Erörterung über die im Wasser bewegten Sinkstoffe sei nunmehr die Sturmflut als die für die Aufhöhung des Anwachsens entscheidende Tide Gegenstand der Betrachtung.

2. Der Sinkstoffgehalt bei Sturmfluten

Die Frage zu stellen, was an unserer Küste geschähe, wenn es keine vorherrschenden Westwinde und auch keine Sturmfluten gäbe, ist an sich müßig, aber wohl doch mit einem Blick auf die große volkswirtschaftliche Bedeutung der künstlich geförderten Landgewinnung rein gedanklich berechtigt. Landgewinnung an sich wäre natürlich auch dann möglich, aber Maß und Fortschritt dieser Arbeiten wären weit geringer als heute unter den tatsächlichen Gegebenheiten. Der jährliche Zuwachs an neuem Sediment im Anwachsgebiet sinkt zur Bedeutungslosigkeit herab, wenn in einer Winterperiode die Sturmfluten ausbleiben. So sehr wir einerseits unablässig bemüht sind, den Sturmfluten zu wehren, so willkommen sind uns andererseits die kraft ihrer Dynamik herangeführten Sinkstoffe als Aufbaumaterial für unsere Köge. Für den Fernerstehenden mögen die Worte: Keine neuen Köge ohne Sturmfluten! einen widersinnigen und bitteren Unterton haben. Sie sprechen indessen nur Alltägliches und Naturgegebenes aus und besagen, daß die Sturmflut für unsere Küste tatsächlich zweierlei Bedeutung hat.

Es entbehrt für den Wattenmeerforscher nicht einer gewissen Tragik, daß die Sturmflut ihm immer nur in ihren Folgen vor die Augen kommt. Exaktes wußten wir bisher nur von ihrer Höhe, ihrer Steiggeschwindigkeit und ihrer Dauer, Angaben, die wir später den Pegelablesungen verdanken. Über Wellenhöhen, Strömungsgeschwindigkeiten, Erosions- und Transportkräfte und Sinkstoffführung der Sturmtide bei Eintritt in das Wattenmeer sowohl als auch unmittelbar an der Küste während des Ablaufs des Sturmes wissen wir nichts. Unsere Meßfahrzeuge sind für den Meßdienst im Sturm nicht eingerichtet, und außerdem läßt die allzuenge Nachbarschaft der flachen Gründe und — hinsichtlich der Abtrift durch stoßartige Sturmböen — die Nähe von Damm und Deich das Abreiten eines Sturmes auf den flachgehenden Fahrzeugen nicht ratsam erscheinen. So blieb bisher nur die Möglichkeit, durch rückschauende Betrachtung rechnerisch abzuleiten, was empirisch zu belegen noch verwehrt war. Da aber mit dieser Bescheidung weder der praktischen Landgewinnung noch der Wattenmeerforschung gedient ist, sollte man für künftige Sinkstoffuntersuchungen bei Sturmflut im Wattenmeer feste Stationen in Form von während des Sturmes zu besetzenden Pfahlbauten errichten, von denen aus die verschiedenen Messungen während des ganzen Sturmablaufs durchgeführt werden können. Aber dies ist im Augenblick nur ein Plan, dessen Durchführung von größeren Geldmitteln abhängig ist²⁾.

Um aber überhaupt einmal eine erste Vorstellung zu erhalten, welche Mengen an Sinkstoff das vom Sturm gepeitschte und gegen die Küste brandende Wasser in der Raumeinheit mit sich zu führen imstande ist, hat der Verfasser während der letzten Sturmflut dieses Winters am 15. und 16. Januar 1954 selbst den Versuch unternommen, auf der Höhe der Sturmentwicklung am Hindenburgdamm eine Anzahl von Schöpfproben zu gewinnen. Wegen der Schwierigkeiten, die bei der Entnahme der Wasserproben zu überwinden waren, konnte natürlich nur eine begrenzte Anzahl entnommen werden. Da die Hauptvorfluter südlich und nördlich vom Hindenburgdamm auch bei Niedrigwasser an jenen Sturmtagen randvoll blieben und der gesamte Anwachs während des HHW rund zwei Meter hoch überflutet war (Abb. 10 auf S. 48), blieb nur die Möglichkeit, die Schöpfproben unmittelbar vom Damm aus zu entnehmen. Da das Wasser hoch an der Dammböschung stand, galt es, den Wasserschöpfer so weit

²⁾ Dr. MARTIN PLATH, vor dem Kriege zoologischer Mitarbeiter der Forschungsstelle Westküste, 1942 auf dem Felde in Rußland geblieben, hatte durch die Konstruktion von sogenannten Sinkstoffstationen, die an beliebiger Stelle im Wattenmeer und im Anwachsgebiet aufgestellt werden können, der Forschung einen gewissen Ausweg aus den technischen Unzulänglichkeiten gezeigt [PLATH (86)]. Diese Methode erfordert jedoch einen größeren Aufwand an Zeit und Personal. Die Wiedergabe seiner Versuche und Geräte wird demnächst in dieser Schriftenreihe erfolgen.

Abb. 10
Sturmflut am 16. Januar
1954. Blick vom Damm auf
den Festlandsdeich. Die
dunkle Zone im Wasser
zeigt schwimmende See-
gräser an. Der ganze
Anwachs ist hoch überflutet

Bildarchiv Westküste, Januar 1954



Abb. 11
Neue Ablagerungen durch
die Winterfluten 1948/9
südlich vom Damm

Bildarchiv Nissenhaus, März 1949



Abb. 12
Neue Ablagerungen durch
die Sturmflut am 16. Januar
1954 (vgl. Abb. 10 u. 13).
Die Sinkstoffe waren nach
dieser Flut über den ges-
amten Anwachs gleich-
mäßig verteilt (primäre
Sedimentation).
Die Andelvegetation zeigte
nach dem Abflauen der
Sturmflut eine zellenartig
gegliederte Oberfläche. Alle
„Vertiefungen“ sind mit
Schlick angefüllt

Bildarchiv Westküste, Januar 1954
Aufnahmen: E. WOHLBERG



wie irgend möglich vom Damm entfernt ins Wasser zu bringen und im geeignet erscheinenden Moment in der gewohnten Weise mit dem Fallgewicht auszulösen. Dieses mußte von Hand geschehen, weil ein ausladender Galgen mit dem Gerät im Sturm und Seegang gar nicht gehalten werden konnte. Beim Abstieg durch die an der Böschung herrschende See wurde von einem zweiten und dritten Mann Hilfestellung geleistet.

Auf diese Weise gelang es an je zwei Stationen südlich und nördlich vom Damm während des Sturmes jedesmal sechs Schöpfproben zu gewinnen. Die Südseite des Damms lag in breiter Front in Luv, die Nordseite bei Bahnkilometer 16,3 in Lee und bei Bahnkilometer 17,5 dagegen infolge der Dammkrümmung ebenfalls in Luv. An beiden Stationen der Südseite wurde das Wasser in hohen Wellen gegen die Böschung gepeitscht, die Farbe des Wassers war schwarz.

An der Nordseite herrschte bei Station km 16,3 Wasserruhe, während auf der zweiten Station der Nordseite bei km 17,5 das Wasser ebenfalls heftig bewegt war. An beiden Nordstationen aber war die Farbe des Wassers im Gegensatz zur Südseite hell, gelblich grau. Es kam den Messungen beziehungsweise der Auswertung der Messungen zugute, daß auf begrenztem Raum einerseits gleichgerichtete, andererseits aber auch stark unterschiedliche dynamische Bedingungen herrschten.

Tabelle 4

Sinkstoffwerte bei Sturmflut an der südlichen und nördlichen
Seite des Hindenburgdamms
(vgl. Abb. 7 und 10)

Datum: 16. 1. 1954; Wetterlage: Sturm aus WSW, See stark bewegt, Windgeschwindigkeit um 20 m/s, in Böen bis zu 35 m/s; Hochwasser: 12⁰⁸; Höchster Wasserstand: 10⁴⁵

1. Position: Hindenburgdamm	Wasser stark bewegt, Farbe dunkel
Südseite	Alle Entnahmen 10 cm unter Oberfläche
Zeit: um HW	Probe 1 2877 mg/Liter
Entnahme 1—3 bei Bahnkilometer 16,3	Probe 2 2268 „
Lage der Entnahmestelle in Luv	Probe 3 3070 „
Entnahme 7—9 bei Bahnkilometer 17,5	Probe 7 2557 „
Lage der Entnahmestelle in Luv	Probe 8 2608 „
	Probe 9 2458 „
2. Position: Hindenburgdamm	Alle Entnahmen 10 cm unter Oberfläche
Nordseite	Wasser ruhig, Farbe hell
Zeit: um HW	Probe 4 931 mg/Liter
Entnahme 4—6 bei Bahnkilometer 16,3	Probe 5 874 „
Lage der Entnahmestelle in Lee	Probe 6 833 „
Entnahme 10—12 bei Bahnkilometer 17,5	Wasser stark bewegt, Farbe hell
Lage der Entnahmestelle in Luv	Probe 10 3220 „
Seegang setzt hier um die nördliche Krümmung	Probe 11 3139 „
schräg gegen den Damm	Probe 12 3231 „

An Hand der Tabelle 4 und mit Hilfe der graphischen Darstellung, Abbildung 13, seien die Werte der Sinkstoffproben von der Sturmflut kurz besprochen.

Die sechs Werte von der Südseite des Damms lagen im Durchschnitt über 2500 mg und überschritten sogar 3000 mg/Liter. Die Untersuchung des Sinkstoffes zeigte den überragend hohen Gehalt an feinsten Körnungen; die Staub- und Tonfraktionen gaben den Proben ihren Charakter. Feinste Sandpartikelchen spielten nur eine untergeordnete Rolle.

Die Proben an der Nordseite des Damms waren dagegen gewichtsmäßig von Station zu Station außerordentlich unterschiedlich (Luv/Lee-Wirkung). Die bei Bahnkilometer 16,3 aus ruhigem Wasser gewonnenen Proben erreichten rund gerechnet nur einen Bruchteil der Sinkstoffmengen, die bei Bahnkilometer 17,5 aus bewegttem Wasser geschöpft wurden. Das

Gewichtsverhältnis Luv zu Lee betrug an diesem Tage im Bereich des Dammes 4 : 1. Die Zusammensetzung der Nordproben unterschied sich von den Südproben durch einen größeren Gehalt an Feinsand.

Es wäre vermessen, aus diesen wenigen Proben weitgreifende Folgerungen oder gar Verallgemeinerungen ableiten zu wollen, aber als erste überhaupt bekanntgewordene Sturm-

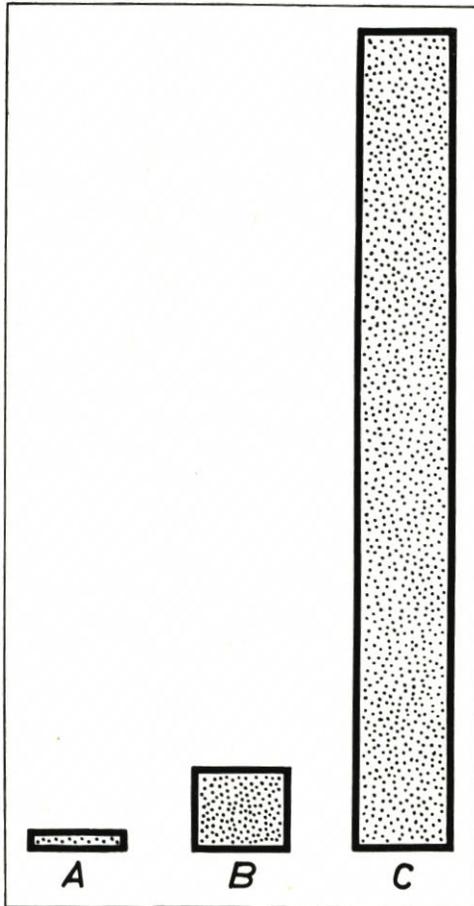


Abb. 13. Darstellung der Sinkstoffwerte je Liter südlich vom Hindenburgdamm, gemittelt aus 84 Schöpfproben

- A = Oberflächenwerte bei normaler Tide
 B = Mittelwerte von zusammen je vier Entnahmen einer Station: Oberfläche, Wassertiefenmitte, 20 cm über Grund, und Grund bei normaler Tide
 C = Oberflächenwerte bei Sturmflut

flutwerte gewinnen sie doch einen hohen orientierenden Wert für weitere Erwägungen und Untersuchungen. Auffallend ist die geringe Streuung der Werte jeder Station, so daß angenommen werden darf, daß sie keine Zufallswerte darstellen, sondern eine durchgehende Gleichmäßigkeit in der Verteilung der Sinkstoffe an jenem Sturmtage bestätigen. Des weiteren erhellt aus der Gegenüberstellung der Süd- und Nordwerte beziehungsweise der Werte an den beiden dynamisch stark unterschiedlichen Nordstationen, daß der Wellenbewegung im Gebiet des Hindenburgdammes für das Maß der Sinkstoffaufbereitung und -führung eine entscheidende Bedeutung beizumessen ist. Auf eine weitere Erörterung sei mit Bedacht verzichtet, denn mit diesen ersten empirisch ermittelten Sturmflutwerten ist erst eine Frage in das Licht der Diskussion gerückt, mehr nicht. Eine Fülle weiterer Fragen der Sturmflut bleibt auch jetzt noch offen, zum Beispiel das Sinkstoffgefälle von der offenen See übers Watt zu Deich und Damm, das Sinkstoffgefälle in der Wassersäule draußen und drinnen, auf den Wattflächen, in den Prielten, in den Hauptvorflutern und über dem Anwachs, das zeitliche Steigen und Fallen der Sinkstoffwerte im ganzen Ablauf der Sturmflut, die Bestandteile der Sinkstoffe, feine und grobe Mineralien, organische Bestandteile, tierische Ausscheidungen und andere Fragen.

An dieser Stelle sei auch die Frage aufgeworfen, welche Mengen Sinkstoff das vor dem Dammbau über die Watten strömende Wasser mit sich geführt haben mag und welcher Art diese Sinkstoffe gewesen sein mögen. Beide Fragen sind heute nicht mehr zu beantworten. Wenn die Ansicht richtig ist, daß das Vorrücken der Küste durch wachsendes Neuland und durch den Bau von Deichen und Dämmen im Laufe der Jahrhunderte zu einer stetig wachsenden Tiefenerosion im Vorfeld der Küste, also im Wattenmeer, geführt hat

[DELFF (9), DITTMER (13)], dann wäre es denkbar, daß die heute im Schutze des Dammes niederfallenden Sinkstoffe in ihrer Hauptmasse in erhöhtem Maße erst jetzt durch Erosionswirkungen im Wattenmeer als Folge der Abdämmung aufbereitet und in den neuen Sinkstoffhaushalt einbezogen wurden. Diese Frage bedarf jedoch einer sorgfältigen Prüfung und Berechnung an Hand morphologischer, geologischer und hydrologischer Daten.

Bevor die Erörterung der Sinkstoffführung am Hindenburgdamm an dieser Stelle zunächst abgeschlossen wird, sei noch auf die graphische Darstellung der Abbildung 13 verwiesen. Es darf auch hier vorweg bemerkt werden, daß es dem Verfasser fernliegt, mit dieser Wiedergabe eine verallgemeinernde Betrachtung, sozusagen höherer Ordnung, bieten zu wollen. Angesichts der im vorhergehenden Abschnitt besprochenen Sinkstoffwerte von normalen Tiden dürfte es jedoch angebracht sein, jene Werte einmal zu denen der Sturmflut in Beziehung zu setzen. Wie die Tabellen 1, 2 und 3 angeben, liegt der durchschnittliche Oberflächenwert bei 53 mg/Liter, der durchschnittliche Wert aus je vier Ablesungen im Bereich der ganzen Wassersäule einer Station (Oberfläche, mittlere Tiefe, 20 cm über Grund und Grund) während der normalen Tide bei 240 mg/Liter, die Sturmflutwerte, ebenfalls südlich des Dammes (Tabelle 4), dagegen bei 2640 mg/Liter. Setzt man diese Mittelwerte (wie bereits betont, mit allem Vorbehalt) zueinander in Beziehung, so liegt ein rundes Verhältnis von 1 : 5 : 50 vor. Die Kolumnen A, B und C der Abbildung 13 sprechen eine eindrucksvolle Sprache. Sie sind trotz aller Vorbehalte mehr als ein Bild. Man denke dabei an den oben gebrachten Satz: Keine neuen Köge ohne Sturmfluten, und man erkennt den Zusammenhang. Diese Einsicht bedarf zwar noch eines festeren und breiteren Unterbaus durch viele Messungen während kommender kritischer Tage an unserer Küste, aber die ersten Ergebnisse sollten schon jetzt den Anlaß geben, den Sinkstofffragen bei Sturmflut den ihnen gebührenden Platz in der Küstenforschung zuzuweisen.

B. Die Sedimente vor und nach dem Dammbau

Die Erörterung der Sedimente umfaßt in diesem Abschnitt die Korngrößenzusammensetzung, den Kalkgehalt und den Gehalt an organischer Substanz und teilt sich in die Wattablagerungen vor und nach dem Dammbau.

Analysen aus der Zeit vor dem Dammbau liegen nicht vor, so daß das unter den jüngsten Ablagerungen heute ruhende Sediment nachträglich auf seine Eigenschaften untersucht werden muß. Da der Wechsel vom alten Wattboden (Oberfläche vor dem Dammbau) zum jungen (heutige Oberfläche) im Aufbau sehr schroff ist, ist die gesonderte Betrachtung mit großer Sicherheit vor Verwechslung auch heute noch möglich.

Tabelle 5

Der Korngrößenaufbau der Sedimente südlich vom Hindenburgdamm

Probe 12, 202, 208 = Ablagerungen vor dem Dammbau

Probe 11, 200, 207 = Ablagerungen nach dem Dammbau

Hindenburgdamm Süd — Anwachsgebiet — Korngrößenanalyse 1936

Bodenprobe Nr.	Bodenart	Entnahmetiefe cm unter Oberfläche	Korngrößenanteil in v. H.	
			unter 20 μ	über 20 μ
11	neues Sediment: fetter Schlick	10	70,85	29,15
12	altes Sediment: Sand	50—60	16,90	83,10
200	neues Sediment: fetter Schlick	15	54,50	45,50
202	altes Sediment: Sand	50—60	8,30	91,70
207	neues Sediment: fetter Schlick	10—20	74,20	25,80
208	altes Sediment: Sand	60	9,70	90,30

Abb. 14
Der Korngrößenaufbau der
Sedimente südlich vom
Damm; 208 vor, 207 nach
dem Dammbau

waagerecht = < 20 μ
feine Punkte = < 100 μ
grobe Punkte = > 100 μ

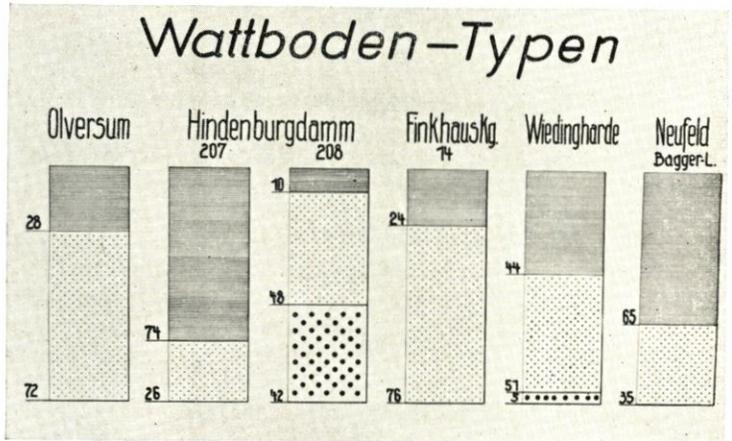
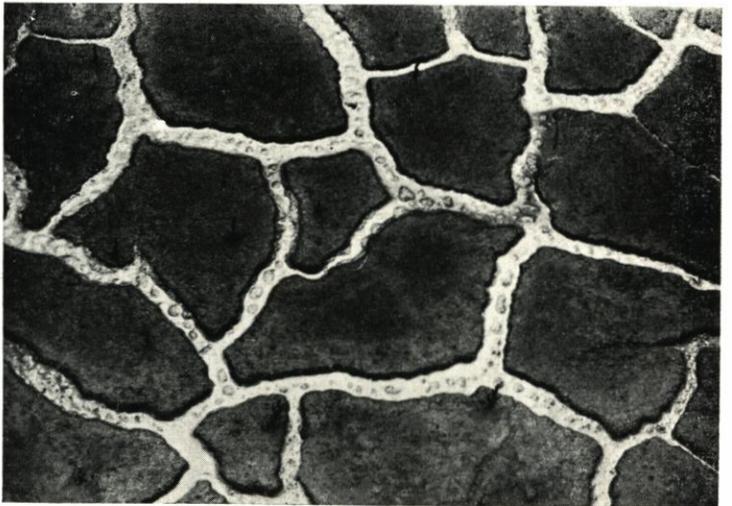


Abb. 15
Die im Schutz des Dammes
abgelagerten Sedimente sind
von einseitig tonigem Auf-
bau. Bei ausbleibender Über-
flutung neigen sie zur
Klüftung (Aufn.: 1931)



Abb. 16
Das mit Überflutungswasser
angefüllte Kluftsystem.
Nach erneuter mehrmaliger
Überflutung mildern sich die
Klufränder und die Spalten
füllen sich mit neuen Sedi-
menten. Bläschenbildung
durch Diatomeen-
Assimilation



Bildarchiv Westküste, Juni 1952
Aufnahmen: E. WOHLBERG



Abb. 17
Zahllose Wattsschnecken
(*Hydrobia ulvae*) weiden
die Oberfläche der frisch ab-
gelagerten Sinkstoffe ab

Bildarchiv Westküste 40/19, 1936



Abb. 18
Die Schwundspaltenbildung
beginnt. Die kleinen Watt-
schnecken graben sich ein,
um der für sie ungünstigen
Trockenlage zu entgehen
(Aufn.: 1931)



Abb. 19
Die Schwundspaltenbildung
nimmt zu. Bei anhaltender
Trockenzeit wird das Leben
der Wattsschnecken gefährdet.
Der Vorgang ihrer Fossil-
bildung wird eingeleitet

Bildarchiv Westküste 52/11a, 1937
Aufnahmen: E. WOHLÉNBERG

Die alten Wattsedimente werden heute im Anwachsgebiet in ungefähr 60 bis 120 cm Tiefe angetroffen. Es lag seinerzeit als Oberflächensediment mithin etwa 50 bis 100 cm unter der MThw-Linie.

Auf der Abbildung 14 zeigt die dritte Säule von links (Bodenprobe 208) den Anteil der Hauptfraktionen. Verglichen mit den übrigen Diagrammen der Abbildung lag also ein stark sandiges Sediment vor. Die Staub- und Tonfraktion war nur mit 10 v. H. und der Mittelsand dagegen mit 42 v. H. des Gesamtgewichts vertreten. Es gehörte also damals zum Typ der Sandwurm wattungen [THAMDRUP (57); WOHLBERG (68); LINKE (32); PLATH (45); KÖNIG (26); HANSEN (20)]. An Mollusken haben die Sandklaffmuschel (*Mya arenaria*), die Herzmuschel (*Cardium edule*) und auch die Plattmuschel (*Macoma baltica*) in diesem Watt gelebt, wie die Funde in den Ablagerungen zeigen.

Das zweite Blockdiagramm von links auf der Abbildung 14 zeigt den Korngrößenbau der Bodenprobe 207. Es handelt sich um eine Ablagerung, die als Folge des Dammbaus auf dem alten, soeben besprochenen Wattboden zur Ablagerung gekommen ist. Bei diesem jungen Sediment beherrscht die Staub- und Tonfraktion (unter 20 μ) mit 74 v. H. das Diagramm. Der Feinsandgehalt beträgt nur 26 v. H. des Gesamtgewichts, Mittelsand ist nicht mehr vorhanden. Die beiden Blockdiagramme zeigen eindeutig, daß sich die Ablagerungsbedingungen von der Probe 208 zur Probe 207 grundlegend geändert haben. Das Sediment 208 wurde abgelagert, als zwischen der Insel Sylt und dem Festland noch bei jeder Tide rund 38 Millionen Kubikmeter Wasser hindurchströmten. Die eingangs dieses Aufsatzes erwähnte Süd-Nordströmung setzte also täglich zweimal über das Sediment hinweg. Dieser ruhelose Zustand hat den sandigen Aufbau des Sediments verursacht und wenig Schlück zur Ablagerung kommen lassen.

Ganz anders dagegen sieht die Wasserbewegung bei Probe 207 aus. Das Überdie-Watten-Strömen nach Norden ist seit Errichtung des Damms vorbei. Aus dem einseitig gerichteten Überströmen ist besonders in den Festlandswinkeln zwischen Damm und Deich ein Überstauen, ein Verharren, geworden. Die durch den Dammbau grundlegend veränderten Kräfte der Wasserbewegung zeichnen sich also mit aller Deutlichkeit im Aufbau der Sedimente ab.

Tabelle 6

Kalkgehalt und Totalglühverlust der Sedimente
südlich vom Hindenburgdamm

Probe 12, 202, 208 = Ablagerungen vor dem Dammbau

Probe 11, 200, 207 = Ablagerungen nach dem Dammbau

Hindenburgdamm Süd — Anwachsgebiet — Analysen 1936

Bodenprobe Nr.	Bodenart	Entnahmetiefe cm unter Oberfläche	Kalkgehalt in v. H.	Totalglühverlust in v. H.
11	neues Sediment: fetter Schlick	10	8,53	12,98
12	altes Sediment: Sand	50—60	3,88	4,48
200	neues Sediment: fetter Schlick	15	8,18	14,47
202	altes Sediment: Sand	50—60	3,02	4,20
207	neues Sediment: fetter Schlick	10—20	8,21	— *
208	altes Sediment: Sand	50—60	2,95	— *

* nicht untersucht



Abb. 20
Alljährlich trägt die Tide
große Mengen von Seegras-
blättern aus dem offenen
Wattenmeer an den Damm

Bildarchiv Westküste 781,
April 1936



Abb. 21
Angetriebene, vom Seegang
zusammengestauchte See-
gräser, Grün- und Rotalgen
am Fuß des Dammes

Bildarchiv Westküste, Juni 1952

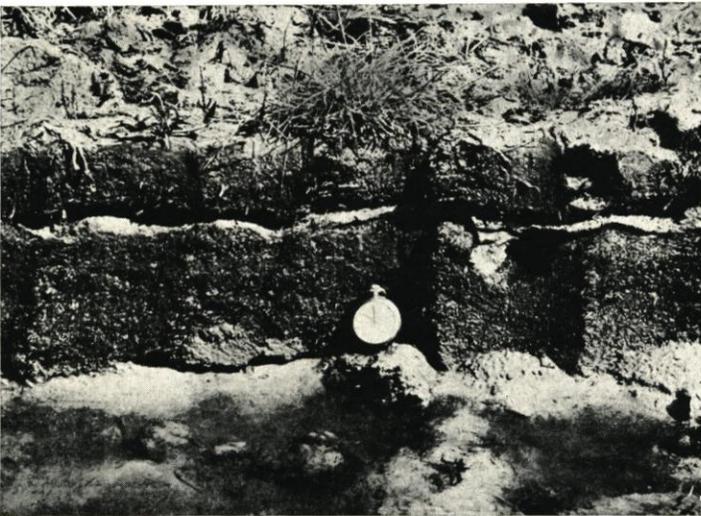


Abb. 22
Der Aufbau der Sedimente
unmittelbar am Damm.
Dicke Seegrashorizonte
wechseln ab mit dünneren
Schichten aus Ton und
feinstem Sand
(Uhr als Maßstab)

Bildarchiv Westküste 63/24,
Juli 1937
Aufnahmen: E. WOHLBERG

Daß es sich bei den beiden Blockdiagrammen um Sediment-Typen handelt und nicht um ausgesuchte Sonderfälle, möge die Besprechung der Tabelle 5 belegen. Der Einfachheit halber werden nur Korngrößen von über 20μ und unter 20μ Durchmesser einander gegenübergestellt. Die übrigen Fraktionen verhalten sich ähnlich den auf Abbildungen 14 wiedergegebenen Proben 207 und 208.

Wird die Untersuchung derselben Bodenproben ausgedehnt auf den Gehalt an Kalk und organischer Substanz, so ergeben sich Werte von der nämlichen Gegensätzlichkeit. In Tabelle 6 seien beide Eigenschaften einander gegenübergestellt. Die neuen Ablagerungen enthalten mehr als doppelt so viel Kalk und rund dreimal so viel organische Substanz. Übergänge zwischen altem und neuem Sediment sind nirgends erkennbar. Die alten und neuen Sedimente verdanken ihre Entstehung also ganz verschiedenen Bedingungen.

Zum Abschluß der Besprechung über die Sedimente am Hindenburgdamm darf ein in besonders sinnfälliger Weise als organogen zu bezeichnender Sedimenttyp nicht unerwähnt bleiben, weil er an der übrigen Küste nicht bekannt ist. Er kommt zu beiden Seiten in unmittelbarer Nähe des Dammes gleich stark vor.

Im Wattenmeer zwischen Sylt und dem Festland befinden sich umfangreiche Seegraswiesen. Es handelt sich in erster Linie um das Zwergseegras (*Zostera nana*), in kleinerem Maße auch um *Zostera angustifolia*. Der Laubfall dieser Seegräser beginnt im Herbst und hält bis in den Winter hinein an. Bei Winden aus westlichen Richtungen bringt der Gezeitenstrom südlich und nördlich des Dammes bei jeder Tide ungeheure Mengen der abgestoßenen Blattspresse auf das Festland zu in Bewegung und schiebt diesen Massentreibsel in die beiden Buchten des Dammes hinein. Abbildung 21 zeigt das durch den Seegang zusammengedrückte Pflanzenmaterial, und Abbildung 20 läßt den Umfang dieser Ablagerungen unmittelbar am Dammfuß erkennen. Das angetriebene Seegras liegt hier zu gewissen Zeiten in flächiger Ablagerung bis zu einer Stärke von über 1 m. Dann setzt im Frühjahr und Sommer der Zersetzungs Vorgang dieser dichtgelagerten, rein organischen Massen ein und dort, wo sie flächig abgelagert wurden, werden sie von neuen, mehr mineralischen Ablagerungen zugedeckt. Sie sind damit ein Bestandteil des Sediments geworden. Die Abbildung 22 zeigt einen Aufschluß durch diesen neuen Sedimenttypus. Natürlich wird sich bei fortschreitender Zersetzung der Vorgang der Schrumpfung und Sackung in dieser Gegend besonders bemerkbar machen. Sie gehören aber ohnehin zu den höchstgelegenen Zonen des Anwaches und werden bei späterer landwirtschaftlicher Nutzung auf Grund ihres hochgradig humosen Aufbaus eine andere Bearbeitung und Nutzung erfahren müssen als die normale Koogsfläche.

Da aus der Zeit vor dem Dammbau keine Bestimmungen des Wassergehaltes der Sedimente vorliegen, kann das im Sediment gebundene Wasser für den Vergleich der Ablagerungen nicht als Kennzeichen herangezogen werden. Die Abbildungen 15, 16, 18 und 19 vermitteln in Ergänzung zu den Zahlenwerten in den Tabellen eine Vorstellung von dem einseitig feinkörnigen Aufbau der nach dem Dammbau abgelagerten Sedimente. Ihr hoher Gehalt an Ton und organischer Substanz läßt den feinkörnigen Boden durch Verdunstung infolge länger ausbleibender Überflutung stark schrumpfen und zeigt das von ausgesprochenen Tonböden bekannte Bild der fortschreitenden Trockenrißbildung. Vom alten Sediment (vor dem Dammbau) wäre dieses Bild — auch bei gleicher Höhenlage zum MThw — nicht denkbar gewesen, denn ein Sandwurm watt schrumpft nicht bis zur Klüftung.

Aus den vorstehenden Ausführungen, Tabellen und Abbildungen erhellt somit eindeutig, daß nach Heranziehung der Kriterien: Korngrößenzusammensetzung, Kalkgehalt, Totalglühverlust und organischer Aufbau, nicht nur keine Übergänge zwischen den alten und neuen Sedimenten bestehen, sondern überhaupt keine Beziehungen. In dieser Weise ist eine große Anzahl im Jahre 1936 am Hindenburgdamm entnommener Bodenproben untersucht worden. Die Anführung dieser wenigen Beispiele möge jedoch genügen, um den tiefen Einschnitt in den Haushalt der Sedimente erkennbar werden zu lassen, den der Dammbau verursacht hat.

C. Die Ablagerung der Sinkstoffe und die Leistung der Pflanzengesellschaften für den Anwachs am Hindenburgdamm

Nachdem in den vorangegangenen Abschnitten das Wasser als bewegende und tragende Kraft auf der einen Seite und die Sinkstoffe auf der anderen als die Vorbedingungen für den Anwachs vor der Küste erkannt und zueinander in Beziehung gesetzt wurden, sei auf die besonderen Erscheinungsformen der Sinkstoffablagerung und -bindung am Hindenburgdamm im einzelnen eingegangen. Es liegt in der Natur der Sache, daß bei diesen Darlegungen die biologischen Erscheinungen, ja, man darf sogar sagen, die biologischen Kräfte, das Thema tragen müssen. Somit befassen sich die folgenden Abschnitte mit den mannigfachen Wechselbeziehungen zwischen den pflanzlichen Organismen und dem Sediment im *statu nascendi*.

1. Schlickbindung durch Diatomeen

„Je feiner der Schlick, desto höher sein Diatomeengehalt“
BROCKMANN (4a)

Auf Grund der auf den Wattten der Eidermündung in den Jahren 1929/30 angestellten Untersuchungen hat der Verfasser bereits damals auf die erstaunliche Leistung der Kieselalgen für den Aufwuchs der Wattten bzw. der Verlandungszone hingewiesen [WOHLENBERG (64, 67)]. Die damals und auch heute noch bedeutsame Frage der Gezeitschichtung als eine mit bloßem Auge nicht erkennbare Mikroschichtung führte seinerzeit zu folgender Versuchsanordnung.

In einem Wattaquarium mit künstlicher Gezeitenbewegung wurde ein Sediment eingebracht, das am natürlichen Standort der oberen Wattzone eine reiche Diatomeenflora trug.

Das Sediment wurde nach Einbringung in das Aquarium während der künstlichen „Überflutung“ aufgewirbelt und während des erneuten Absetzens der Suspension sich selber überlassen. Nach dem

Absetzen wurde das Wasser abgelassen, es trat „Ebbe“ ein. Die Diatomeen hatten an der Oberfläche einen üppigen geschlossenen Rasen entwickelt. Nachdem Sonne und Luft — den Bedingungen am natürlichen Standort entsprechend — einige Stunden eingewirkt hatten, wurde eine neue „Überflutung“ eingeleitet. Dem „Flutwasser“ wurde eine gehörige Menge „Sinkstoff“ in Form von diatomeenfreiem Feinsand beigegeben und das ganze als Suspension über das „Watt“ ins Aquarium geleitet. In kurzer Zeit setzte sich der „Sinkstoff“ zu Boden, das heißt, er lagerte sich auf den ersten Diatomeenrasen ab. Als das „Flutwasser“ klarer wurde, konnten schon bald bei Lupenvergrößerung gelblich-olivgrüne Farbflecken auf der Oberfläche des zu Ruhe gekommenen „Sinkstoffes“ beobachtet werden. Unterem Mikroskop erkannte man die Bewegung der einzelnen Diatomeen, die schließlich dazu führte, daß nach geraumer Zeit der zugeführte „Sinkstoff“ zum Sediment geworden und dieses an der neuen Oberfläche von einem Diatomeenrasen bedeckt war. Dieser „Überflutungs- und Sedimentationsvorgang“ mit diatomeenfreiem Feinsand wurde wiederholt, und die verschütteten Diatomeen durchwanderten von neuem die sie bedeckende Schicht aus Feinsand und bildeten an der neuen Oberfläche abermals einen geschlossenen Diatomeenrasen. Der Versuch wurde abgebrochen, um das „Watt“ abtrocknen zu lassen. Nach einigen Tagen wurde ein Querbruch gemacht und die Bruchstelle in ganzer Ausdehnung mit einem feinen, ständig wieder in Wasser getauchten Haarpinsel vorsichtig bearbeitet, sozusagen künstlich erodiert, wie es das Meer in freier Landschaft an der Anwachskante leistet und auf diese Weise das Profil der

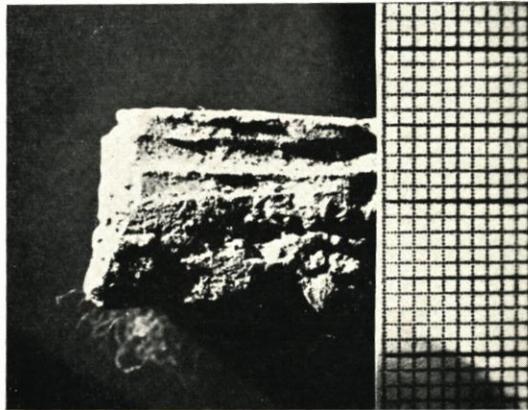


Abb. 23. Künstlich eingeleitete biogene Sedimentation im Wattaquarium (links Diatomeenhorizonte, rechts Millimeterpapier als Maßstab,

vgl. Text S. 57 und 58)

Aufn. E. WOHLENBERG, 1929

jungen Marsch herausarbeitet. Durch diese Pinselerosion traten nun die einzelnen, durch künstliche „Überflutung“ und „Sedimentation“ angelegten Diatomeenhorizonte deutlich in Erscheinung. Abbildung 23 zeigt diesen Querbruch. Das Vor- und Zurückspringen der „erodierten“ Schichten zeigt Lage und Leistung der Diatomeen.

Es ist aus der allgemeinen Biologie der Diatomeen bekannt, daß jede Zelle die Fähigkeit hat, ihren Ort durch eigene Kraft zu verändern [BROCKMANN (4c)]. Jede Zelle erzeugt um sich herum durch Schleimabsonderung ein Medium kolloidaler Natur, innerhalb dessen sich die Zelle fortbewegen kann. Durch Seisмотaxis wird die Aufwärtsbewegung ausgelöst, sobald sich Sinkstoffteile auf die Zelle legen. Hat die Flut ihren Sinkstoff auf dem Watt zur Ablagerung gebracht und ist der Standort von Diatomeen besiedelt, so setzt sich durch den seismotaktischen Reiz das ungezählte Heer der Diatomeen in Bewegung, wandert durch das soeben abgelagerte Sediment nach oben hindurch und gibt sich an der neuen Oberfläche seinen vegetativen Lebensäußerungen (Vermehrung durch Teilung, Atmung, Assimilation und der Erzeugung des kolloidartigen Mediums als lebensnotwendiger Umgebung) hin. Bei dem Antrocknen der neuen Oberfläche während der Ebbe oder richtiger gesagt, während der Zeit der Nichtüberflutung des Watts, bleibt ein Teil der Einzeller auf der Strecke. Sie wandern bei der folgenden Überflutung nicht mit an die neue Oberfläche, sondern werden zusammen mit dem horizontbildenden Schleim zum Fossil. Der während der tidebedingten Trockenlage erhärtete Schleimhorizont bietet der künstlichen Pinselerosion einen größeren Widerstand als das feinsandige, im Vergleich zur Diatomeengröße aber grobe, künstlich zugeführte Sediment. Dieses springt dann im Profil zurück, die Horizonte ragen vor. So ist das auf Abbildung 23 abgebildete Präparat entstanden.

Der im Wattaquarium durchgeführte Versuch ist ein getreues Abbild der vom Menschen unbeeinflussten Vorgänge am natürlichen Standort. Kein grundsätzlicher, sondern nur ein gradueller Unterschied besteht in der Menge und Art der je Tide zugeführten Sinkstoffe. In der freien Natur geht zumindest die normale Tide etwas sanfter vor; sie verursacht nicht so grobbankige Schichtung. Bei ihrer Tätigkeit handelt es sich um die Ablagerung allerfeinster Lamellen aus neuen Sedimenten. Anders ist es natürlich bei Sturmfluten, wo nicht selten die Diatomeensiedlungen so stark überdeckt werden, daß sie absterben, bevor sie die mühevolle Wanderung an die Oberfläche der neuen Sedimentlage vollzogen haben. Sie bleiben somit als „geschlossene“ Gesellschaft im Sediment als Fossil erhalten.

Diese dem Menschen im allgemeinen verborgen bleibenden Vorgänge bedurften der eingehenden Schilderung, um die ungeheure Leistung dieser mikroskopisch kleinen Einzeller besonders im Watt und in der Verlandungszone südlich wie nördlich vom Hindenburgdamm überhaupt vorstellbar und glaubhaft zu machen.

Wegen der Bedeutung der Diatomeen für den gesamten organischen Haushalt des Wattenmeeres besteht seit langem eine enge Zusammenarbeit mit dem bekannten Diatomeenforscher Dr. h. c. CHRISTOPH BROCKMANN. Seit fast zwanzig Jahren ist BROCKMANN für sein Fachgebiet von der Oekologie der Kieselalgen ehrenamtlicher Mitarbeiter der Westküstenforschung. Im Laufe dieser langen Jahre hat er im Rahmen der Untersuchungen im schleswig-holsteinischen Wattenmeer zahlreiche wissenschaftliche Arbeitsberichte verfaßt und der Küstenforschung damit in ganz uneigennütziger Weise einen unschätzbaren Dienst erwiesen. In einer seiner zahlreichen Arbeiten über die Wattdiatomeen [BROCKMAN (4a-c)] befaßt er sich eingehender mit dem Einfluß des Wattbodens auf die Diatomeen. Wegen der darin zum Ausdruck kommenden großen Anschaulichkeit in der Darstellung über die Umwelt der Kieselalgen möge BROCKMANN hier selber zu Wort kommen:

„Ein Sandkorn wirkt gegen eine Kieselalge wie ein Felsblock, der im Rollen einen Menschen erdrückt. Die Länge der Watt-Diatomeen beträgt bei großen Formen über 0,1 mm, bei kleinen 0,020 mm und weniger, so daß letztere im Sand kriechen können wie Mäuse in einem Haufen von Pflastersteinen. Selbst beim „Grobstaube“ (0,100—0,050 mm) können kleine Diatomeen noch in „Spalten“ fallen, und erst die feinste Körnung (0,010 mm) können sie wie ein Schlitten überfahren.“ BROCKMANN weist dann nach, daß häufig eine Beziehung besteht zwischen der Korngröße der Sedimente und der Größe der dieses Sediment besiedelnden Diatomeen und sagt: „Auf dem reinsten Schlickwatt der Westküste südlich des Hindenburgdammes leben viele zarte und kleine Formen. Aber gerade hier wird deutlich, wie wenig durchschlagend das angenommene Prinzip ist; denn neben den kleinen Formen kommen auf dem weichen Schlick auch sehr große als Massenformen vor, darunter *Pleurosigma angulatum* v. *quadrata* und *Gyrosigma balticum*. Die Korngröße ist nicht



Abb. 24
Diatomeenrasen auf dem
Watt südlich vom Damm
während optimaler Assi-
miliation (Zündholz als
Maßstab)

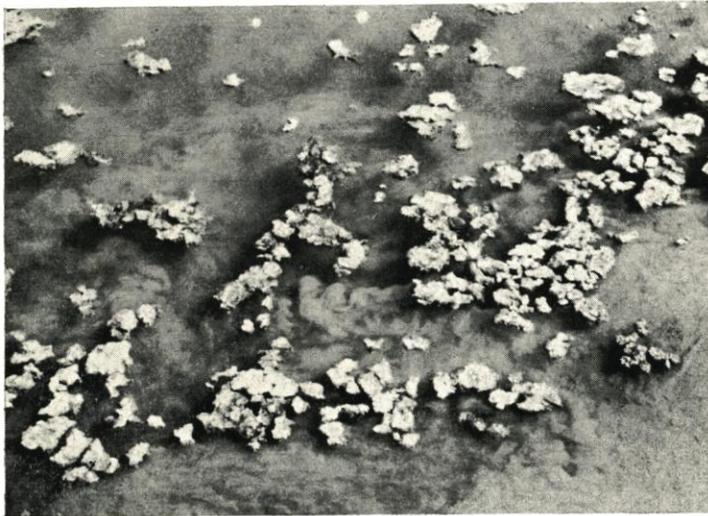


Abb. 25
Verriftung von Diatomeen-
flocken mit dem Flutstrom

Bildarchiv Westküste 52/9a,
Mai 1937



Abb. 26
Assimilierende blasen-
bildende Diatomeenhäute
werden bei Flut aufwärts in
die Gruppen verfrachtet und
bilden hier neue Siedlungen
(links Uhr als Maßstab)

Bildarchiv Westküste, Juni 1952
Aufnahmen: E. WOHLBERG

allein bestimmend für die Verteilung der Arten. Nach WOHLBERG [1937, (68)] wirken die bodenphysikalischen Faktoren, worunter das Bodengefüge (Luftgehalt, Wassergehalt, Über- bzw. Untersättigung, Festigkeit, Einlagerungen) verstanden werden soll, in erster Linie auslesend und begrenzend. Sie sind der Korngrößenzusammensetzung als Standortfaktor bei weitem überlegen.“ „Welche chemisch-physikalischen Bodenfaktoren für die Watt-Diatomeen besondere Bedeutung haben, bedarf noch der Untersuchung. Wenn es wahr ist, daß die Besiedlungsdichte auf dem Watt größer ist als auf dem dauernd wasserbedeckten Meeresgrunde, so liegt der Gedanke an Lufthunger (Aerophilie) nahe.“

Die Diatomeengesellschaft auf den Schlickwatten am Hindenburgdamm (Abb. 24) hat BROCKMANN als *Scoliopleuretum tumidae* bezeichnet und nach Proben aus den Jahren 1937, 1938 und 1941 folgende Bestandsliste aufgestellt:

Das *Scoliopleuretum tumidae* von Klanxbüll

Charakterformen:

gesellschaftsfest:

Scoliopleura tumida
Pleurosigma angul v. qu.
Nitzschia sigma

gesellschaftshold:

Gyrosigma speuceri
Stauroneis salina
Gyrosigma attenuatum
Surirella gemma
Galoneis formosa
Gyrosigma balticum

Begleiter:

Navicula cincta
Nitzschia epithemioides
Navicula digitoradiata
Pleurosigma aestuari
Navicula cryptocephala
Navicula pygmaea
Gyrosigma fasciola

Zur ökologischen Kennzeichnung der Massenform am Hindenburgdamm *Pleurosigma angulatum var. quadrata* schreibt BROCKMANN: „... mit *Scoliopleura tumida* zusammen Charakterform auf weichem Schlickwatt in Anlandungsräumen, hier oft bestandbildend; nimmt aber in einiger Entfernung vom Strande schnell ab. In Halligtümpeln ebenfalls häufig.“

Wenden wir unsere Aufmerksamkeit nunmehr dem freien Standort am Hindenburgdamm zu und betrachten die Abbildungen 24 und 27, so liegt die große Leistung dieser winzigen Meeresorganismen klar vor unserem Auge. Fernab von den eigentlichen Landgewinnungswerken, aber im engeren Schutzbereich des Dammes haben sich die Diatomeen weithin sichtbar aktiv in den Sedimentationsvorgang eingeschaltet und in der Tat Schlickdepots größten Umfangs angelegt. Der ganze Vordergrund des Übersichtsbildes, Abbildungen 27 und 28, zeigt jung abgelagerte feinstkörnige Sedimente, die ihre Bindung an diese Örtlichkeit lediglich den an ihrer Oberfläche wuchernden Diatomeen verdanken. Ohne sie wäre das halbflüssige Sediment hier nicht gebunden worden³⁾. Ob es anderswo zur Ablagerung gekommen oder aber von den folgenden Tiden wieder entführt worden wäre, soll hier nicht erörtert werden. Auch jetzt noch ist dieses Sediment außerordentlich weich und wasserhaltig, so daß man bis über die Knie, an manchen Stellen sogar bis an den Leib einsinkt. Diese selbst für das Wattenmeer ungewöhnliche „Verkehrsfeindlichkeit“ erschwert natürlich die Fragestellung am

³⁾ „Mit mechanischen Bewegungsvorgängen sind die Bildungsgesetze des Schlickwattes nicht erschöpft“ [BROCKMANN (4a)].



Abb. 27
Durch üppige Diatomeen-
siedlungen erzeugte
Schlickdepots südlich
vom Damm. Die stärkere
Wasserbewegung in Damm-
nähe ist im Begriff, das
biogen entstandene Tafel-
system wieder aufzulösen

Bildarchiv Nissenhaus, März 1949



Abb. 28
Nahaufnahme von Schlick-
tafeln. In der Mitte eine
Rotsandstation
(vgl. schemat. Abb. 30)

Bildarchiv Nissenhaus, März 1949



Abb. 29
Rotsandstation auf einer
Schlicktafel zwecks Messung
der biogenen Sedi-
mentation. Links vom
Stationsholz ist der soeben
als Indikator ausgestreute
rote Sand noch erkennbar
(vgl. Text S. 62)

Bildarchiv Nissenhaus, März 1949
Aufnahmen: E. WOHLBERG

Standort. Sie mußte aber durchgeführt werden, um einen unanfechtbaren Nachweis von der wirklichen Leistung der Diatomeen darbringen zu können.

Die folgende Aufnahme, Abbildung 28, zeigt das „Depot“ aus größerer Nähe. Es handelt sich um platten- oder tafelförmige Erhebungen, die von flachen, wassergefüllten Senken unterbrochen werden. Die Höhenunterschiede zwischen Tafel und Senke bewegen sich zwischen 15 und 20 cm. Setzt im Verlauf des Aufwuchses durch unruhiges Wetter stärkere Wasserbewegung ein, Seegang oder Überströmung, dann erliegt der zarte Diatomeenrasen häufig den erodierenden Kräften (Abbildungen 27 und 28). Und wenn erst die Tafeln mit steilem Rand zur Senke abfallen und in den zum Teil abflußlosen Vertiefungen das Wasser auch während der Ebbe stehen bleibt, dann erfährt die Seitenerosion keine Unterbrechung mehr und das bei Flut über diesen Standort zum Anwachs strömende Wasser empfängt aus dieser Zone eine stetige Anreicherung mit Schlickteilen und lagert den hier zusätzlich aufgenommenen Sinkstoff in den Vorflutern und in den Grüppen der Verlandungszone ab. Bei den auf den Abbildungen erkennbaren Schlickdepots handelt es sich um Ablagerungen der Herbst- und Wintertiden 1947/48. Im Frühjahr 1948 setzte eine üppige Diatomeenwucherung ein, band die noch sehr labil gelagerten Sedimente und bestimmte dann nach erfolgter Bindung das Aussehen der Oberfläche. Auf die hohe ökologische Bedeutung des Wasserstandes im Sediment — ob wasserübersättigt oder wasseruntersättigt — ist früher bereits hingewiesen worden [THAMDRUP (57), WOHLBERG (68)]. Auch hier im Kräftefeld der Diatomeen ist der Sättigungsgrad der Sedimentoberfläche von entscheidender Bedeutung für den Erfolg der Schlickbindung. Der Diatomeenrasen vermag zwar auch unter ständiger Wasserbedeckung Sinkstoffe zu binden und unter sich zu schützen; aber seine Bindungskraft ist eine weit größere, wenn es ihm gelingt, sozusagen aus dem „Grundwasserbereich“ der jungen Ablagerung herauszuwachsen und beim Trockenfallen während der Ebbe eine geschlossene Decke zu bilden und aufrecht zu erhalten.

Ist erst einmal in solch einem nährstoffreichen Watt, wie es am Hindenburgdamm vorliegt, der Diatomeenrasen bis zur zeitweiligen tidebedingten Trockenlage aufgewachsen, dann geht der Aufwuchs mit jeder Tide weiter, so daß die auf den Abbildungen 27 und 28 erkennbaren Schlicktafeln — in ihrer Ausgangssubstanz zwar auf Wintersedimente zurückgehend — danach aber ständigen Zuwachs aus den täglichen Überflutungen beziehen.

Es fehlt jetzt noch als vielleicht notwendiges Schlußglied in der Erörterung über die Leistung der Diatomeen der exakte Nachweis vom Maß des Aufwuchses.

Die Schwierigkeiten einer solchen unmittelbaren Messung am Standort im Tidebereich lagen außer in der bereits geschilderten Unwegsamkeit des allzu weichen Watts in der Erfüllung der unerläßlichen Voraussetzung, die Wattoberfläche und den darauf liegenden, leicht verletzbaren Diatomeenrasen bei der Messung nicht zu zerstören. Es galt also, jede mögliche Fehlerquelle von vornherein auszuschalten. Nach Auswahl einer beliebigen Schlicktafel wurde von der Senke her etwa ein Quadratmeter der Oberfläche mit feinem, auf chemischem Wege (vgl. methodische Einzelheiten auf S. 77) leuchtend rot gefärbten Sand bestreut. Um die mit diesem Indikator versehene Fläche nach etlichen Überflutungen wiederfinden zu können, wurde die Stelle mit einem Holzstab gekennzeichnet, der ebenfalls von der Senke her vorsichtig in die Sedimentplatte eingedrückt wurde. Auf Abbildung 28 ist der Holzpfahl in der Mitte des Bildes erkennbar, und in der Nahaufnahme (Abb. 29) zeichnet sich links vom Stationspfahl für wenige Augenblicke noch der rote Sand als hellerer Fleck gegen die olivgrüne Umgebung ab. Nach zwei Stunden war der rote Sand bereits weitgehend von den Diatomeen durchwandert und nach den folgenden Überflutungen lag er unsichtbar unter der Diatomeenhaut, so wie es jedem natürlich abgelagerten Sinkstoff auch ergangen wäre. Nach acht Tagen, das heißt nach sechzehnmaliger Überflutung wurde die Station wieder aufgesucht und die Lage der Rotsandschicht festgestellt. Stürmische Wetterlagen waren in dieser Zeit nicht eingetreten. Die Ablagerung betrug in dieser Zeit reichlich vier (!) Millimeter. Unbeantwortet bleibt jedoch die Frage, ob man berechtigt ist, aus diesen Beobachtungen schon verallgemeinernde Schlüsse zu ziehen, da Lebenserscheinungen immer sehr „individuell“ sind. Diese Frage findet noch eine ergänzende Erörterung im vorletzten Absatz dieser Arbeit auf Seite 88.

Aber eine andere Frage bedarf noch der Beantwortung. Handelt es sich bei diesem nach sechzehnmaliger Überflutung gemessenen Wert wirklich um den Sinkstoff, der vor dem Niedersinken auf den Diatomeenrasen jeweils frisch von der Tide herangeführt worden ist? Diese Frage muß verneint werden unter Hinweis auf die Morphologie des Geländes (Abb. 27, 31 und 32) und auf die zahlreichen an Ort und Stelle angestellten Beobachtungen. Selbst im Sediment stehend, wurde das Überströmen und die Tätigkeit auch der kleinsten Wellen immer wieder kritisch verfolgt und dabei festgestellt, daß der Herkunft nach zweierlei Arten von Sinkstoffen zu unterscheiden sind. Die nach Geländebeobachtungen entworfene schematische Abbildung 30 möge dies verständlich machen. Auf der Zeichnung sind die von den

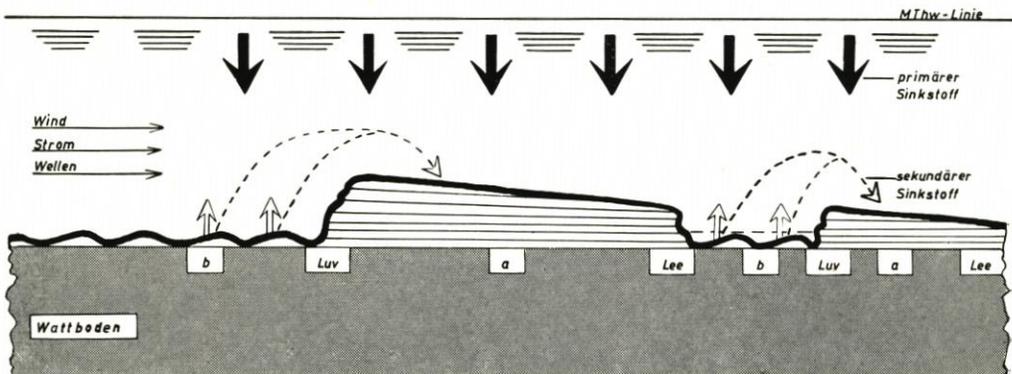


Abb. 30. Sedimentbindung am Hindenburgdamm durch Diatomeen
Oberfläche durch Erosionswirkung in Tafeln (a) und Rinnen (b) gegliedert (schematisch)

Zeichenerklärung:

geschlossene Pfeile = primäre Sedimentation.

Absinken der neuen Sinkstoffe während der Überflutung und biogene Bindung bei a

offene Pfeile = sekundäre Sedimentation,

durch Strömung und Wellen aufgewirbelte, infolge Wasserübersättigung nicht gebundene Sedimente

Erosionswirkung bei b, biogene Bindung bei a

enge waagerechte Linien bei a = Aufwuchs mit Diatomeenhorizonten und wasseruntersättigter Oberfläche, biogene Bindung der primären und sekundären Sinkstoffe

Wellenlinie und gestrichelte waagerechte Linie bei b = Tröge und Rinnen mit wasserübersättigtem Sediment, stehendes Wasser, keine Bindung der Sinkstoffe

(vgl. Abb. 28)

Abbildungen 27 und 28 bekannten Tafeln und Senken schematisch wiedergegeben. Wind, Sturm und Seegang sollen von links her über das Watt ihren Weg nehmen. Die MThw-Linie sei 50 bis 60 cm über Gelände angenommen. Die waagrecht gestrichelte Linie in den Senken zeigt das in den Vertiefungen auch während der Ebbe verbliebene Restwasser an. Das Sediment in den Senken ist infolgedessen wasserübersättigt. Durch die immer vorhandene leichte Unruhe im Wasser erhält das halbflüssige Sediment der Senken keine ausgesprochene Schichtungsstruktur. Das Sediment im Bereich der Tafeln dagegen ruht „sicher“ unter der geschlossenen Diatomeendecke. Die weitere Aufmerksamkeit gelte jetzt den Pfeilen. Die senkrecht nach unten weisenden, geschlossenen Pfeile deuten den aus dem Überflutungswasser absinkenden Sinkstoff an; er sei als primärer Sinkstoff bezeichnet. Die aus den Senken nach oben weisenden offenen Pfeile sind das Zeichen für den Sinkstoff, der infolge Seegang besonders im labilgelagerten Sediment der Senken erneut aufgewirbelt wird, sich alsdann als sekundärer Sinkstoff mit dem bewegten Überflutungswasser vereinigt und schließlich in den Bereich der nach rechts gerichteten Wellenbewegung und Strömung gerät. Von dieser wird dieser „sekundäre“ Sinkstoff entweder ganz fortgenommen aus dem Gebiet oder auch teilweise zu-

Abb. 31

Die durch biogene Kräfte während 1953 aufgewachsenen Schlickflächen wurden durch die Winterfluten stark erodiert und unruhig gegliedert. Die Oberflächenstruktur geht zum Teil auf das frühere Klüftungssystem zurück

Bildarchiv Westküste, Januar 1954



Abb. 32

Seegang und Strömung haben das Relief abgehobelt. Die abgetragenen tonigen Sedimente wurden dem Anwachs zuggeführt, dort endgültig gebunden oder auch in den Sinkstoffkreislauf wieder einbezogen. Man erkennt noch Spuren der früheren Trockenrisse

Bildarchiv Westküste, Januar 1954



Abb. 33

Nahaufnahme von den abgehobelten Resten der Schlicktafeln. Die Vertiefungen sind angefüllt mit unvorstellbaren Mengen der Wattschnecke *Hydrobia ulvae*, die in Lagen bis zu 10 cm Mächtigkeit zusammengeschwemmt sind und hier zum Fossil werden

Bildarchiv Westküste, Januar 1954
Aufnahmen: E. WOHLBERG



sammen mit dem „primären“ Sinkstoff auf den Tafeln abgelagert und dort alsdann von den Diatomeen gebunden. Die oben gestellte Frage ist damit beantwortet, und BROCKMANN'S Satz *Umlagerung und Neubildung vollziehen sich auf den Watten gleichzeitig* bestätigt (4a). Es können also der Herkunft nach zweierlei Arten von Sinkstoffen für den Aufwuchs der Diatomeensiedlung verantwortlich gemacht werden. Mit welchen Anteilen an primären und sekundären Sinkstoffen zu rechnen ist, bleibt eine Frage der Bewegungsvorgänge einerseits und des Grades der Umlagerungsbereitschaft der Sedimente in den Senken andererseits. So zeigen zum Beispiel besonders die quer zur Überströmung liegenden Schlicktafeln an der Oberfläche stets eine Neigung von Luv nach Lee. Das bewirken aber nicht die „primären“ sondern die zusätzliche Menge der „sekundären“ Sinkstoffe, deren Anteil in der Luvzone naturgemäß größer ist als in der Leezone einer jeden Tafel. In manchen Fällen konnte an dem aus den Tafeln herausgestochenen Sediment (etwa 8—10 cm lange Kerne) die Beobachtung gemacht werden, daß sich beim Trocknungsvorgang Trennschichten herausbildeten. Diese waren entweder vorwiegend feinsandiger Natur oder auch der Diatomeenhorizont bildete die Trennfläche.

2. Verlandung durch Queller und Andel

Wenn die Leistung der Hauptverlandungspflanzen in dieser Arbeit nur kurz gestreift wird, dann geschieht es, weil das Verhalten beider Pflanzen im jüngeren Schrifttum ausreichend behandelt ist [NIENBURG (41); WOHLBERG (64, 65, 69); KOLUMBE (27); LINKE (30); KÖNIG (25)]. Die anomalen Erscheinungsformen beider Gesellschaften im Anwachsgebiet des Hindenburgdamms sollen weiter unten erörtert werden.

Wenn die im vorhergehenden Abschnitt behandelte Leistung der Diatomeen sich zur Hauptsache unterhalb der eigentlichen Quellergesellschaft abspielt, so ist der Diatomeeinfluß auch noch im eigentlichen Anwachsgebiet sehr stark erkennbar. Der im Frühjahr vom Quellerkeimling besiedelte Standort erfährt in anderen Verlandungszonen im allgemeinen keine wesentlichen Veränderungen. In der Regel kann ein nach Millimetern zählender Aufwuchs im *Salicornietum* festgestellt werden, nur in der Nähe von Prielen oder Senken mit erhöhter Wasserbewegung gelegentlich ein Abtrag. Wie in so vielen Fällen, so liegen auch auf diesem Gebiet der Veränderungen des Standortes im Laufe einer Wachstumsperiode die Verhältnisse am Hindenburgdamm anders. Die Aufwuchsgeschwindigkeit nimmt hier nicht nur im Diatomeengebiet, sondern auch in den beiden genannten Pflanzengesellschaften sehr hohe Werte an (vgl. Abb. 11, 12, 56 u. 63). So kann der durch Diatomeensiedlungen zusätzlich unterstützte Aufwuchs in der Initialphase des Quellers [WOHLBERG (67 und 89)] im Laufe des Sommers so hoch werden, daß die einzelne Quellerpflanze im neuen Sediment zu ersticken droht. Es ist durch frühere Untersuchungen [WOHLBERG (65)] nachgewiesen, daß der Queller nicht in der Lage ist, das über dem Keimbett sich neu ablagernde Sediment etwa durch Adventiwurzelbildung zusätzlich zu durchwurzeln oder auch zusätzlich neue grüne Sprosse zu bilden, um aus dem Sedimentzuwachs „herauszukommen“, wozu ja bekanntlich *Puccinellia*, der Andel, vortrefflich in der Lage ist. Solche erstickten Quellerpflanzen konnten am Hindenburgdamm häufig festgestellt werden.

Abbildung 39 zeigt üppig entwickelte Pflanzen aus der *Salicornia*-Initialphase, deren Standort während der Vegetationsperiode noch eine Auflage von etwa 50 mm erfahren hatte. Durch kreisende, vom überströmenden Wasser verursachte Bewegung der Pflanzen hatte sich im aufgewachsenen Sediment im zentralen Umkreis der Pflanze ein Trichter gebildet. Im Gegensatz zu früheren Beobachtungen [WOHLBERG (65), LINKE (30)] war aber nicht das Sediment des Keimbettes vom Frühjahr erodiert, sondern nur das zugewachsene. Die Diatomeensiedlungen konnten sich im Bereich der sich ständig bewegenden Quellerpflanze nicht halten und beschränkten ihre schlickbindende Tätigkeit auf das Gebiet zwischen den Pflanzen außerhalb der Drehkreise.

Die hohe sedimentbindende Kraft der Andelgesellschaft wurde auch im Gebiet des Hindenburgdamms bestätigt gefunden. Der Andel zeichnet sich vor allen Verlandungspflanzen dadurch aus, daß er das einmal „gefaßte“ Sediment nicht oder doch nur sehr schwer wieder

Abb. 34
Das wasserübersättigte Watt
außerhalb der Werke
südlich vom Damm. Die
Winterfluten haben große
Mengen von Muscheln und
Tangen im Vorfeld der
Landgewinnungszone zur
Ablagerung gebracht

Bildarchiv Westküste 40/22,
November 1936



Abb. 35
Erste Schlickablagerungen
mit wasserübersättigter
Oberfläche außerhalb (!)
der Lahnungsfelder südlich
vom Damm

Bildarchiv Westküste 40/23a,
November 1936



Abb. 36
Nach dem erstmaligen Aus-
hub der Gruppen geht die
Sedimentation neuer Sink-
stoffe pausenlos weiter.
Hier sollte der Gruppen-
aushub mehrere Male im
Jahr vorgenommen werden

Bildarchiv Westküste 40/26,
November 1936
Aufnahmen: E. WOHLBERG





Abb. 37
Die Queller-Anfangsphase
in den äußersten Werken
südlich vom Damm vor dem
erstmaligen Aushub der
Gruppen während der
Überflutung nach längerer
Trockenlage

Bildarchiv Westküste, August 1953



Abb. 38
Schwundspaltenbildung
durch länger ausbleibende
Überflutung. An den hellen
Flecken ausblühende Salze

Bildarchiv Westküste, August 1953



Abb. 39
Aufwuchs in der Queller-
anfangsphase durch Mithilfe
der Diatomeen. Unmittelbar
um die Quellerpflanzen
versagt die schlickbindende
Wirkung der Diatomeen
infolge fortwährender Be-
wegung der Quellerpflanzen

Bildarchiv Westküste 829,
September 1936
Aufnahmen: E. WOHLBERG

hergibt. Das gilt sowohl von schlickigen als auch von sandigen Sedimenten. Nach neueren Untersuchungen im dänischen Wattenmeer kommt KAI HANSEN (20) zu der Feststellung, daß nur dort Schlick in größerem Umfange abgelagert wird, wo besonders die Andelgesellschaft Fuß gefaßt hat. Das stimmt am Hindenburgdamm durchaus nicht ausschließlich vom Andel. Es trifft auch nicht allgemein für die übrige deutsche Küste zu. Der Andel bindet alle Sedimente, sandige wie schlickige. Auf die schlickbindende Wirkung der Diatomeen, die sich noch im eigentlichen Watt, also weit unterhalb der Salzmarsch, betätigen, sei nochmals hingewiesen (vgl. S. 57 bis 64).

Während der Kriegs- und Nachkriegszeit mußten die Landgewinnungsarbeiten stark vernachlässigt werden. Auch das Anwachsgebiet am Hindenburgdamm blieb lange Jahre fast ganz sich selbst überlassen. Es kam stellenweise zu einer wilden Verlandung; Gruppen und Äcker fehlten, Diatomeen, Queller und Andel wuchsen sozusagen „ohne Führung“. So entwickelten sich einzelne Puccinelliasiedlungen ganz isoliert auf eng begrenztem, in starker Erosion liegenden Raum zu allseitig steilabfallenden Turmgebilden von 40 cm Höhe. Ungeachtet der erodierenden Kräfte hatte der Andel jede Sedimentzufuhr gebunden und zäh festgehalten. In der unmittelbaren Umgebung der Andelsiedlungen erfolgte kein Aufwuchs. Damit dürfte die überragende Leistung des Andels gegenüber anderen Pflanzen veranschaulicht sein. Bei dieser Art Bindung handelt es sich nicht um die bloße Anlage eines vorübergehenden Schlickdepots wie bei den Diatomeen, sondern um Sedimente, die dem späteren Koog erhalten bleiben und durch die in späteren Jahren die Pflugschar ihre Bahnen ziehen wird.

Auf dem Lageplan, Abbildung 58, S. 79, ist die flächenmäßige Verteilung der am Anwachs beteiligten Pflanzengesellschaften wiedergegeben. Die Artenbeteiligung ist außerordentlich arm. Es ist weniger von Gesellschaften zu sprechen als eher von Monokulturen, die fast allein von *Salicornia*, *Suaeda* und *Puccinellia* aufgebaut werden. Hin und wieder erscheint eine *Obione portulacoides*, an zwei Stellen der Anfang einer *Spartina Townsendii*-Siedlung. Auf den hochangespülten Seegrassbeständen am Fuß des Dammes hat sich eine bunte Ruderalflora angesiedelt. Als Besonderheit muß bemerkt werden, daß sich die auf das *Puccinellietum* folgende Rotschwingelgesellschaft, das *Festucetum rubrae litor.* [CHRISTIANSEN (8)] bis heute noch nicht auf dem jungen Anwachs eingestellt hat, obwohl die absolute Höhenlage zum MThw das Gedeihen dieser Gesellschaft wohl gestatten müßte. Die Ursache für das Ausbleiben kann nicht in verbreitungsbiologischen Faktoren liegen, denn vor dem Deichfuß des Wiedingharder Kooges liegt ein schmaler Streifen des *Festucetums rubrae*, das genügend Samen abgeben könnte. Viel eher wird die unzureichende Profilgestaltung als Ursache anzusehen sein. Das *Festucetum* beansprucht nämlich eine ausgezeichnete Vorflut, d. h. eine Ackerwölbung und ein stets offenes Grüppensystem (Abb. 48, 57, A). Wahrscheinlich hat auch das Alter der Sedimente, in diesem Fall ihre Reife, für die Besiedlung mit *Festuca rubra litor.* eine entscheidende Bedeutung.

3. Landgewinnungsmaßnahmen

a) Das ökologische Prinzip der Landgewinnung

Wenn an dieser Stelle den weiteren Ausführungen über die künstlich geförderte Verlandung am Hindenburgdamm die folgenden Überlegungen vorangestellt werden, dann sind es zwei Gründe, die eine Betrachtung mehr grundsätzlicher Art notwendig erscheinen lassen.

Verlandung an der Nordseeküste ist ein biologischer Vorgang. Salz- beziehungsweise Brackwasserpflanzen haben sich in Gemeinschaft mit Wasser und Sinkstoff als die Träger und Gestalter der Verlandungsvorgänge erwiesen. Dabei ist es gleichgültig, ob Verlandung von Natur aus erfolgt oder durch Nachhilfe des Menschen. Das Alltägliche dieser Vorgänge ist allgemein bekannt. Obwohl das Schrifttum hierüber weit zurückreicht und auch an Umfang nicht gering ist, findet sie doch nirgends eine wissenschaftliche Formulierung der Grundidee als solcher. Diese hat zwei Grundlinien, von denen die eine von der Vegetation, die andere vom Wasser, und zwar vom Wasser im Sediment gebildet wird. Die Änderung des Wassergehaltes im Sediment ändert im Watt schlagartig die Lebensbedingungen. Man kann im technischen Sprachgebrauch der Landgewinnung auch von der Änderung des „kleinen Was-



Abb. 40. Erste Lahnung bei Benninghusum, 5 km südlich vom Damm. Die Wattoberfläche ist noch im Naturzustand, wasserübersättigt
Bildarchiv Marschenbauamt Husum. Aufn. ODEFEY, 1927



Abb. 41. Dasselbe Werk wie in Abb. 40 drei Jahre später. Durch die Gliederung der Wattoberfläche (Spatenarbeit) ist aus dem vegetationslosen Watt ein *Salicornietum* mit wasseruntersättigter Oberfläche geworden
Bildarchiv Marschenbauamt Husum. Aufn. ODEFEY, 1930

serhaushalts“ sprechen. Beginnt man mit dem vom Sandwurm besiedelten reinen Sandwatt, so kann hier nur eine Änderung im Sinne der späteren Verlandung eingeleitet werden, indem man durch Spatenarbeit den Grad der Wassersättigung des Sediments ändert. Das geschieht durch das Auswerfen der Grütten. Das bis dahin tischebene, auch bei Ebbe stark wasserhaltige Watt erhält jetzt eine Oberflächengliederung; tiefgelegene Grütten mit stark wasserhaltigem Sediment auf der einen Seite und, mit der Zeit durch Wiederholung des Grüp-

penaushubs, der gewölbte „Acker“ auf der anderen Seite. Im Bereich des „Ackers“ ist das Watt aus dem Zustand der Wasserübersättigung in den Zustand der Wasseruntersättigung übergetreten. Das ist die entscheidende Wandlung am Standort! Die Folge davon ist, daß dem Sandwurm in einem solchen wasseruntersättigten Sediment die Lebensbedingungen sehr erschwert werden [WOHLENBERG (68)]. Es siedeln sich statt seiner andere Organismen an, bis die im Zuge der Spatenarbeit gleichfalls geänderte Höhenlage des Standorts schließlich der Verlandungsvegetation die Möglichkeit der Ansiedlung und des Gedeihens gestattet (vgl. Abb. 40, 41). Der Landgewinnungstechniker weiß, daß er den Sandwurm vertreiben muß, wenn er Fortschritte sehen will. Durch seine Spatenarbeit gewinnt er Einfluß auf den „kleinen Wasserhaushalt“. In der Änderung des „kleinen Wasserhaushalts“, in diesem Falle in der Überführung vom wasserübersättigten Zustand in den wasseruntersättigten, haben wir somit das ökologische Grundgesetz der Landgewinnung zu sehen. Der Raum verbietet es, dieser grundlegenden Frage in ihren vielen Einzelercheinungen weiter nachzugehen. Es wird weiter unten gezeigt, daß jeder Verstoß gegen dieses biologisch-ökologische Grundgesetz in der Landgewinnungspraxis schwerwiegende Folgen nach sich ziehen kann.

b) Grüppen und Äcker

Wie oben erwähnt, konnte schon gegen Ende der Bauarbeiten am Hindenburgdamm eine erste Anschlickung im Süden festgestellt werden [PFEIFFER und MÜGGE (44)]. Die ersten Landgewinnungswerke wurden im Jahre 1925 vom Domänen-Rent- und Bauamt in Husum errichtet. Abbildung 5 und 7 zeigen das dem Damm benachbarte Watt, wo noch keine Buschlahnungen Schutz bieten und der Queller trotzdem mit beträchtlicher Arealenergie im Vorrücken begriffen ist. In dieser Zeit ist das Lahnungssystem angelegt worden, dessen spätere Ausdehnung auf dem Lageplan, Abbildung 58, zu erkennen ist. Auf Abbildung 7 sind die ersten Grüppen erkennbar. Auch hier war als Folge des Dammes bereits dichter Quellerwuchs vorhanden, der sich nach dem Aushub der Grüppen und der damit zunächst einhergehenden Verbesserung der Wachstumsbedingungen noch dichter ansiedelte.

Nun stellte sich im Laufe der dreißiger Jahre heraus, daß der Niederschlag an neuen Sedimenten ein derartiges Ausmaß annahm, daß die Vegetation nicht mehr folgen konnte. Das war bisher von keiner Stelle der Küste bekannt geworden und bildete in der gesamten Landgewinnungspraxis eine neue Lage. Selbst *Salicornia*, an sich eine Pflanze von großer Arealenergie [WOHLENBERG (65)], war nicht in der Lage, die großen Zuwachsflächen so schnell zu besiedeln wie sie anwuchsen.

Dasselbe galt von der auf das *Salicornietum* zum Deich hin folgenden Assoziation, der Andelgesellschaft. Im Gegensatz zum Queller beruht die Inbesitznahme neuer Flächen durch das Andelgras auf vegetativen Vorgängen. Es drohte eine Leere zu entstehen, bis sich schließlich der Anwuchs doch begrünete. Was sich aber ansiedelte, war eine Art Ruderalflora. Der Meerstrandgänsefuß, *Suaeda maritima*, und stellenweise die Melde, *Atriplex litorale*, bemächtigten sich innerhalb von zwei Jahren der gesamten Verlandungszone südlich vom Hindenburgdamm, und zwar in einer Längenausdehnung von etwa 7000 m und einer Breitenausdehnung von 4—500 m [KÖNIG (81)]. Die Abbildungen 42 bis 44 zeigen die meilenweiten *Suaeda*-Bestände. *Salicornia* war nur noch in den etwas tiefer gelegenen Grüppen zu finden, *Puccinellia maritima*, der Andel, blieb ganz aus. Als Sonnenpflanze vermochte er sich im dicht beschatteten Gebiet von *Suaeda* nicht anzusiedeln beziehungsweise war nicht in der Lage, seine schattenwüchsig lang entwickelten Sprosse auf den Boden zu senken und dort zur weiteren Bewurzelung zu bringen.

Die merkwürdige Vegetationsfolge zog bedenkliche wirtschaftliche Folgen nach sich. Erstens fanden die Außendeichscharfe keine ausreichende Andelweide, zweitens kam die für die Struktur des neu anwachsenden Bodens so wertvolle Schichtung durch Andelhorizonte [WOHLENBERG (66)] nicht zur Entwicklung, und drittens war es unmöglich, in dem äußerlich so verheißungsvoll „begrüneten“ Gebiet etwa Rasensoden für Deichbauten beziehungsweise Deichausbesserungsarbeiten zu gewinnen.



Abb. 42
Jungpflanzen von *Suaeda*
und *Salicornia* im Wett-
bewerb auf dem Anwachs
südlich vom Damm

Bildarchiv Westküste, Juni 1952



Abb. 43
Auf vielen Hektaren des
Anwachses südlich vom
Damm hatte *Suaeda* den
Queller und Andel vorüber-
gehend verdrängt und die
Alleinherrschaft angetreten

Bildarchiv Westküste 835,
September 1936



Abb. 44
Das Winterbild der mit
Suaeda bestandenen An-
wachsfächen. Die dürren
Stengel sind von Blättern
und Samen entblößt
(Uhr als Maßstab)

Bildarchiv Westküste 52/7,
Mai 1937
Aufnahmen: E. WOHLBERG

Die Ursache für diese absonderliche Erscheinung lag in der ungewöhnlich schnellen Sedimentation und in verzögerten technischen Maßnahmen. Durch den Bau des Dammes waren schlagartig ganz neue Sedimentationsbedingungen geschaffen worden, die damals noch niemand kannte. Der Zuwachs an neuen Sedimenten erfolgte so schnell, daß die verfügbaren Landgewinnungsarbeiter nicht im entferntesten ausreichten, den Schlicksegen zu meistern. Mit anderen Worten, man war nicht in der Lage, das oben erörterte ökologische Grundgesetz der Landgewinnung im Gleichschritt des geradezu stürmischen Zuwachses zu verwirklichen. Die normalerweise alle zwei Jahre auszuhebenden Gruppen hätten hier am Damm vielleicht zwei- bis dreimal (!) im Jahr und sehr tief ausgehoben werden müssen. Dafür fehlten aber Mittel und Arbeitskräfte. Die für eine erfolgreiche Landgewinnungsarbeit so dringend erforderliche Profilstaltung — Gruppe und Ackerwölbung — unterblieb. Die Nichtbeachtung des ökologischen Grundgesetzes zog die Störung in der sonst gewohnten Vegetationsfolge nach sich.

c) Die Profillumkehr und ihre Folgen

Aber der Verstoß gegen das ökologische Grundgesetz sollte noch bedenklichere Formen annehmen. Im Jahre 1936 blieben große Flächen des Anwachs vollkommene pflanzenleer! Dieser Alarmzustand führte noch im gleichen Jahr zu einer eingehenden Untersuchung an Ort und Stelle. Die Herbst- und Winterfluten 1935/36 hatten ungewöhnliche Mengen an Sinkstoffen am Hindenburgdamm, Nord und Süd, zur Ablagerung gebracht. Die Abbildungen 54 bis 56 lassen den von keinem anderen Küstenabschnitt bekannt gewordenen Umfang der Winterablagerung erkennen. Es liegt nicht etwa nur das bevorzugte Randgebiet einer Haupt- oder Nebenentwässerung unter dem neuen Sediment begraben, sondern riesige Flächen. Man sträubt sich, hier noch von „Sedimentation“ zu sprechen. Eher wäre von einer Schlicküberschiebung in breiter Front zu sprechen. In der Bildmitte tritt noch ein kleiner Streifen der alten Oberfläche hervor, alles andere wurde unter der dickflüssigen schwarzen salbenartigen Masse begraben. Von einer Führung der Sinkstoffe durch Querentwässerung oder gar Gruppen, wie sie die Abbildung 48 so plastisch wiedergibt, kann nicht mehr die Rede sein. Das für die Gesundung des jungen Anwachs so lebensnotwendige Profil von Gruppe und Acker ist nicht mehr erkennbar. Die Aufnahme, Abbildung 56, wurde im April 1936 gemacht. Die junge *Salicornia*-Generation liegt noch im Keimstadium, kommt aber im Mai und Juni scheinbar gut zur Entwicklung. Es kommen Überflutungen und Niederschläge, die unter normalen Verhältnissen dem Quellerwachstum in keiner Weise abträglich sind. Aber das Wasser findet nur langsam zur Vorflut zurück, es bleibt länger als gewöhnlich flächenhaft zurück. Es bilden sich die ersten Anzeichen stagnierenden Wassers, wovon bekannt ist, daß es den sonst so unempfindlichen Queller nicht oder nur in kümmerlichen Exemplaren zur Entwicklung kommen läßt [WARMING (61); WOHLBERG (65 u. 69)]. Die anfangs normal herangewachsenen Quellerbestände bleiben auf weiten Flächen im Wachstum zurück, sie erreichen das Stadium der Blüte nicht mehr, und die grünen Teile fangen an zu faulen. Abbildung 51 gibt diesen ungewöhnlichen Zustand wieder. Im Vordergrund ist das oben besprochene Profil, Gruppe — gewölbter Acker, so gut wie ausgelöscht! Der anfangs dicht besetzte Standort bietet in seiner toten braunen Farbe ein trostloses Bild. Die Aufnahme stammt vom September 1936, einem Zeitpunkt, wo die Pflanzen sonst im vollen Fruchtstand zu stehen pflegen. In der Bildmitte ist eine Querentwässerung erkennbar. Von hier bis in den Hintergrund des Bildes ist das Gruppensystem in beispielhafter Ordnung. Im Gegensatz zum Vordergrund ist das Profil dort aufrechterhalten. Infolgedessen macht die an sich gleiche Vegetation wie im Vordergrund des Bildes hier einen üppigen und gesunden Eindruck.

Gleich trostlose Erscheinungen wurden in Gebieten festgestellt, wo die Gruppen buchstäblich übervoll mit jungem Sediment angefüllt waren. Durch die Leistung der Diatomeen ist in diesen Gruppen der Schlick höher (!) aufgewachsen als die links und rechts von der Gruppe liegenden Äcker, die schon mit *Salicornia* dicht bestanden waren. Auf Abbildung 52 vom Dezember 1936 wird das Ausheben einer solchen übervollen Gruppe gerade vorgenommen und Abbildung 53 zeigt den massigen, ganz undifferenzierten Aufbau des Sediments



Abb. 45
Die Andelsiedlungen
schieben sich polsterförmig
in den noch vegetations-
losen Bereich der mit
neuem Schlick angefüllten
Gruppen vor

Bildarchiv Nissenhaus, Mai 1948



Abb. 46
Die bei ihrer Errichtung das
Watt um 1,00 m über-
ragende Lahnung ist voll-
kommen verlandet und liegt
unter den jungen Ab-
lagerungen begraben

Bildarchiv Westküste 140/13,
August 1940

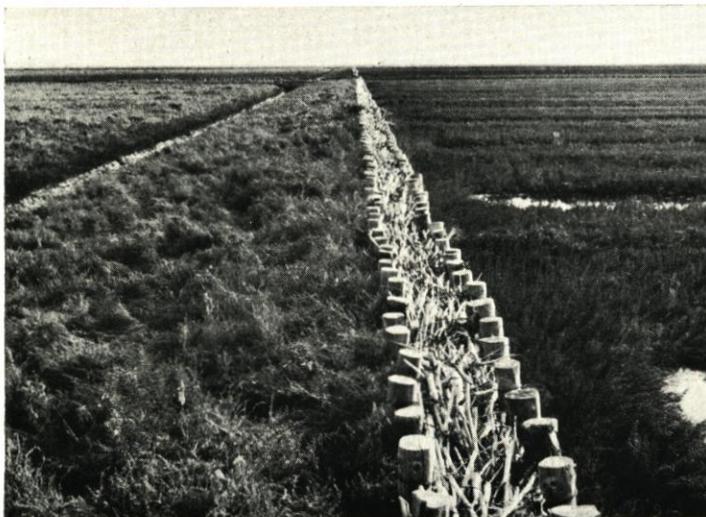


Abb. 47
Lahnung südlich vom Damm
trennt die höher gelegene
Andel- und *Suaeda*-
Gesellschaft (links) von dem
noch tiefer liegenden
Salicornietum (rechts)

Bildarchiv Westküste 76/31a,
September 1937
Aufnahmen: E. WOHLBERG

Abb. 48
Vorschriftmäßige Grütpe,
gesundes optimales *Salicornietum*, Normal-
profil der Land-
gewinnung
(vgl. schemat. Abb. 57, A)

Bildarchiv Westküste 838,
September 1936

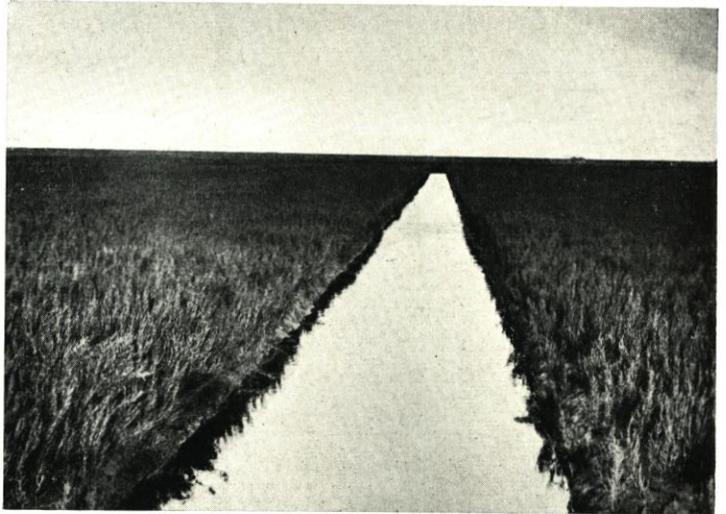


Abb. 49
Starke Sedimentation süd-
lich vom Damm. Grütpen
und Ackeroberfläche liegen
in einer Ebene. Das Land-
gewinnungsprofil ist
ausgelöscht
(vgl. schemat. Abb. 57, B)

Bildarchiv Westküste 784,
April 1936

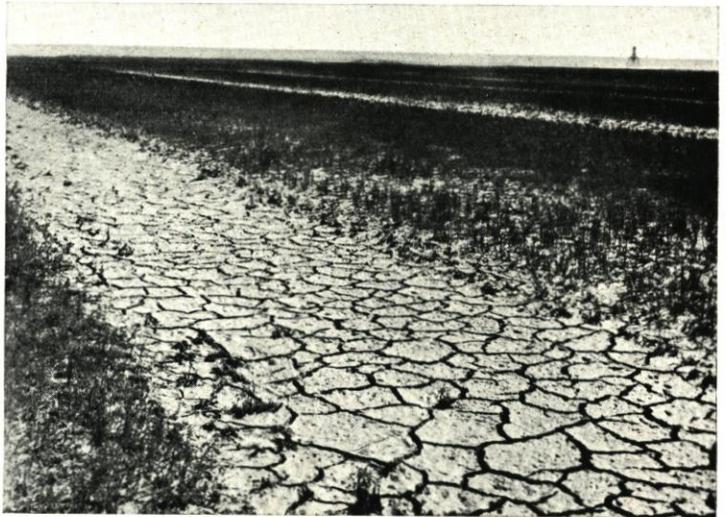


Abb. 50
Überfüllte Grütpe. Im
Hintergrund der Damm.
Die Grüttenoberfläche liegt
höher als der Acker, also
Profilmkehr
(vgl. schemat. Abb. 57, C)

Bildarchiv Westküste 42/10a,
September 1936
Aufnahmen: E. WOHLBERG



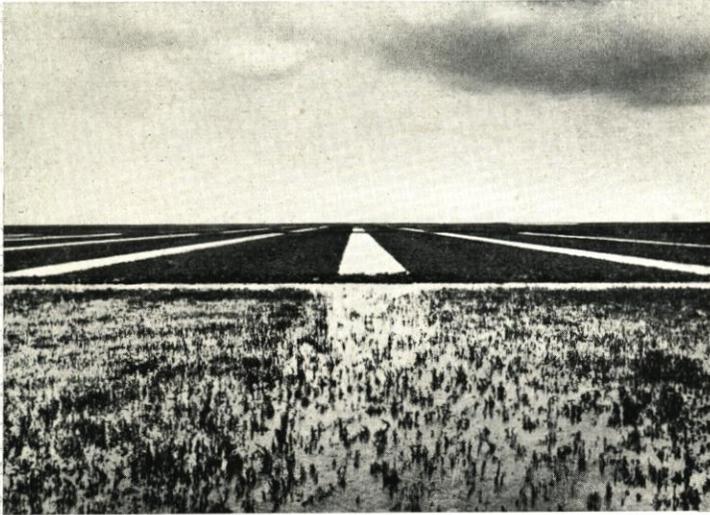


Abb. 51
Vordergrund:
Ausgelöschtes Profil,
erkrankte Verlandungs-
vegetation durch gestörten
Wasserhaushalt.
Hintergrund:
Gepflegtes Normal-
profil, gute Vorflut.
Gesunde und optimale
Quellerentwicklung
(vgl. Abb. 57, A und B)

Bildarchiv Westküste 839,
September 1936



Abb. 52
Das Ausheben der Gräben
hätte zu einem weit
früheren Zeitpunkt er-
folgen müssen

Bildarchiv Westküste 42/6a,
Dezember 1936

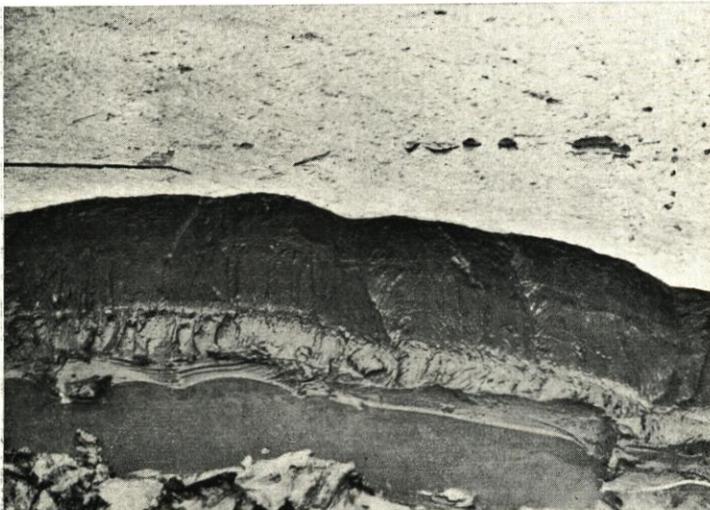


Abb. 53
Man erkennt im Gräben-
profil nur drei Zonen:
den helleren feinsandigen Unter-
grund und darüber zwei
mächtige Schlickbänke, die
ihren schnellen Aufwuchs
einer dichten Diatomeen-
siedlung verdanken. Sandige
Sturmflutschichten sind nicht
nachweisbar

Bildarchiv Westküste 42/45a,
Dezember 1936
Aufnahmen: E. WOHLBERG

Abb. 54
Sturmflutablagerungen
südlich vom Damm. Das
Salicornietum ist im Be-
griff, erstickt zu werden

Bildarchiv Nissenhaus, März 1949



Abb. 55
Sekundäre Sedimentation
im Bereich der Quer-
entwässerung. Die in der
Querentwässerung vor-
übergehend angesammelten
Schlickmassen wurden wäh-
rend der Sturmflut auf die
Randflächen der Äcker
befördert

Bildarchiv Westküste 786,
April 1936

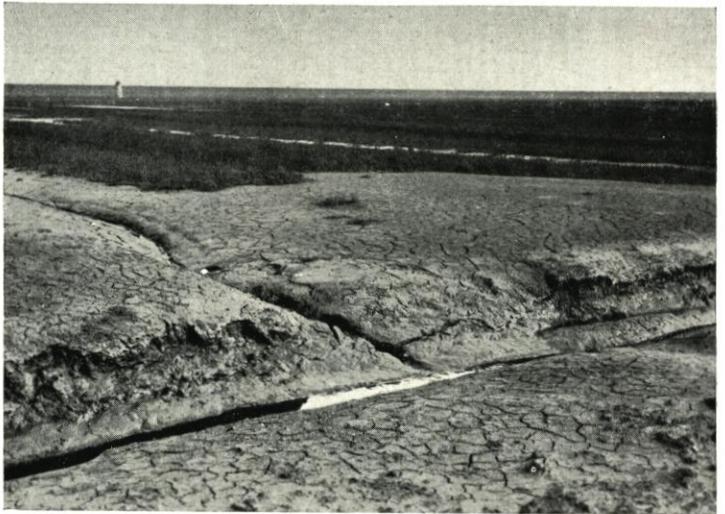


Abb. 56
Großräumige Massen-
sedimentation südlich des
Dammes. Alle Gruppen-
und Ackerprofile sind aus-
gelöscht. Der Standort
bedarf der Neubesiedlung

Bildarchiv Westküste 785,
April 1936
Aufnahmen: E. WOHLBERG



in der Gruppe. Die Oberfläche ist mit einem Diatomeenrasen bedeckt, der die niederfallenden Sinkstoffe so wirkungsvoll gebunden hat.

Auf Abbildung 50 ist unschwer zu erkennen, daß die Ackeroberfläche tiefer liegt als die mit fettem Schlack gefüllte Gruppe. Hier kann also schon nicht mehr die Rede sein von einem ausgelöschten Profil, hier liegt sogar eine Umkehr des Profils vor. Nach Überflutungen oder nach starken Niederschlägen fehlt den mit Vegetation bestandenen Äckern die Vorflut. Aus den Gruppen, die der Entwässerung der Äcker dienen sollten, sind wasserundurchlässige „Wälle“ geworden. Eine widersinnige Entwicklung hat Platz gegriffen und ist im Begriff, den Boden zu vergiften. Die pH-Werte waren bereits auf pH 5—6 gesunken, so daß schnelle Abhilfe notwendig wurde. Die Gebiete sind alsdann ausgiebig begruppelt worden, so daß in den folgenden Jahren das Normalprofil wieder hergestellt werden konnte. Die Erkrankungserscheinungen gehörten damit auch bald der Vergangenheit an und die nachfolgende Andelgeneration schickte sich an, das ihr längst zustehende Gebiet zu besiedeln.

Geblieben ist mit dieser neuen Erfahrung in alter Praxis die Mahnung, das ökologische Prinzip der Landgewinnung stets als ein hohes Gesetz zu achten. An anderen, mehr sandigen Küstenabschnitten mag die vorübergehende zwangsläufige Nichtbeachtung nicht so schwerwiegende Folgen haben wie hier im Raume Hindenburgdamm mit dem allzu einseitigen Aufbau der jungen Sedimente; aber vernachlässigt werden darf das ökologische Prinzip auch nicht in Sandmarschen. Es fordert allgemeine und sorgfältige Beachtung.

Angesichts der entscheidenden Bedeutung des Grundgesetzes für die Praxis der Landgewinnung möge die schematische Zeichnung (Abb. 57 auf Seite 78) das geschriebene Wort und die Abbildung 48 bis 53 noch ergänzen.

4. Das Maß des Aufwuchses

Die Höhenlage des Anwuchses ist mehrfach durch Nivellement festgestellt worden. Lag die alte Wattoberfläche zur Zeit der Errichtung des Dammes vor dem Seedeich bei einer durchschnittlichen Höhenlage von rund $+ 0,00$ bis $+ 0,60$ m NN, so zeigen die Höhenlinien auf dem Lageplan, Abbildung 58, heute eine durchschnittliche Höhe von $+ 0,70$ bis $+ 1,60$ m NN an.

a. Die Indikatormethode

Außer diesem Gesamtaufmaß liegt eine große Anzahl Aufwuchsmessungen auf indikatorischer Grundlage vor. Sie geben einen aufschlußreichen Einblick in die mehr individuellen Aufwuchsercheinungen innerhalb der Pflanzengesellschaften. Wozu die Diatomeengesellschaft in der Lage ist, wurde bereits ausführlich dargestellt (vgl. S. 57 bis 65). Die folgenden Ausführungen befassen sich mit dem Maß der Ablagerungen in der Queller- und Andelgesellschaft, und zwar erfolgte der Nachweis wie die bei den Diatomeen (vgl. S. 62) mit rot gefärbtem Sand als Indikator.

Gelegentlich eines kurzen Gastaufenthaltes im Skallinglaboratorium an der jütländischen Westküste bei Herrn Professor Dr. Niels NIELSEN im Sommer des Jahres 1934 konnte die von NIELSEN zuerst in Anwendung gebrachte Rotsandmethode unter seiner persönlichen Führung im Gelände der Skalling-Halbinsel in Augenschein genommen werden [NIELSEN (40)]. Reiner Dünsand mittelfeiner Körnung wurde mit einer Lösung von Sudanrot (in Benzol gelöst) gefärbt und nach dem Trocknen als Indikator auf eine durch einen Pfahl markierte Fläche in einer bestimmten Pflanzengesellschaft ausgestreut. Durch dieses Verfahren wurde mittels des gefärbten Sandes die augenblickliche Höhenlage des Standorts fixiert. Brachten die Fluten nun neue Ablagerungen, so legten sich diese auch auf den roten Sand. Während jede andere Trennschicht, etwa ein Cellophanblatt oder eine Blechplatte, stets als Fremdkörper wirken würde, hat der rote Sand selbst die Eigenschaften eines echten Sediments, wird also den natürlichen Sedimentationsvorgang nicht stören. Noch während der Assistententätigkeit des Verfassers an der Staatlichen Biologischen Anstalt Helgoland konnten die ersten Rotsandprofile auch an der deutschen Küste angelegt werden (1933), und nach Aufbau und Übernahme der wissenschaftlichen Untersuchungen an der neu errichteten Forschungsstelle Westküste fand das Rotsandverfahren eine breite Anwendung entlang der ganzen schleswig-holsteinischen Westküste.

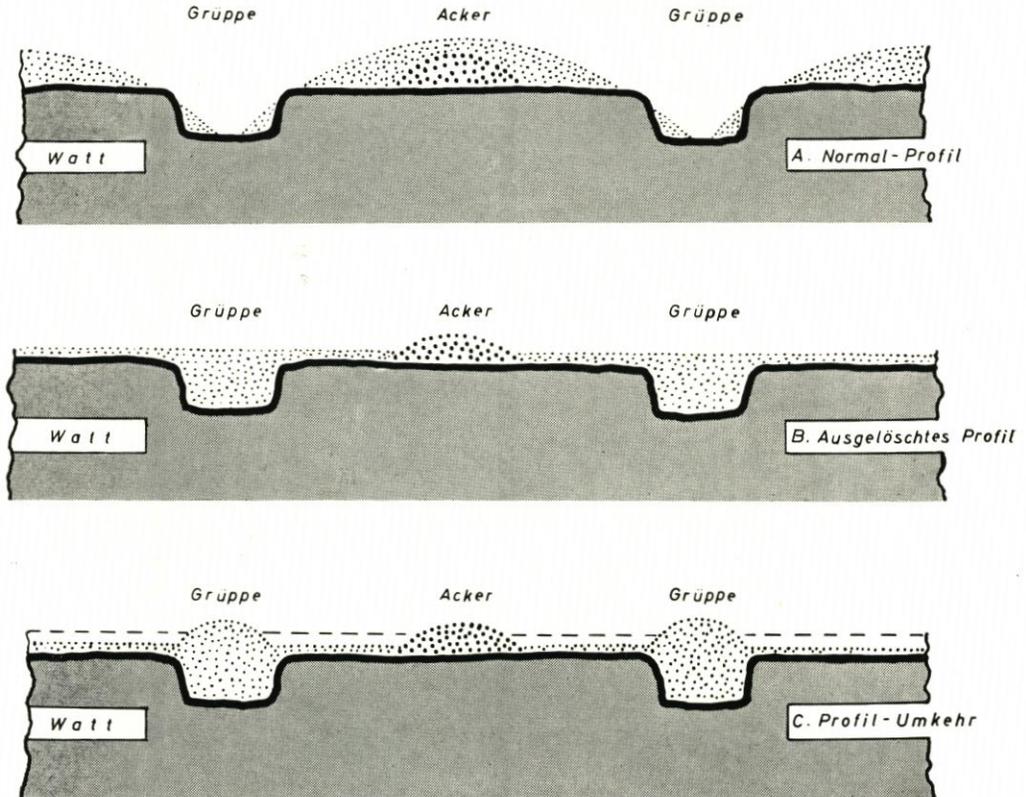


Abb. 57. Landgewinnungsprofile am Hindenburgdamm (schematisch)

A = Das Normalprofil als ökologische Grundidee der Landgewinnung, die „Vorflut“ ist in Ordnung

B = Das ausgelöschte Profil

Durch ungewöhnlich starke Sedimentation und Ausbleiben der termingerechten Begrüppelung wird der „kleine Wasserhaushalt“ und als Folge davon die Pflanzengesellschaftsfolge gestört

C = Die Profilumkehr

Der Aufwuchs in der Grüppe (Diatomeenwirkung) überragt den Acker. Die „Vorflut“ ist aufgehoben. Überflutungs- und Niederschlagswasser finden keinen Abfluß mehr (gestrichelte waagerechte Linie); es kommt zur Stagnation, die Pflanzendecke des Ackers stirbt ab

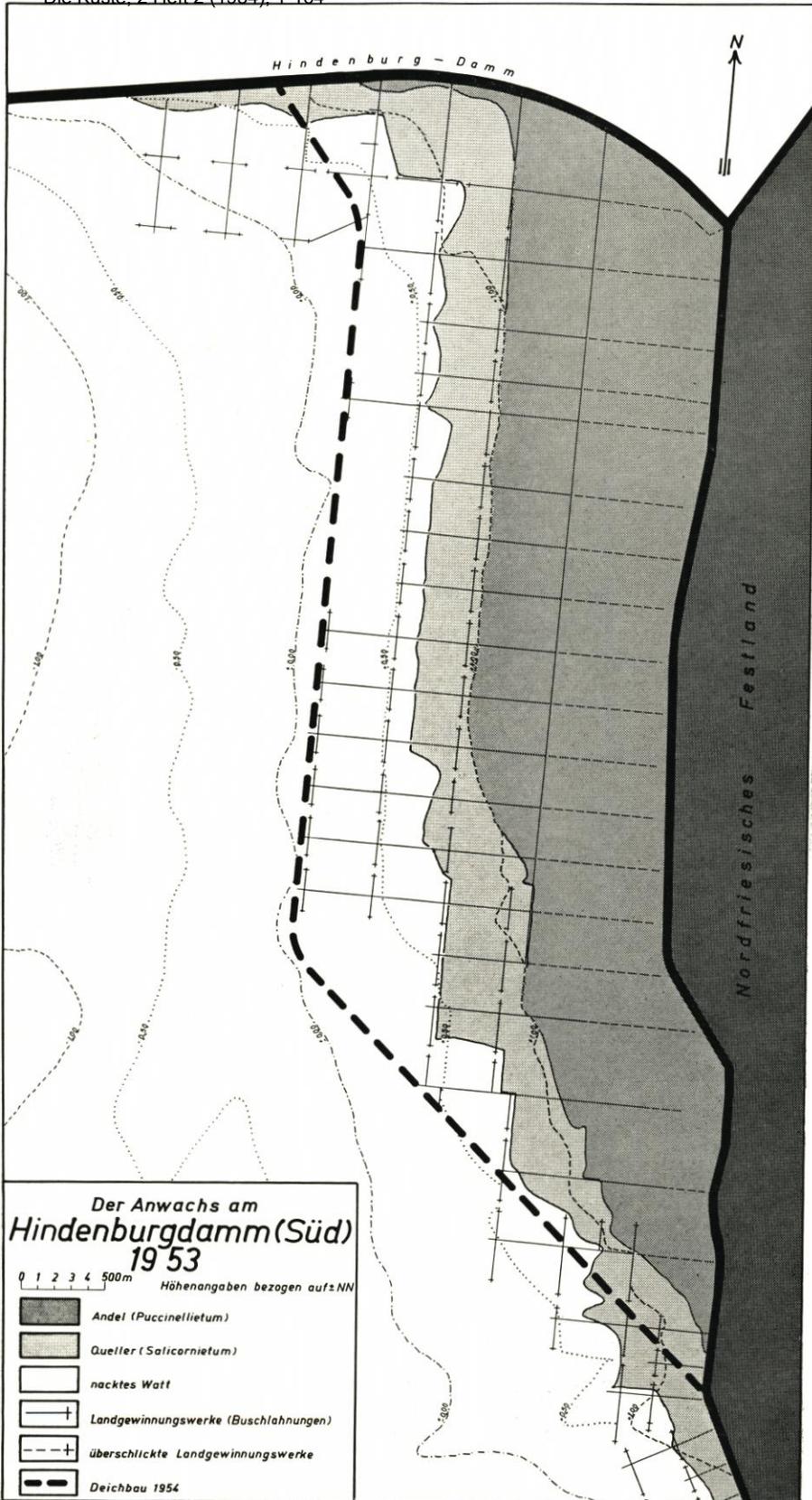
(vgl. zu A: Abb. 48, zu B: Abb. 49, zu C: Abb. 50)

b. Die Ablagerungen 1935 bis 1937

Die übermäßig starke Sedimentation des Winters 1935/36 (vgl. Abb. 55, 56), die das Quellerkeimbett vom Herbst 1935 so hoch überlagert hatte, daß die Neubesiedlung an diesen Stellen praktisch ausblieb, gab den Anlaß, auch das Gebiet südlich und nördlich vom Hindenburgdamm mit einer größeren Anzahl von Rotsandstationen zu belegen, um 1. über

Abb. 58 (nächste Seite). Das Anwachsgebiet südlich vom Hindenburgdamm mit Landgewinnungswerken und Höhenlinien bezogen auf NN (MThw = + 1,10 NN)

Das hell gerasterte Gebiet = *Salicornietum* (Quellergesellschaft), das dunkler gerasterte Gebiet = *Puccinellietum* (Andelgesellschaft). Die grob gestrichelte Linie gibt die Lage des zur Zeit im Bau befindlichen Seedeiches an. Die weiße Fläche innerhalb der neuen Deichlinie stellt das noch vegetationslose Watt, die schwarze Fläche am rechten Bildrand die bedeckte Festlandsmarsch dar.



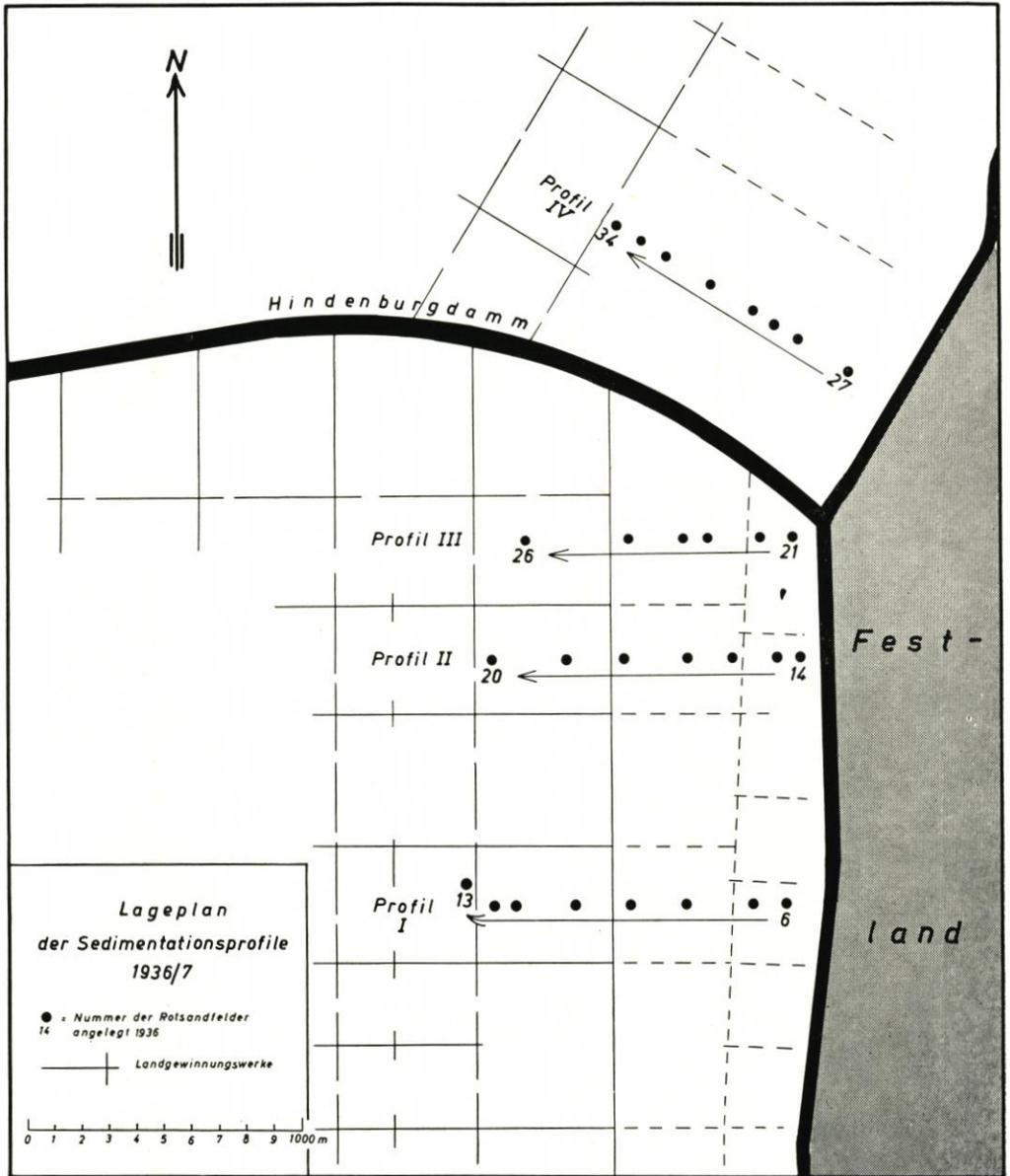


Abb. 59. Die Lage der Rotsandprofile am Hindenburgdamme 1936 bis 1937

das Maß der Anschlickung in einer bestimmten Zeit, 2. über die Zusammensetzung der neuen Ablagerungen und 3. über den Einflußbereich des Dammes nach Süden und Norden Auskunft zu erhalten. Noch im September 1936 wurden vier Profile mit rotem Sand südlich und ein Profil nördlich des Dammes angelegt. Aus dem Lageplan, Abbildung 59, ist Lage und Anordnung der Profile „Wiedingharde I—IV“ zu ersehen, I—III liegen südlich, IV nördlich. Das fünfte, Horsbüll I, liegt außerhalb des Lageplans, etwa drei Kilometer südlich von Profil I. Die Profile verlaufen senkrecht zum Wiedingharder Deich und durchweg parallel zum Hindenburgdamme. Sie durchlaufen mit einer Länge von 1200 m alle Zonen



Abb. 60
Rotsandstation in der
Queller-Anfangsphase
(Station Nr. 34,
vgl. schemat. Abb. 59 u. 63)

Bildarchiv Westküste 63/30,
Juli 1937



Abb. 61
Rotsandstation in der
Queller-Optimalphase
(Profil IV, Station Nr. 31,
vgl. schemat. Abb. 59 u. 63)

Bildarchiv Westküste 840,
September 1936



Abb. 62
Aufschlickung eines Winters.
Aufgrabung in der Rotsand-
station Nr. 32 vom Profil IV
(vgl. schemat. Abb. 59).
In 60 mm Tiefe liegt der
rote Sand (siehe weiße
Papiermarke; Uhr als
Maßstab)

Bildarchiv Westküste 63/32a,
Juli 1937
Aufnahmen: E. WOHLBERG

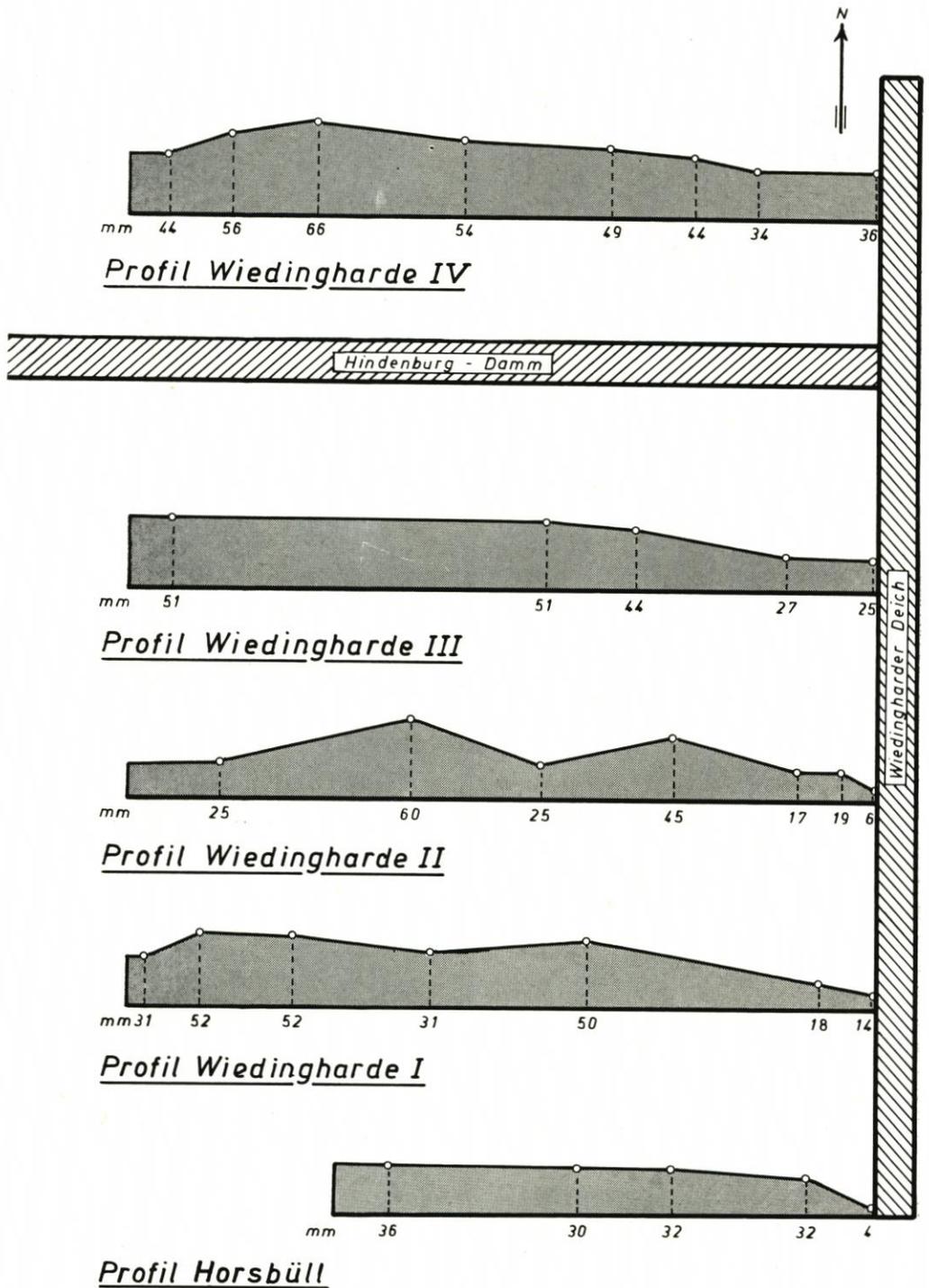


Abb. 63. Neuablagerung am Hindenburgdamm nach den Herbst- und Winterfluten 1936 bis 1937. Länge der Profile (bis auf Profil Horsbüll) 1200 m. Die Zahlen geben das Maß der Aufschlickung in Millimetern an (vgl. Abb. 59)

des Anwachsens vom Deichfuß beziehungsweise höheren alten Vorland bis hinunter in die äußersten Quellerzonen. Die Profile wurden mit insgesamt 34 Rotsandfeldern besetzt. Der Abstand der einzelnen Meßstationen richtete sich nach dem jeweiligen Vegetationstyp. Einen Monat nach dem Ausstreuen des Sandes wurde die Westküste von zwei schweren Sturmfluten, am 18. und am 27. Oktober 1936, heimgesucht. Von den im September 1936 ausgelegten 34 Stationen waren im nächsten Jahr, Juli 1937, 32 einwandfrei prüfbar, die restlichen zwei (Meßstation 13 und 25) waren durch Eisgang zerstört und fielen dadurch in der Meßreihe aus. Die Abbildungen 60 und 62 zeigen als Beispiel die Meßstation 32. In der Nähe des auf der Abbildung 60 erkennbaren Stationspfahles wurde im September 1936 der rote Sand ausgestreut. Der rote Horizont wurde im Jahre 1937 in 60 mm Tiefe des bereits stichfesten Bodens wiedergefunden. Auf der Abbildung 62 ist die Lage des roten Sandes durch den an der Wand der Aufgrabung angebrachten weißen Papierstreifen kenntlich gemacht.

Die Wiedergabe der auf den 32 Stationen gemessenen Werte erfolgt der Kürze und des besseren Vergleichs halber auf graphischem Wege (Abb. 59 und 63). Hier ist der Wiedingharder Deich am rechtseitigen Rand angedeutet, der Hindenburgdamm senkrecht dazu westwärts weisend. Die gefundenen Werte der auf dem roten Sand abgelagerten Schlickschicht sind unter der jeweiligen Meßstation vermerkt. Die neuen Ablagerungen bestehen aus allerfeinstem Schlick, die Trennschicht des rotgefärbten Sandes wirkt dagegen im Mikroskop wie ein grober Blockhorizont. Der schematischen Wiedergabe (Abb. 63) ist folgendes zu entnehmen:

1. Die Sturmfluten des Winters 1936/37 haben im Gegensatz zu den Ablagerungen an anderen deutschen Küstenabschnitten keinen Sand gebracht, sondern zum alten Schlick neues feinstes Sediment, das einige dünne Lamellen aus Schluff enthält, hinzugefügt.
2. Die Werte in der Nähe des Deiches bestätigen die dem Landgewinnungspraktiker bekannte Regel, daß die deichnahen Flächen spärlicher mit neuem Sediment bedacht werden als die weiter draußen liegenden.
3. Das Profil Wiedingharde IV, nördlich vom Damm, zeigt sogar noch höhere Werte als die südlich vom Damm angelegten Meßstationen; bisher wurde immer vermutet, daß der Aufwuchs im Norden geringer sei als im Süden.
4. Das im Süden angelegte Profil „Horsbüll“ zeigt zwar noch sehr hohe, aber doch geringere Werte als die Stationen im engeren Bereich des Dammes.
5. Alle gefundenen Werte lassen das bisher aus deutschen Anwachsgebieten bekannte Maß weit hinter sich. Das für eine bestimmte Zeitdauer ermittelte Durchschnittsmaß an unserer Küste wird durchweg um den zehnfachen (!) Betrag übertroffen.

Wie bereits weiter oben erwähnt, ist das Herkunftsgebiet dieses reichen Materials in den sich immer tiefer in den Sockel des Wattenmeeres einschneidenden Priel zu suchen. Der die Süd-Nordströmung abriegelnde Damm bewirkt dann bezüglich der vom Wasser herangetragenen Sinkstoffe eine spontan ausgelöste „Fällung“ der Schlickteilchen. Es handelt sich jedoch nicht um eine durch chemische Umsetzung herbeigeführte Fällung oder gar Ausflockung, sondern um einen rein physikalischen Vorgang, wie ja überhaupt der Übergang vom Sinkstoff zum Sediment im freien Wattenmeer in erster Linie von physikalischen und biologischen Kräften getragen wird. Erst in der Brackwasserzone der Flußmündungen dürfen wir der auf chemische Kräfte zurückgehenden Ausflockung eine gewisse Bedeutung beimessen. Nach dem Dammbau wurden bekanntlich die Landgewinnungswerke als Folgemaßnahmen in den Landgewinnungsprozeß eingeschaltet. Sie erst beseitigten auf den weiten Flächen Willkür und Zufälligkeit bei der natürlichen Verteilung der Sinkstoffe, und ihre planvolle Anlage und sorgfältige Betreuung mit dem Spaten bereiten die Vorstufe des späteren Kulturbodens.

c. Erste Bedeichungspläne

Auf Grund dieser Meßreihe wurde schon damals vermutet, daß die unwahrscheinlich anmutenden Sedimentationswerte der Jahre 1935—37 nicht als Einzelercheinungen und Aus-

nahmen zu werten seien, sondern möglicherweise als Norm für das Ablagerungsgebiet am Hindenburgdamm.

Es wurde daher schon damals in den amtlichen Berichten der *Deichbau* gefordert, um durch Ziehung einer neuen Deichlinie weiteren Aufwuchs an solch schweren Sinkstoffen zu unterbinden [IWERSEN (79), WOHLBERG (88 u. 90)]. Und zwar erfolgte diese Forderung aus zwei Gründen:

1. den neu zu gewinnenden Koog bodenmäßig gesehen nicht noch schwerer werden zu lassen und
2. der Vergeudung an wertvollen Sinkstoffen, die nach IWERSEN (24) in noch größerem Maße als schon vorhanden nicht mehr benötigt werden, Einhalt zu gebieten.

In dem Bericht des Verfassers vom Jahre 1936 heißt es wörtlich:

„Die biologisch und bodenkundlich begründeten Erwägungen bestimmen eindeutig die örtliche Linienführung des neuen Deiches. Der Deich muß soweit vorgelegt werden, daß das von ihm umschlossene Gebiet diejenigen Flächen enthält, die keinerlei Verbesserung durch weitere Überschlückung mit feinsten Stoffen erfahren können und andererseits diejenigen Wattflächen außerhalb der Deichlinie verbleiben, deren Zustand durch neuartige, von den bisherigen Arbeitsmethoden abweichende Maßnahmen gehoben und normal gestaltet werden kann“ [WOHLBERG(88)].

Da eine Gesamtbedeichung keine Zustimmung fand, wurde ein Versuchskoog im südlichen Winkel des Hindenburgdamms gefordert [IWERSEN und WOHLBERG (90)]. Kurz vor Ausbruch des zweiten Weltkrieges trat man schließlich doch dem Plan der Hauptbedeichung südlich des Damms näher. Die ersten Vorbereitungen kamen jedoch durch den Ausbruch des Krieges gleich zum Erliegen.

Nach Kriegsende tauchte der Bedeichungsplan gebieterischer denn je wieder auf, aber der Notzustand der übrigen deutschen Marschenküste war durch die kriegsbedingte Stilllegung sämtlicher Küstenschutzarbeiten so groß geworden, daß die Abwendung drohender Gefahren an anderen Küstenabschnitten den Bedeichungsplan abermals zurückdrängte.

d. Die Weiterentwicklung des Anwachs nach dem Kriege

Während der Kriegs- und Nachkriegsjahre nahm die ungewöhnliche Sedimentation am Hindenburgdamm ihren Fortgang. Unmittelbar am Damm haben die pausenlosen Anschwemmungen von Tang und Seegras das Gelände so weit erhöht, daß die ersten Pflanzen einer Süßgraswiese anzutreffen sind. Ansteigend zum Dammfuß hin wurde folgendes Artenbild festgestellt:

Queller (*Salicornia herbacea stricta*)
 Andel (*Puccinellia maritima*)
 Gänsefuß (*Suaeda maritima*)
 Strandrotschwengel (*Festuca rubra litoralis*)
 Salzquecke (*Triticum acutum*)
 Strandwermut (*Artemisia maritima*)
 Straußgras (*Agrostis stolonifera*)
 Geknieter Fuchsschwanz (*Alopecurus geniculatus*)
 Melde (*Atriplex litorale*)
 Wiesenrispengras (*Poa pratensis*)

Vom Wermut ab beginnt die Aussüßung, die bei der Wiesenrispe praktisch geschehen ist.

Die tiefer liegende Andelwiese hat sich gegenüber der Vorkriegszeit wesentlich gebessert. Die inzwischen durchgeführte Begrüppelung führte allmählich zu einem Abklingen der *Suaeda*-Bestände (vgl. Abb. 42 bis 44 auf S. 71), so daß jetzt der Andel sich ausbreiten und endlich das Gebiet besiedeln konnte, das ihm bisher durch den dicht geschlossenen *Suaeda*-Bestand verwehrt war. Die damit einhergehende Beweidung durch Schafe hat nunmehr einen Anwachs von nahezu normaler Pflanzendecke heranwachsen lassen. In der tiefer liegenden Zone ist der Andel auch heute noch nicht in der Lage, das ihm entsprechend der Höhenlage zum MThw zustehende Gebiet restlos zu besiedeln. Das kriegsbedingte Ausbleiben der Spatenarbeit hatte zu einer sozusagen „wildem“ Verlandung geführt. Hier könnte

bei nachgeholter Profilgestaltung (Grüppe — Acker, vgl. das ökologische Grundgesetz, Seite 68) längs eine geschlossene Andeldecke den Standort schützen und Schafe ernähren.

Was soeben von der Andelzone gesagt wurde, trifft im Grunde auch für die noch tiefer gelegene Quellersonne zu. Der Gebietszuwachs dieser Pflanze steht und fällt mit der Profilgestaltung, also mit der Anlage und laufenden Betreuung von Grüppe und Acker. Der Höhenlage nach könnte heute ein wesentlich breiterer Gürtel von *Salicornia* vor der Küste liegen. Die Versorgung mit Quellersamen geht zum Teil auch vor sich, denn in den ersten Monaten nach der Keimung findet man große Bestände an Keimlingen. Aber die Ablagerungen sind so weich, so an Wasser übersättigt, daß die Quellerpflanzen beim Heranwachsen

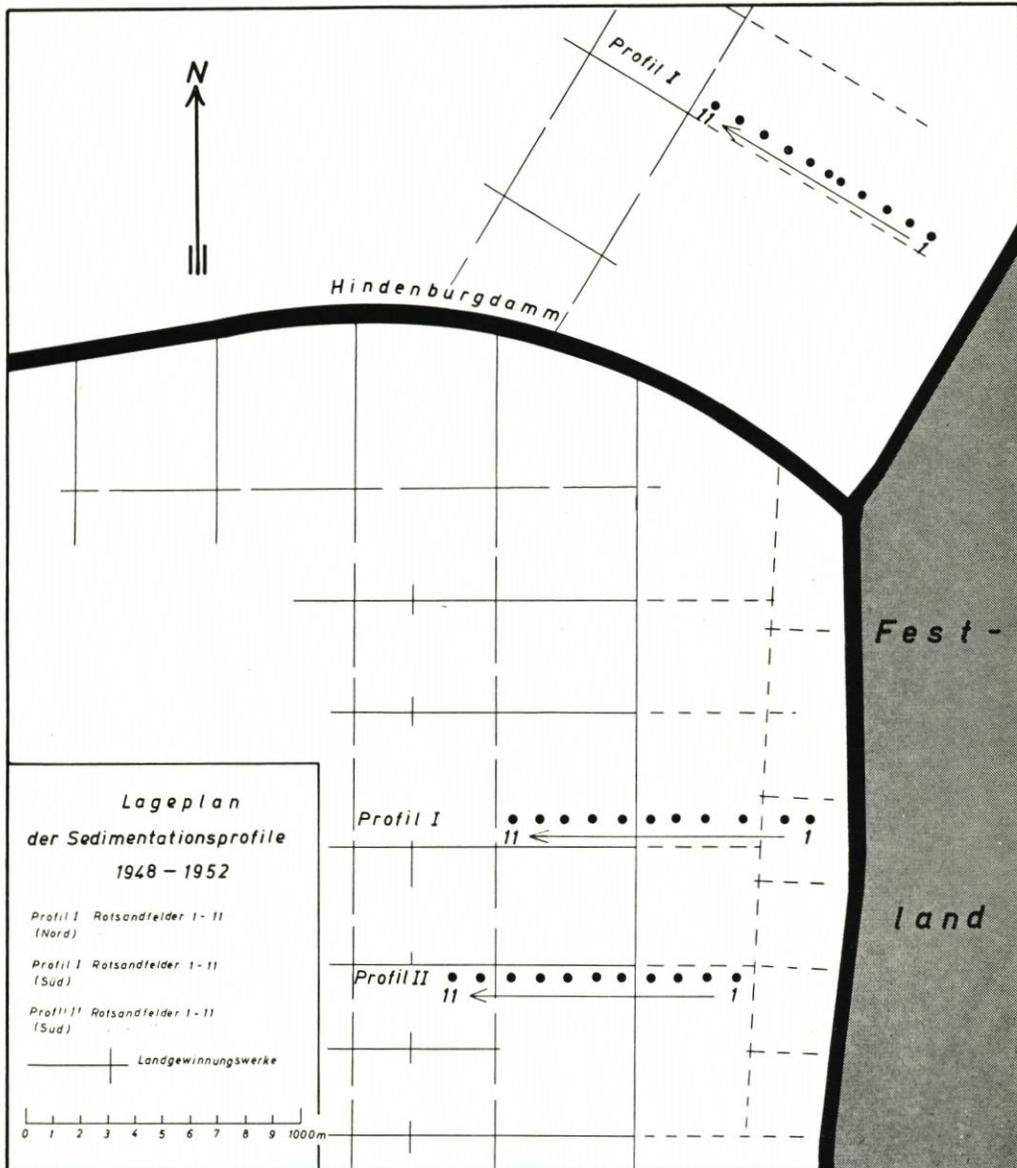


Abb. 64. Die Lage der Rotsandprofile am Hindenburgdamm 1948 bis 1952

in dem jungen, halbflüssigen Sediment nicht genügend Halt finden. Sie legen sich schon im frühen Entwicklungsstadium auf die Seite, so daß Atmung und Assimilation der grünen Sprosse durch angelagerten Schlick unterbunden werden und die jungen Pflanzen bald eingehen. Hiergegen hilft nur intensive und sorgfältige Spatenarbeit, die Ordnung des kleinen Wasserhaushaltes. Gerade diese feinen Sedimente am Hindenburgdamm bedürfen der frühzeitigen Durchwurzelung, d. h. der biologischen und damit einhergehenden chemischen Aufschließung. Was nämlich in dieser Hinsicht vor der Bedeckung von den natürlichen Kräften geleistet wird, das ist nach der Bedeckung das „erste Gold“ des Siedlers.

e. Die Ablagerungen 1947 bis 1952

Rückblickend auf die ersten Sedimentationskontrollen 1935—37, erhebt sich die Frage: Was hat sich nach der kriegsbedingten Unterbrechung der Landgewinnungs- und Forschungsarbeit zugetragen? Trotz erschwelter Arbeitsbedingungen während der Nachkriegszeit nahm

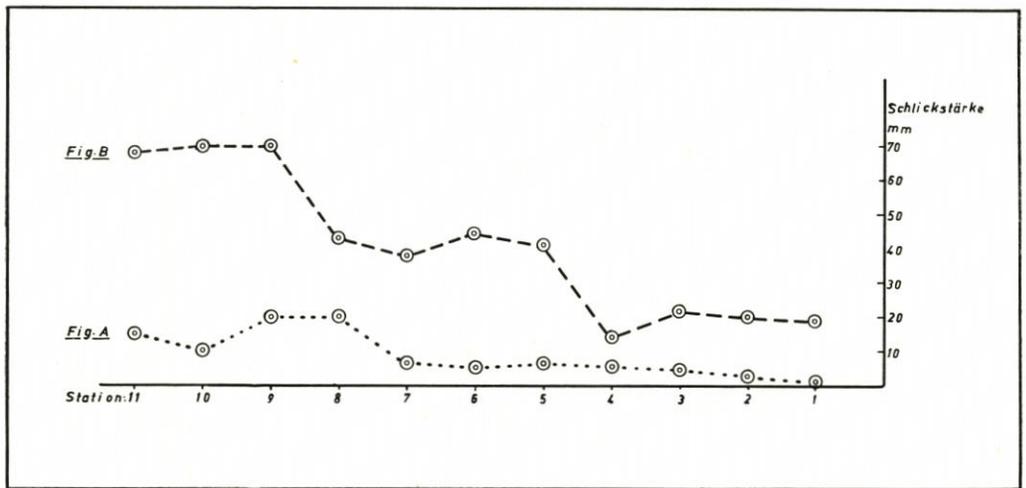


Abb. 65. Neuablagerungen südlich vom Hindenburgdamm nach zwei Ablesungen am Profil I (Lageplan, Abb. 64). Anlage der Rotsandstationen am 6. Oktober 1950
 Fig. A: Sedimentationsdauer von 10 Monaten
 Fig. B: Sedimentationsdauer von 19 Monaten
 Länge der Profile 1200 m; Entfernung vom Damm 1600 m; sämtliche Stationen zwischen 1,00 m und 1,60 m NN

die Forschungsstelle Westküste die Sedimentationsmessungen bereits im Jahre 1947 wieder auf und vom Jahre 1948 an konnten die durchgehenden Kontrollen laufend durchgeführt werden⁴⁾.

Nach der winterlichen Jahreszeit der Jahre 1947/48 wurden im Süden des Damms auf dem Anwachs *en bloc*-Ablagerungen von einer Stärke bis zu 120 mm (!) festgestellt. Das war gegenüber 1936 das Doppelte! Die Sedimentschicht hatte damit eine Stärke erreicht, die zu durchwachsen selbst dem Andel nicht mehr möglich war.

Die Folge war, daß diese hochgelegenen Flächen im nächsten Frühjahr zunächst wieder vom Queller besiedelt werden mußten, obwohl der Höhenlage nach schon der Strandrotswingel, mindestens aber der Andel, dort durchgehend bestandbildend wachsen mußte.

⁴⁾ Hierbei war der Laborant der Forschungsstelle, Herr Paul ETTIG, dem Verfasser ein verlässlicher Hilfsarbeiter, der seit 20 Jahren durch seine nie ermüdende Einsatzfreudigkeit und ohne Rücksicht auf Zeit und Stunde ein großes Verdienst um das Gelingen der vielseitigen Untersuchungen im Wattenmeer erworben hat.

Auch hier liegt also wieder das Besondere der vorübergehenden Rückentwicklung vor, eine Rückentwicklung in pflanzensoziologischer Hinsicht. Schnell eingeleitete Spatenarbeit ließ diesen ökologischen „Atavismus“ jedoch bald überwinden.

Zum Abschluß seien die Sedimentationsmessungen der Jahre 1948 bis 1952 südlich und nördlich vom Damm besprochen. Die fortlaufende Kontrolle der 1948 angelegten Rotsandstationen wurde durch häufige Entwendung der hölzernen Stationspfähle ernstlich gefährdet⁵⁾.

Die Lage der neuen Profile sei dem Lageplan, Abbildung 64, entnommen. Auf dem Diagramm, Abbildung 65, geben die beiden Kurven die Werte nach einer Ablagerungszeit von 10 (A) beziehungsweise 19 Monaten (B) wieder.

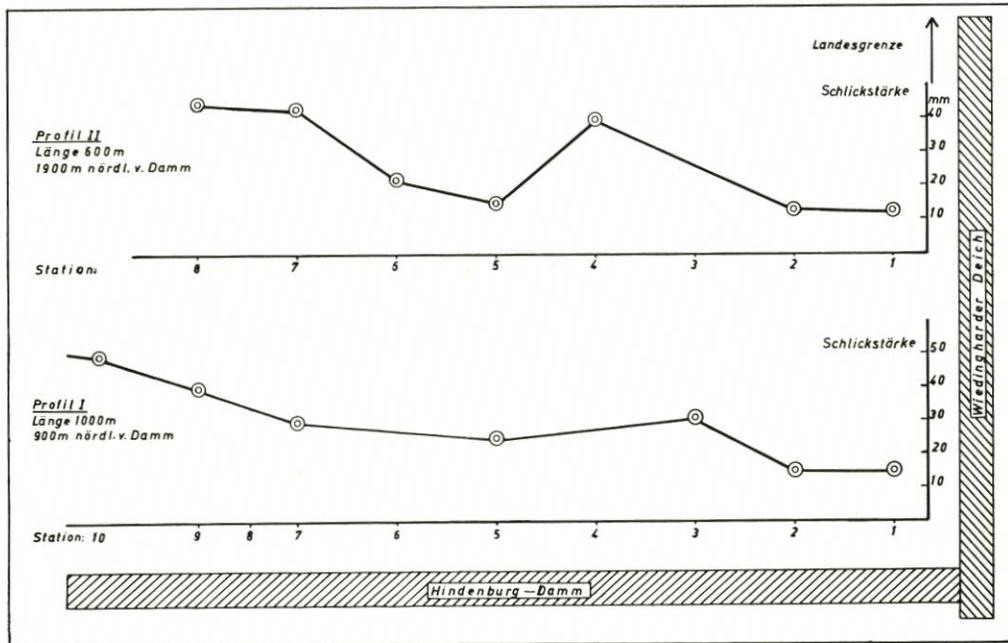


Abb. 66. Neuablagerungen an zwei Profilen nördlich vom Hindenburgdamm (Lageplan, Abb. 64) in der Zeit von September 1948 bis Mai 1949

Diagramm, Abbildung 66, zeigt die Ablagerungen nördlich des Hindenburgdamms in einer Entfernung vom Damm von 900 m (Abb. 66, unten) und von 1900 m (Abb. 66, oben). Die Kurven umfassen eine Sedimentationszeit von acht Monaten.

Diagramm, Abbildung 67, zeigt drei Kurven, die sich auf ein Profil, aber mit verschiedenen langer Ablagerungszeit beziehen, nämlich 15, 40 und 49 Monate.

Ohne nochmals auf einzelne Zahlenwerte einzugehen, möge folgendes festgestellt werden:

Alle vier Diagramme haben, verglichen mit dem Diagramm von 1936 (Abb. 63, S. 82), einen grundsätzlich übereinstimmenden Aufbau:

1. allerfeinste Sedimente,
2. ungewöhnlich hohe Werte,

⁵⁾ Die große wirtschaftliche Notlage (Brennstoffmangel) der im Wiedingharder Koog im Barackenlager untergebrachten Flüchtlingsbevölkerung führte häufig zum Verlust der Stationspfähle und damit zum Verlust der Station. Auf den graphischen Darstellungen wurden diese Stationen durch einfache Interpolation der Werte von den noch intakten Nachbarstationen überbrückt.

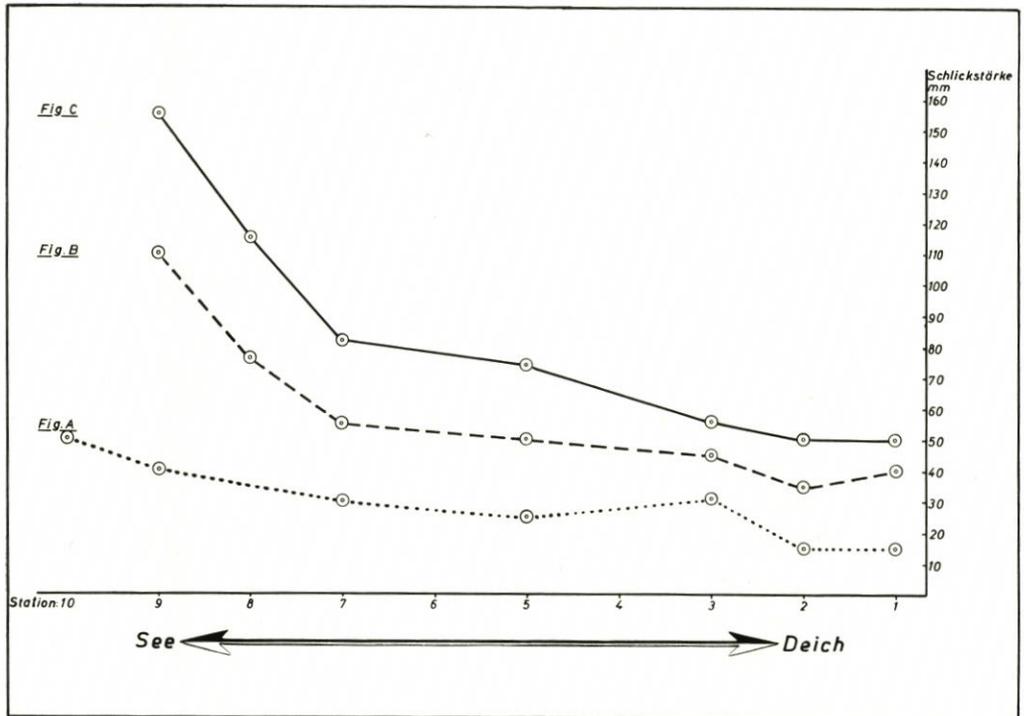


Abb. 67. Neuablagerung nördlich vom Hindenburgdamm, Profil I (Lageplan Abb. 64) in der Zeit von 1948 bis 1952

Fig. A: Sedimentationsdauer 15 Monate
 Fig. B: Sedimentationsdauer 40 Monate
 Fig. C: Sedimentationsdauer 49 Monate

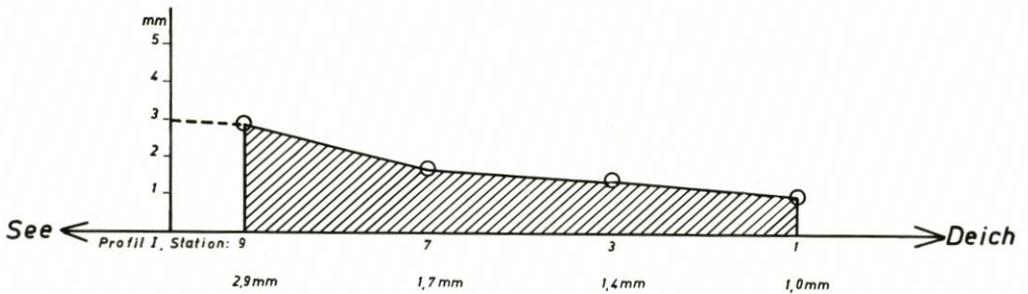


Abb. 68. Monatlicher Schlickzuwachs an den Stationen 1, 3, 7 und 9 vom Profil I (Lageplan Abb. 64), gemittelt aus drei Ablesungen von 1948 bis 1952

3. die außen gelegenen Stationen haben gegenüber den deichnahen ein Mehrfaches an Sedimentzuwachs,
4. die Gesamtwerte liegen am Hindenburgdamm, nördlich wie südlich rund zehnfach so hoch wie an Stationen des übrigen Festlandes.

Auf dem letzten Diagramm, Abbildung 68, ist der rechnerische Versuch unternommen, die Werte von den Stationen 1, 3, 7 und 9 vom Profil I (Abb. 67) auf die Zeiteinheit von einem Monat zurückzuführen. Danach liegt ein Sedimentzuwachs kurz vor dem Deich von etwa 1 mm je Monat vor, weiter draußen mit zunehmender Entfernung vom Deich 1,4 mm, 1,7 mm und 2,9 mm. Das sind ungeheure Werte. Natürlich werden diese auf die Zeit-

einheit umgerechneten Zahlen mit allem Vorbehalt wiedergegeben; sie dürfen nicht verallgemeinert werden, aber sie werfen doch ein aufschlußreiches Licht auf die Gesamtlage an unserer Küste und zeigen, daß die Monatswerte am Hindenburgdamm den Jahreswerten normaler Verlandungsgebiete der übrigen Küste etwa die Waage halten.

f. Eis und Sediment

War bisher das Wasser als Träger und Verfrachter der Sinkstoffe Gegenstand der Untersuchung, so bedarf es zur Vervollständigung noch eines kurzen Hinweises auf die Beschaffenheit des winterlichen Eises im Watt.

Bekanntlich geht die Temperaturabnahme während des Winters im Wattenmeerwasser wesentlich schneller vor sich als im tieferen Wasser der freien Nordsee. Bei anhaltenden Frostperioden, mit denen oftmals ablandige Winde und damit wieder niedrige Wasserstände einhergehen, unterbleibt die Überflutung der höher gelegenen Watten. Die Auskühlung der Wattedimente kann bis zu größerer Tiefe erfolgen, und so kommt es fast in jedem Winter zu umfangreichen Eisbildungen im Wattenmeer. Außerdem wird die Eisbildung gefördert durch den gegenüber der freien See geringeren Salzgehalt des Wattenmeerwassers. Die im Wasser vorhandenen Sinkstoffe werden mit in die Eisdecke eingefroren. Bei anhaltender Trockenlage des Watts verbindet sich die Eisdecke fest mit dem darunterliegenden Sediment. Im Wechsel der tidebedingten Überflutung wird sie bei Hochwasser mit emporgehoben und löst vermöge ihres Auftriebs mehr oder weniger umfangreiche Sedimente aus dem Verband des Watts heraus. Das Ganze gefriert wieder, und durch Wiederholung dieser Vorgänge im Rhythmus der Gezeiten wird das Eis immer dicker und der Gehalt des Eises an Sand und Schlick immer größer. Bei einsetzendem Westwind und höheren Wasserständen kommt es zur Schollenbildung und Vertriftung der Eisblöcke mit den Gezeitenströmungen. An Dämmen, stromabweisenden Buhnen, Molen und Halligkanten entstehen umfangreiche Ansammlungen von Eisschollen. Je nach Windrichtung und -stärke werden die Eismassen örtlich zusammengestaucht, so daß mehrere Meter hohe Schollenberge das Ufer säumen. Abbildung 69 zeigt eine solche Schollenanhäufung am Hindenburgdamm.



Abb. 69. Eisstauungen am Hindenburgdamm mit eingefrorenen Sedimenten
Bildarchiv Westküste 166/17, Februar 1942. Aufn. JÜRGENSEN

Beim Auftauen dieser Eismassen werden die eingefrorenen Sedimente wieder frei. Entweder nimmt das strömende Wasser sie jetzt als Sinkstoff mit sich fort, oder aber es kommt zu örtlichen Sedimentanhäufungen unter den langsam abschmelzenden Schollenbergen. Noch



Abb. 70. Mächtige, aber örtlich begrenzte und unbeständige Schlickablagerungen nach dem Auftauen der Eisschollen südlich vom Damm

Bildarchiv Westküste 136/22, Juni 1940. Aufn. E. WOHLBERG

im Laufe des folgenden Sommers konnten südlich vom Dammfuß solche Schlickanhäufungen beobachtet werden, wie Abbildung 70 zeigt. Auch auf dem grünen Anwachs findet man am Ende des Winters örtlich scharf begrenzte Schlickanhäufungen, die ihre Entstehung dem Abschmelzen der dorthin verfrachteten Eisschollen verdanken⁹⁾.

Damit sei die Erörterung vom Maß des Aufwuchses am Hindenburgdamm abgeschlossen.

In diesem Jahr, 1954, wird der neue Seedeich um das in der vorliegenden Abhandlung nach vielerlei Richtungen untersuchte Anwachsgebiet gezogen werden (Abb. 58, Seite 79). Damit finden die Erörterungen dieses Aufsatzes auch im Gelände einen gewissen Abschluß. Aber auch der neue Koog wird nach einer solchen Fülle von Sondererscheinungen im Laufe seiner jetzt anlaufenden „Geschichte“ eine Sonderstellung unter den Kögen der Westküste einnehmen und sowohl der Forschung als auch der Praxis noch manches Problem bieten. Bei der Inkulturnahme des neuen Kooges wird man sich der Erfahrung erinnern müssen, die in den Jahren 1925—27 im Pohnshalligkoog auf Nordstrand und 1935—39 im Tümlauer Koog und in der Finkhaushallig in Eiderstedt auf den in der Entwässerung vernachlässigten Böden gemacht wurden, und man wird die größte Aufmerksamkeit von vornherein der sorgfältig zu unterhaltenden Oberflächenentwässerung schenken müssen. Die bei der Bedeichung noch vegetationslosen Wattflächen sollten zur Vermeidung ihrer Verunkrautung zunächst mit Salzgräsern angesät werden. Salzbewegung und Wasserführung im jungen Boden werden in den Jahren nach der Bedeichung einer fortlaufenden Kontrolle zu unterwerfen sein, damit Ent-

⁹⁾ Die Begrenzung dieser Sedimentflecke im Anwachs gibt übrigens ein getreues Abbild von der Größe der ehemaligen Eisscholle.

wässerung und Bewässerung in das rechte Verhältnis kommen und das erste Ansetzen des Pfluges, also die erste Beackerung, nicht zur Unzeit erfolge.

Dann möge der junge Boden als Geschenk und Werk von Natur und Mensch vielen Generationen Brot und Arbeit geben!

III. Zusammenfassung

Hauptgegenstand der Abhandlung ist der Verlandungsraum südlich des Hindenburgdammes.

1. Der Aufsatz wird eingeleitet mit einer geo- und hydrographischen Übersicht über das Untersuchungsgebiet und mit einer kurzen Darstellung des Dammbaus und der vorangegangenen Untersuchungen.
2. Der Sinkstoffgehalt des von der Tide bewegten Wassers wird bei gewöhnlicher Wetterlage und bei Sturmflut untersucht. Das Mengenverhältnis der bei normaler Tide und bei Sturmflut verfrachteten Sinkstoffe wurde mit 1 : 50 ermittelt. Die Sturmflutwerte lagen in Dammnähe bei 3000 mg je Liter.
3. Die vor und nach dem Dammbau abgelagerten Sedimente werden durch Erörterung von Korngröße, Kalkgehalt und Gehalt an organischer Substanz einander gegenübergestellt.
4. Die praktischen Landgewinnungsmaßnahmen sind Gegenstand einer kritischen Betrachtung. Das ökologische Grundgesetz der Landgewinnung wird aufgestellt.
5. Die Leistung der verschiedenen Pflanzengesellschaften für die Bindung neuer Sinkstoffe wird nach Art, Vorgang und Menge eingehend untersucht.

Weit unterhalb der eigentlichen Verlandungszone schalten sich die Wattdiatomeen aktiv in den Vorgang der Sedimentation ein und legen umfangreiche Schlickdepots an. Diatomeenrasen vermögen täglich bis zu 0,5 mm neues Sediment zu binden.

Die Stärke und Zusammensetzung der neuen Ablagerungen werden mit Hilfe der Indikatormethode unmittelbar am Standort gemessen. Die Werte von 1936 bis 1952 werden an Hand zahlreicher Kurven besprochen. Als höchster, bisher bekannt gewordener Sedimentationswert wurden südlich vom Hindenburgdamm nach dem Winter 1947/48 in flächenhafter Ausdehnung über 100 mm an schlickigem Aufwuchs festgestellt.

Die Annelidengesellschaft (*Puccinellietum*) als Folgeverband der Quellerengesellschaft (*Salicornietum*) ist allen anderen an sedimentbindender und sedimentbewahrender Kraft überlegen.

6. Der Einfluß der Eisbildung auf die Verfrachtung der Sedimente wird erörtert.
7. Die Untersuchungsergebnisse über die Schnelligkeit des Aufwuchses gelten nur für den Anwuchs am Hindenburgdamm und können nicht für die übrige Küste verallgemeinert werden.

IV. Schriftenverzeichnis

1. ANKEL, W. E.: Hydrobienschill und Hydrobienkalk. Natur und Museum 59, 1, 1929.
2. BRAREN, L.: Über das Sandwatt westlich Föhr. Unveröff. Bericht 1950, Bibliothek Nissenhaus.
3. BRAREN, L.: Über die Entstehung der Wattströme Nordfrieslands. Selbstverlag München 1951. (Unveröff. Ergänzung, 1952).
- 4a. BROCKMANN, Chr.: Diatomeen und Schlick im Jade-Gebiet. Abh. Senckenbg. Ges. 430, 1935.
- 4b. BROCKMANN, Chr.: Küstennahe und küstenferne Sedimente in der Nordsee. Naturwiss. Ver. Bremen XXX, 1/2, 1937.
- 4c. BROCKMANN, Chr.: Die Watt-Diatomeen der schleswig-holsteinischen Westküste. Abh. Senckenbg. Ges. 478, 1950.
5. BRUGGEMAN, A. G.: Nieuw Land, Berichten van de Nederlandse Vereeniging voor Landaanwinning. s'-Gravenhage 1951.

6. BUSCH, A.: Ein Beitrag zu der Frage, ob große Kulturbauwerke wie etwa die Eiderabdämmung und der Hindenburgdamm verhängnisvolle Flutstauungen bewirken können. Die Heimat 42, 1932.
7. BUSCH, A.: Neue Gesichtspunkte zur Kartographie des mittelalterlichen Nordfrieslands. Jb. Nordfrieslands 23, 1934.
8. CHRISTIANSEN, W.: Die Außendeichsvegetation von Schleswig-Holstein mit besonderer Berücksichtigung von Föhr. Föhrer Heimatbücher 16, 1927.
9. DELFF, C.: Woher stammt der neuauflandende Boden im Wattenmeer? Jb. Nordfr. Ver. 20, 1933.
10. DELFF, C.: Nordfrieslands Werden und Vergehen. Nordelbingen 10, 1934.
11. DELFF, C.: Neue Gesichtspunkte zur Geschichte der nordfriesischen Marsch. Kieler Neueste Nachrichten 52, 1936.
12. DITTMER, E.: Neue Ergebnisse zur Erforschung des nordfriesischen Eems. Forsch. u. Fortschritte 17,3, 1941.
13. DITTMER, E.: Die Küstensenkung an der schleswig-holsteinischen Westküste. Forsch. u. Fortschritte 24, 17 u. 18, 1948.
14. DITTMER, E.: Die nacheiszeitliche Entwicklung der schleswig-holsteinischen Westküste. Meyniana I, 1952.
15. DITTMER, E. und VINCK: Der Sinkstoffhaushalt der Eider. In Bearbeitung, 1954.
16. EICH: Die Höhe der Sturmfluten im Wattenmeer hinter der Insel Sylt. Zentralblatt d. Bauverw., 41, 1921.
17. EERDE VAN, L. A. AE.: Die Landaanwinning van het Noorderleegs Buitenveld. Nederl. Aardr. Gen. LIX, 1, 1942.
18. FRANZIUS, O.: Landgewinnung und Küstenströmung. 1. Denkschr. d. Marschenverbandes S.-H. Husum, 1932.
19. GILLI, Al.: Die Phänologie des *Salicornietum herbacea* an der Nordsee. Phytion, II, 4, 1950.
20. HANSEN, K.: Preliminary Report on the Sediments of the Danish Wadden Sea. Medd. Skalling Labor. XIII, 1952.
21. HERRMANN, F.: Über den physikalischen und chemischen Aufbau von Marschböden und Watten verschiedenen Alters. Westküste 1943.
22. HINRICHS, W.: Nordseedeiche, Küstenschutz und Landgewinnung. Husum 1931.
23. JESSEN, O.: Neue Landgewinnungs- und Landsicherungsarbeiten an der Westküste Schleswig-Holsteins. Peterm. Geogr. Mitt., 1934.
24. IWERSEN, J.: Das Problem der Kultivierung eingedeichter Watten. Die Küste 2, 1, 1953.
25. KÖNIG, D.: Die Chromosomenverhältnisse der deutschen Salicornien. Planta 29, 3, 1939.
26. KÖNIG, D.: Vergleichende Bestandsaufnahme an bodenbewohnenden Watt-Tieren im Gebiet des Sicherungsdammes vor dem Friedrichskoog in den Jahren 1935—39. Westküste 1943.
27. KOLUMBE, E.: Die Bedeutung der Pflanzen für die Landgewinnung an der schleswig-holsteinischen Westküste. Die Heimat 42, 1932.
28. KREY, H. O.: Der Verlauf der Tide- und Sturmflutwellen in Meeresarmen und die Wirkung eines Abchlusses, mit besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse hinter Sylt. Zentralbl. d. Bauverw. 41, 1921.
29. KÜHL, H.: Studien über die Klaffmuschel *Mya arenaria*. Arch. f. Fischereiwissenschaft 4, 1952/53.
30. LINKE, O.: Die Einwirkung des Quellers (*Salicornia herbacea* L.) auf den Verlandungsvorgang des Wattes im Jadebusen. Abh. Nat. Ver. Bremen, XXX, 1/2, 1937.
31. LINKE, O.: Biologie und Praxis an der ostfriesischen Küste. Der Biologe, VII, 7, 1938.
32. LINKE, O.: Die Biota des Jadebusenwattes. Helgoländer Wiss. Meeresunters. I, 3, 1939.
33. LORENZEN, J. M.: Landeskultur-Aufgaben an der schleswig-holsteinischen Westküste. VDJ-Zeitschrift, 81, 26, 1937.
34. LORENZEN, J. M.: Planung und Forschung im Gebiet der schleswig-holsteinischen Westküste. „Westküste“, I, 1, 1938.
35. LÜDERS, K.: Über das Wandern der Priele. Abh. Nat. Ver. Bremen, XXIX, 1/2, 1934.
36. LÜNEBURG, H.: Über Messung und Bedeutung der Sinkstoffe in Elbe- und Wesermündung. Ztschr. vom Wasser XVIII, 1950/51.
37. LÜNEBURG, H.: Ein Gerät zur Messung des Schlickfalles in Küstengewässern und Häfen. Veröff. Institut f. Meereskunde, Bremerhaven, Bd. I, 1952.
38. MARSCHENVERBAND: Die Landgewinnung und ihre wirtschaftliche Bedeutung. (Denkschrift), Husum.
39. MÜLLER-FISCHER: Sylt, II. Teil. Die Inseln. In: Wasserwesen an der schleswig-holsteinischen Westküste. Berlin 1938.

40. NIELSEN, N.: Eine Methode zur exakten Sedimentationsmessung. Medd. Skalling Laboratoriet I, Kopenhagen 1935.
41. NIENBURG, W.: Zur Oekologie der Flora des Wattenmeeres. Wiss. Meeresunters. Kiel XX, 1927.
42. OSTENDORFF, E.: Die Grund- und Bodenverhältnisse der Watten zwischen Sylt und Eiderstedt. Westküste 1943.
43. PFEIFFER, H.: Untersuchungen über den Einfluß des geplanten Dammbaues zwischen dem Festland und der Insel Sylt auf die Wasserverhältnisse am Damm und der anschließenden Festlandsküste. Dissert. 1920, Bibliothek Forschungsstelle Westküste Husum.
44. PFEIFFER, H. und MÜGGE, W.: Bau eines hochwasserfreien Eisenbahndammes vom Festland nach der Insel Sylt. Zentralbl. d. Bauverw. 48, 1928.
45. PLATH, M.: Die biologische Bestandsaufnahme als Verfahren zur Kennzeichnung der Wattedimente und die Kartierung der nordfriesischen Watten. Westküste 1943.
46. REICHSBAHN, Dammbau Festland — Sylt. Die Heimat, 36, 7, 1926.
47. REMANE, A.: Einführung in die ökologische Zoologie der Nord- und Ostsee. Tierwelt der Nord- und Ostsee Ia, 1940.
48. RICHTER, R.: Gründung und Aufgaben der Forschungsstelle für Meeresgeologie „Senckenberg“ in Wilhelmshaven. Natur und Museum, 59, 1, 1929
49. SCHÄFER, W.: Biogene Sedimentation im Gefolge von Bioturbation. Senckenbergiana 33, 1952.
50. SCHÄFER, W.: Zur Unterscheidung gleichförmiger Kot-Pillen meerischer Evertebra. Senckenbergiana 34, 1953.
51. SCHÄFER, W.: „Geführte“ Trockenrisse. Natur und Volk 84, 1, 1954.
52. SCHELLING, H.: Die Sturmfluten an der Westküste von Schleswig-Holstein unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse am Pegel Husum. Die Küste I, 1, 1952.
53. SCHMIDT, R.: Der Hindenburgdamm nach Sylt und die Landgewinnung an der schleswigschen Westküste. Meereskunde XVI, 4, 1928.
54. SCHUMACHER, A. und THORADE, H.: Die Gezeiten der Sylter Gewässer. Arch. Dt. Seewarte 41, 2, 1923.
55. SCHWARZ, A.: Die Ausbreitungsmöglichkeiten der Hydrobien. Natur u. Museum 59, 1, 1929.
56. SCHWARZ, A.: Der tierische Einfluß auf die Meeressedimente. Senckenbergiana 14, 1932.
57. THAMDRUP, H. M.: Beiträge zur Ökologie der Wattenfauna. Medd. Danmarks Fiskeri og Havunders. X, 2, 1935.
58. TRUSHEIM, F.: Trockenrisse mit Hydrobienfüllung im Schlickwatt. Natur u. Museum 59, 1, 1929.
59. TRUSHEIM, F.: Eigenartige Entstehung von Tongallen. Natur und Museum 59, 1, 1929.
60. VERHOEVEN, B.: Het wisselen op korte afstand van het chloorgehalte in geïnundeerte gronden. Landbouwkundig Tijdschrift 62/4, 5, 1950.
61. WARMING, E.: Dansk Plantevaekst I, Strandvegetation. Kopenhagen 1906.
62. WETZEL, W.: Die koprogenen Beimengungen mariner Sedimente und ihre diagnostische und lithogenetische Bedeutung. N. Jb. Mineralog. Berl.-Bd. 78B, 1937.
63. WIGGERS, A. J.: De Gehalten aan organische Stof in Nederlandse Gronden. Landbouwkundig Tijdschrift 62/6, 1950.
64. WOHLLENBERG, E.: Die grüne Insel in der Eidermündung, eine entwicklungsphysiologische Untersuchung. Arch. Deutsche Seewarte 50, 2, 1931.
65. WOHLLENBERG, E.: Über die tatsächliche Leistung von *Salicornia herbacea* L. im Haushalt der Watten. Wiss. Meeresunters. Helgoland XIX, 3, 1933.
66. WOHLLENBERG, E.: Das Andelpolster und die Entstehung einer charakteristischen Abrasionsform im Wattenmeer. Wiss. Meeresunters. Helgoland XIX, 4, 1933.
67. WOHLLENBERG, E.: Biologische Landgewinnungsarbeiten im Wattenmeer. Der Biologe III, 7, 1934.
68. WOHLLENBERG, E.: Die Wattenmeer-Lebensgemeinschaften im Königshafen von Sylt. Helgol. wiss. Meeresunters. I, 1, 1937.
69. WOHLLENBERG, E.: Biologische Kulturmaßnahmen mit dem Queller (*Salicornia herbacea* L.) zur Landgewinnung im Wattenmeer. Westküste I, 2, 1938.
70. WOHLLENBERG, E.: Die Nutzenanwendung biologischer Erkenntnisse im Wattenmeer zu Gunsten der praktischen Landgewinnung an der deutschen Nordseeküste. Rapp. et Procès-Verbaux, CIV, 1939.
71. WOHLLENBERG, E.: Unsere jungen Köge. Meyn's Schlesw.-Holst. Hauskalender. Heide 1939.
72. WOHLLENBERG, E.: Der horizontale Wasserschöpfer. Deutsche Hydrogr. Zeitschr. III, 5/6, 1950.
73. WOHLLENBERG, E.: Produktionsbiologische Untersuchungen auf eingedeichten Watten. Die Küste II, 1, 1953.

74. ZIEGEL, W.: Landgewinnungsarbeiten in Dänemark. Information, Raumforschung Bonn, 1953.
75. ZUUR, A. J.: Drainage and Reclamation of Lakes and of the Zuiderzee. Soil Science 74, 1, 1952.

*Aus der Sammlung amtlicher Berichte und Gutachten des Marschenbauamts Husum —
Forschungsstelle Westküste*

76. DECHEND, W.: Mineralogische Untersuchungen zur Lösung der Frage nach der Herkunft, Wanderung und Ablagerung der Aufbaustoffe zur Landgewinnung im Watt Nordfrieslands. Oktober 1939.
77. DITTMER, E.: Sinkstoff- und Sandwanderungsmessungen. Februar 1938.
78. ELY, W.: Sinkstoffbewegung und Sandwanderung. (Unmittelbare Messungen). September 1938.
79. IWERSEN, J.: Stellungnahme zum Deichbau und Versuchskoog im Wattgebiet vor Klanxbüll. Dezember 1936.
80. IWERSEN J. und WOHLBERG, E.: Versuchskoog am Hindenburgdamm. Juni 1937.
81. KÖNIG, D.: Verbreitung von Suaeda maritima im Gebiet des Schlickwatts vor dem Wiedingharder Neuen Koog mit Karte 1 : 10 000. Dezember 1936.
82. OSTENDORFF, E.: Bericht über die Watten- (und Boden-)aufnahme am Hindenburgdamm. September 1937.
83. OSTENDORFF, E.: Bericht über die Wattenaufnahme am Hindenburgdamm. Amtl. Bericht i. d. Forschungsstelle Husum.
84. OSTENDORFF, E.: Erläuterungsbericht zur Watt- und Boden-Spezialaufnahme am Hindenburgdamm April 1937/Juni 1938. Amtl. Bericht i. d. Forschungsstelle Husum, 1938.
85. PETERSEN, M.: Sinkstoffgruppenmessung in der Norder-Hever 1937.
86. PLATH, M.: Bericht über Kotballenuntersuchungen und -beobachtungen im Sinkstoff des Meerwassers der nordfriesischen Watten. Januar 1939.
87. WOHLBERG, E.: Bericht über die Anlandung nördlich und südlich des Hindenburgdamms nach den Herbst- und Winterfluten 1936/37. Juli 1937.
88. WOHLBERG, E.: Zusammenstellung einiger Punkte zur Begründung der Frühbedeichung des Verlandungsgebietes am Hindenburgdamm. Dezember 1936.
89. WOHLBERG, E.: Der Anwachs am Hindenburgdamm. Dezember 1952.
90. WOHLBERG, E. und IWERSEN, J.: Versuchskoog am Hindenburgdamm. Juni 1937.

Helgoland bei Johannes Mejer und Adam von Bremen

Von Gustav Jacoby

I. Zur Einführung	95
1. MEJERS Lebenswerk	95
2. Leistung und Verdienste um die Kartographie	96
3. Beurteilung im Schrifttum	97
II. Das Gradnetz der Erde	99
1. SCHWERINS Voraussetzung	99
2. MEJER und ADAM von BREMEN	100
3. MEJERS Nullmeridian	101
III. Meile, Rute und Grad bei Johannes MEJER	102
1. Die Änderung der Maße in der Zeit von 1630 bis 1650	102
2. Die Zeit bis 1639	104
3. Die Zeit von 1640 bis 1648	107
4. Die Maße nach 1648	107
5. Milliarä	108
6. Zusammenstellung der Maße für Fuß, Rute, Meile und Grad	111
IV. MEJERS „historische“ Karten	112
V. Die Drehung der Inselachse durch MEJER (nach SCHWERIN)	116
VI. Das Bild der Insel in der Kartographie	118
1. Karten bis um 1630	118
2. Die Abmessungen Helgolands nach MEJER	118
3. MEJERS eigene Vermessung	119
4. Karten seit etwa 1630	119
5. Die Verlegung der Achsen	121
VII. Abbruch und frühere Größe	122
1. Die Zeit vor 1650	122
2. Der Abbruch seit Johannes MEJER	124
VIII. Allgemeine Bewertung und Zusammenfassung	125
IX. Schriftenverzeichnis	126
X. Kartenverzeichnis	128

I. Zur Einführung*)

1. MEJERS Lebenswerk

Im Jahre 1652 erschien in Husum ein Werk von ganz besonderer Bedeutung: Caspar DANCKWERTHS „Newe Landesbeschreibung der zwey Hertzogthümer Schleswich und Holstein . . .“ (11). Außer DANCKWERTHS geschichtlicher und beschreibender Abhandlung enthält der ungefüge schwere Foliant die hervorragenden Blätter Johannes MEJERS auf vierzig Tafeln in Kupferstich: 43 Karten und 32 Stadtpläne.

Der Husumer Mathematiker, Geograph, Astronom und hauptsächlich Kartograph Johannes MEJER¹⁾ hat damit ein Werk geschaffen, das ungewöhnliche Bedeutung erlangte, und

*) Das Manuskript dieser Arbeit wurde 1952 vom Verfasser zur 300jährigen Wiederkehr des Erscheinens des großen Kartenwerkes von Johannes MEJER dem Küstenausschuß vorgelegt.

¹⁾ J. MEJER, geb. etwa 1608, gest. 1674. — Über sein Leben und seine Karten wie auch seine Verdienste und Irrtümer ist das Schrifttum außerordentlich umfangreich. Hier sei nur auf LAURIDSEN (35), GEERZ (16) S. 38—40, 149, 168—176 und SCHWERIN (46) S. 171—172 verwiesen. Ausführliche Biographien außer bei LAURIDSEN auch bei C. BRUUN und R. HANSEN. Vgl. ferner das Schriftenverzeichnis.

zwar zunächst für seine engere Heimat, sodann aber auch in Nordeuropa für jene Zeit wie für die ganze Nachwelt bis heute hin. Deshalb verdient das dreihundertjährige Jubiläum [DEGN (13)] ganz besonders hervorgehoben zu werden. Dieses Werk, die Karten und im Zusammenhang damit die Beziehung zu ADAM VON BREMEN werden den Gegenstand der nachfolgenden Abhandlung bilden, und zwar hauptsächlich die sogenannten „geschichtlichen Karten“ von Helgoland. — Auch die Kupferstecher von MEJERS Blättern müssen hierbei gebührend genannt werden. Es sind die Brüder Matthias und Clauß PETERSEN, Goldschmiede in Husum, und für einige Karten auch der Rotgießer Christian LORENZEN.

Um MEJERS Leistung ganz zu verstehen, erscheint es gerechtfertigt, hier auf sein gesamtes Lebenswerk kurz hinzuweisen. Dies wird zugleich auch zur Erläuterung seiner weiterhin zu besprechenden Verdienste wie auch seiner Fehler beitragen.

Wirft man nur einen kurzen Blick auf die Lebensarbeit MEJERS, dann staunt man über die außerordentliche Leistung. Seit etwa 1638 und ganz besonders von 1642 bis 1648 [LAURIDSEN (35) S. 33] war MEJER mit der Vermessung und Kartierung Schleswig-Holsteins beschäftigt. Aber schon 1629 hatte er angefangen, fleißig zu schaffen, und hat bis zu seinem Lebensende eine erstaunliche Fülle von Arbeiten zustande gebracht. Sehr viele sind nie veröffentlicht worden, auch ist vieles vernichtet oder verlorengegangen. LAURIDSEN bespricht die Werke eingehend in (34). Hier seien genannt:

Sehr viele Handzeichnungen von Karten, teils als Einzelblätter entstanden — zu diesen gehört die wichtige, oft genannte „Petreus-Karte“ von Altnordstrand —, teils in Gruppen zusammengefaßt. — Außer der Vermessung von Schleswig-Holstein für die Chronik (11) hat MEJER das ganze dänische Reich vermessen und in einem umfangreichen Atlas kartiert. Hinzu treten Kartenwerke für das Amt Apenrade und die Schlei²⁾.

Neben diesen Arbeiten bereitete er viel Material für einen „Nordischen Atlas“ und einen „Gesamt-Weltatlas“³⁾ vor.

Bei so vielen Karten — man zählt mehrere hundert größere und kleinere Blätter — ist häufig die ganz ungewöhnlich bewundernswerte Schnelligkeit der rein landmesserischen Tätigkeit hervorgehoben worden. Es wurde „eine Vermessung und Kartierung in fliegender Fahrt“ genannt [(35) S. 40, 41], die seiner besonderen Fähigkeit zuzuschreiben ist. Daß dabei gelegentlich Flüchtigkeiten vorgekommen sind, mag die eine oder andere Einzelleistung zwar beeinträchtigen, das große Ganze aber wird dadurch nicht betroffen.

Neben den kartographischen Arbeiten ist MEJER auch schriftstellerisch tätig gewesen. Astronomische und astrologische Kalender wie auch Almanache hat er sein ganzes Leben hindurch herausgegeben [(35) S. 25]. Astronomie hatte er in Kopenhagen beim Studium von Tycho BRAHES Werk (gest. 1601) gelernt, und diese Wissenschaft stand im Geiste seiner Zeit der Astrologie wie aber auch der Alchemie und Kabbalistik recht nahe. — Er schrieb an einer „Weltgeschichte“ in Verbindung mit dem erwähnten Weltatlas; sie wurde nicht vollendet. — Für Schleswig-Holstein hinterließ er eine fertige Handschrift der Landesgeschichte und auch der Landesbeschreibung als zweite Auflage von (11)⁴⁾.

2. Leistung und Verdienste um die Kartographie

MEJERS Lebenswerk zeigt als Ganzes betrachtet, daß er sich ein ungewöhnliches Verdienst erworben hat. Er schuf ein Werk von überragender Bedeutung. Die Anerkennung ist im Schrifttum häufig und uneingeschränkt zum Ausdruck gekommen⁵⁾. Dabei wird „seine einzigartige Fähigkeit“, „sein geradezu seltenes Talent“ hervorgehoben, „ein richtiges Bild der Landschaft schnell und zuverlässig zu geben . . . Er nimmt sich nahezu wie ein geographischer Zauberer aus“, der „ungeheure Arbeitskraft, glückliche Sammlergabe und eine alles besiegende Ausdauer“ vereinte [(35) S. 110].

²⁾ Siehe die Veröffentlichung 1942 durch NÖRLUND (38).

³⁾ Beide sind unvollendet geblieben.

⁴⁾ Vgl. (35) S. 23, 71; Ledreborg-Handschrift genannt.

⁵⁾ Vgl. GEERZ (16) S. 40 ff., LAURIDSEN (35) S. 40 ff. und manche andere.

In jungen Jahren hatte er verschiedene fehlerhafte Darstellungen der vorhandenen Kartographie zunächst gutgläubig übernommen (z. B. Helgoland, Sylt, Alsen), hat sie dann durch seine Vermessungen richtiggestellt und die Genugtuung erfahren, daß sehr schnell sein Kartenbild in fremde Atlanten, besonders in holländische übernommen wurde. Dies ist hauptsächlich dadurch möglich geworden, daß die Kupferplatten seiner Karten aus (11) nach Holland gelangten und dort noch zu seinen Lebzeiten in Mengen nachgedruckt wurden [(35) S. 82]. Durch die Verbreitung der holländischen Atlanten hat er den größten Einfluß auf die gesamte Kartographie nicht nur von Schleswig-Holstein und Dänemark, sondern von ganz Nordeuropa ausgeübt. GEEZ sagt, daß sein Werk bis etwa 1807 „fast als die einzige Basis“ aller einschlägigen Karten gedient hat. So wäre er am Schluß seines Lebens wohl berechtigt gewesen, wie einst HORAZ, zu sagen: *exegi monumentum aere perennius* (ein Denkmal, dauerhafter als Erz, habe ich mir errichtet).

Daß bei dem Umfang seiner Arbeiten und der ihn auszeichnenden Schnelligkeit auch Irrtümer und sogar größere Fehler vorkommen, ist entschuldbar. Diese Art Versehen müssen jedoch getrennt von seinen geschichtlichen Karten betrachtet werden, die jetzt zu besprechen sind, weil gerade Helgoland den Gegenstand der späteren Abhandlung bildet. Sie werden auch zu ADAM VON BREMEN hinleiten.

3. Beurteilung im Schrifttum

Man kann MEJERS Verdiensten nicht für sich allein gerecht werden, ohne auch auf die Vorwürfe einzugehen, die ihm eine besondere Gruppe von Karten eingebracht hat.

Geschichtliche Probleme scheinen ganz allgemein sein besonderes Interesse geweckt zu haben. Vielleicht war es eine Art Liebhaberei oder Vergnügen⁶⁾. Er hat [LAURIDSEN (35) S. 82 ff.] geschichtliche Karten für alle in seiner Zeit bekannten Länder der Erde entworfen und „beginnt dabei sogar mit der Entstehung der Welt“. Auf einer Karte zeigt er das Tote Meer „vor der Sodom-Katastrophe“, und „nichts ist ihm fremd zwischen Himmel und Erde“, so daß LAURIDSEN sagt, MEJER habe wohl „die geschichtliche Kartographie professionell betrieben“.

In (11) sind acht solcher Karten enthalten, von denen für die vorliegende Arbeit die Blätter von Helgoland und zum Teil Nordfriesland in Betracht kommen; sodann sollen außer ihnen noch einige seiner älteren Handzeichnungen zur Untersuchung herangezogen werden. Diese Karten sind die Veranlassung zu scharfen Auseinandersetzungen für und wider ihre Glaubwürdigkeit geworden und haben ein reiches Schrifttum seit bald dreihundert Jahren hervorgerufen. Sicherlich mindestens 35 Bücher und Aufsätze gehören hierher, von denen im beigefügten Verzeichnis aber nur ein kleiner Teil genannt werden kann. Bei diesem wissenschaftlichen Meinungsaustausch wurde teils die Zuverlässigkeit und Glaubwürdigkeit von MEJERS Rekonstruktionen des einstigen Zustandes nicht bezweifelt⁷⁾, teils wurde nur auf eigenartige Widersprüche hingewiesen, dann aber finden sich gegen seine Darstellungen schärfste Ausdrücke wie: phantastische Landschaftsgebilde, absichtlicher Betrug, Fälschung, Mystifikation, eine Rumpelkammer, Hirngespinnste, bewußte Irreführung und Täuschung u. a. m.

Für die bei diesem Streit vorgebrachten Anschauungen und Begründungen muß auf drei Verfasser hingewiesen werden, die in eingehenden Untersuchungen alle Fragen ausführlich und nach meiner Ansicht auch endgültig beleuchtet und geklärt haben. Es sind:

- 1888 P. LAURIDSEN (34) S. 357 ff., und 1906 die deutsche Ausgabe (35) S. 82—120
- 1888 P. LAURIDSEN (33)
- 1893 R. HANSEN (20) S. 177
- 1894 R. HANSEN (21) S. 66—81
- 1896 H. H. VON SCHWERIN (46) S. 171—180.

⁶⁾ Über politische Beweggründe vgl. S. 116—117.

⁷⁾ GEEZ z. B. versuchte in (16) eine „Ehrenrettung“.

Diese drei Beurteiler kommen zu einer ablehnenden Haltung, ja zu einer vernichtenden Kritik; sie decken schwerwiegende Widersprüche und Verwechslungen einwandfrei auf. Sie weisen auf Irrtümer belastender Art hin und geben unwiderlegliche Beweise, daß MEJER auf seinen geschichtlichen Karten große Teile der Landschaft mit topographischen und geographischen Einzelheiten in vollem Bewußtsein erfunden haben muß; daß er ferner „alte Listen“ von Kirchen und Dörfern selbst verfaßt hat und dadurch in den Augen der unbefangenen Leser die erfundenen Namen auf den Karten chronikmäßig belegte. Die Gründe der drei Verfasser und die große Zahl der von ihnen als Beweis angeführten Beispiele können hier nicht alle wiedergegeben werden. Nur wenig sei genannt:

Für eine der Formen des alten Helgoland gibt MEJER einmal das Jahr 800 und ein andermal das Jahr 1300 an, ohne jede Begründung des Unterschiedes und Widerspruchs. — Im Jahre 1240 wäre Sylt nach MEJERS Zeichnung rings von einer ausgedehnten und reich besiedelten unbedeichten Marschlandschaft umgeben gewesen. In Wirklichkeit wurde dagegen Sylt bereits im Jahre 1141 in einer Urkunde als eine vom Meer umflossene Insel genannt (FALCK, bei Heimreich, Nordfres. Chron., I, S. 243), und das wird durch eine Urkunde aus dem Jahre 1180 bestätigt. — Auf die außerordentlichen Widersprüche in den Längenangaben wird weiter unten eingegangen werden; dabei ist MEJER sogar gelegentlich eine Vergrößerung statt Abnahme der Insel unterlaufen.

Trotzdem sind seine geschichtlichen Karten durchaus nicht wertlos. In den nachfolgenden Abschnitten wird sich zeigen, daß aus ihnen sogar wichtige Schlüsse gezogen werden konnten.

Bei der Frage, ob man MEJERS geschichtliche Erfindungen milde oder scharf beurteilen soll — die Erfindungen sind nun einmal als Tatsache erwiesen —, ist zunächst festzustellen, daß es sich nicht um einfache Flüchtigkeit, verzeihliche Schreibfehler, kleine Versehen oder Entgleisungen, wie sie alle oft bei MEJER vorkommen, handelt⁸⁾. Derartige entschuldbare Irrtümer sind weder damals noch heute als schwere Vergehen zu betrachten und dürfen daher auch nicht mit den scharfen obigen Worten verurteilt werden.

MEJER befindet sich mit seinen Erfindungen auch nicht in der Rolle eines Dichters, dem man keinen schweren Vorwurf aus seinen Romanen machen kann, denn dieser beruft sich auf die Freiheit des Poeten und trägt den Anschauungen und dem Geschmack seiner Zeit Rechnung. Niemand wird daher das Ersinnen in dichterischen Werken als Unrecht ansehen.

Oft hat MEJER sicherlich in gutem Glauben ohne Hinterabsicht gearbeitet. Beispielsweise könnte man es als unbeabsichtigtes Versehen betrachten, wenn er als Plan einer Stadt im Jahre 1320 das Bild einer anderen Stadt aus seiner Zeit um 1650 gibt, und zwar auf Grund eines Druckfehlers in einem Sammelwerk (35). Auch hat er wahrscheinlich in jüngeren Jahren nur in gutem Glauben gehandelt, wenn er nach holländischem Vorbild Alsen gänzlich zeichnete (betreffend Sylt auf Karte 19a, vgl. S. 115 und 118).

Sodann ist zur Erklärung auch noch auf die geistigen Überbleibsel aus dem Mittelalter hingewiesen worden und gesagt, man müsse MEJER als Vertreter seiner Zeit, also im Geiste jener Zeit verstehen. Bei dem gewaltigen Umschwung, den der Übergang zur Neuzeit mit sich brachte, war trotz der Wandlung vieler eingewurzelter Anschauungen die Einstellung zur Wahrheit und wissenschaftlichen Zuverlässigkeit eine andere als heute. Die Welt war noch in vielen überkommenen, oft auch mystischen Gedanken befangen. Trotz Humanismus, Renaissance und Aufklärung standen Astrologie und Magie in Blüte. Noch im späten Mittelalter wurden phantastische Gestalten, sagenhafte Ungeheuer, Fabelwesen auf dem Lande und im Wasser abgebildet oder beschrieben⁹⁾, ohne daß man diese nervenaufregenden Erfindungen als besonderes Unrecht oder schändlichen Betrug auffaßte. Hiernach könnte man also sagen, daß MEJER mit seinen Darstellungen den „abenteuerhungrigen Geist“ seiner Zeitgenossen traf. Schließlich wurde versucht, die ungewöhnliche Schnelligkeit seiner Kartierungsarbeit zur Erklärung und Entschuldigung heranzuziehen.

⁸⁾ Die falsche Meridian-Zahl auf Karte 12 ist vielleicht einer Flüchtigkeit seines Steders zuzuschreiben.

⁹⁾ Dies erwähnt z. B. auch (35) S. 80.

Bei MEJER aber können nach Ansicht der drei genannten Fachleute die bisher erwähnten ihn entschuldigenden Urteile auf seine geschichtlichen Karten von Helgoland und Nordfriesland nicht angewandt werden; deshalb wird von „absichtlicher Täuschung“ gesprochen. Denn es bleibt nun einmal die Tatsache der umfangreichen, phantastischen, mit vollem Bewußtsein entworfenen Erfindungen des geographischen Bildes einer Landschaft mit ihren Siedlungen, gestützt auf selbstverfaßte „alte Kirchenverzeichnisse“, bestehen, und zwar für ein Fachwerk wie die Landesbeschreibung (11), die keinem Roman verglichen werden darf.

Hiernach mag jeder, der sich mit MEJERS Arbeiten beschäftigt und die Begründungen der drei Verfasser gelesen hat, die Erfindungen je nach persönlicher Einstellung milde oder scharf beurteilen. Der Verfasser hat dazu folgende Ansicht:

Im Falle, daß MEJER vielleicht auf höheren Befehl handelte (vgl. S. 117) und sein Auftraggeber ihn womöglich noch vor wirtschaftlicher Not schützte, kann man ihm aus menschlichem Mitgefühl seine Erfindungen verzeihen. Trifft dieser Grund aber nicht zu und hat er 1652 nur aus Vergnügen am Erfinden, also in dichterischer Freiheit, gehandelt oder vielleicht gar aus Ruhmsucht, dann liegt mit der bewußten Irreführung der gutgläubigen Leser ein schwerer Vorwurf vor, der ihm nicht erspart werden kann. Denn ein ernster Fachmann durfte sich in einem ernsten Werk von hervorragender Bedeutung um die Mitte des 17. Jahrhunderts nicht mehr eine Täuschung dieser Art zuschulden kommen lassen. Welcher dieser beiden Fälle in Wirklichkeit historisch richtig ist, wird heute kaum zu entscheiden sein, es sei denn, daß Dokumente und Akten zuverlässigen Inhalts gefunden würden, die eine Aufklärung bringen.

Anders liegt die Frage für die Zeit vor etwa 1640. In seinen jüngeren Jahren kann er noch keinen politischen Auftrag seines Fürsten gehabt haben. Das beweisen meines Erachtens die Karten von 1639. Der Verfasser betrachtet daher die Formen Helgolands auf diesen Karten 16 und 17 (Abb. 1) als recht unschuldigen Ausdruck phantasievoller Gedanken und Versuche, vielleicht in Nachwirkung jugendlicher Eindrücke und Illusionen, vielleicht auch beeinflusst durch andere Personen (z. B. P. SAX) oder durch Bücher. Daß er 1649 auf seine eigenen Umrißlinien der Insel aus dem Jahre 1639 zurückgreift, wäre trotz allem durchaus möglich.

Zur Ehre MEJERS muß aber doch gesagt werden, daß die im Schrifttum zum Ausdruck gebrachten abfälligen Ansichten und auch die schärfste Kritik seiner „geschichtlichen“ Karten seine außergewöhnlichen und voll anerkannten Verdienste auf dem Gebiet der eigentlichen Kartographie nicht zu entwerten vermögen.

II. Das Gradnetz der Erde

1. SCHWERINS Voraussetzung

Auf ADAM VON BREMENS Ausdrücken *longitudo* und *latitudo* (vgl. S. 100) gründet SCHWERIN (46) eine Annahme besonderer Art, die letztlich die Veranlassung zu der vorliegenden Untersuchung gegeben hat. In dieser sollen daher die betreffenden Stellen bei SCHWERIN, dann MEJERS Beziehungen zu ADAM VON BREMEN, zu Jan BERENDS und Peter SAX, ferner einige weitere damit zusammenhängende Fragen aus der Geschichte der Kartographie Helgolands besprochen werden.

Wenn MEJER, wie SCHWERIN meint (vgl. Abschnitt V), die Ausdrücke *longitudo* und *latitudo* als geographische Bezeichnung der Himmelsrichtungen von ADAM VON BREMEN übernommen hätte, dann setzt das voraus, daß dieser [vgl. (3) S. 275] um 1070 bereits Kenntnis der Gradeinteilung der Erdkugel nach den Koordinaten „Länge“ und „Breite“ besaß.

Die Gradeinteilung¹⁰⁾ war in der Antike schon durch einige Jahrhunderte bekannt, und Claudius PTOLEMAEOS wandte sie um 150 n. Chr. in seinem Werk *Geographia* durchgehend an. Er hat auch die Ausdrücke *longitudo* und *latitudo* als geographische Begriffe, d. h. als

¹⁰⁾ (40), (41), (37) S. 53, (19) S. 27—29, (52).

Himmelsrichtungen, eingeführt. Seit dem frühen Mittelalter aber war die Kenntnis des Gradnetzes und der Kugelgestalt der Erde verlorengegangen. Die Kartographie vor ADAM von BREMEN und in den Jahrhunderten nach seiner Zeit zeigt keine Anwendung der Koordinaten. Auch die etwa 200 Jahre nach ihm nicht weit von Bremen entstandene Ebstorfer Weltkarte enthält kein Gradnetz: die Verfasser, Geistliche wie er selbst, haben von seiner Schrift sicher Kenntnis gehabt. Auch auf den für die Schifffahrt wichtigen, seit etwa 1310 bekannten Kompaß- oder Portulankarten gibt es kein Gradnetz. Die Klimazonen-Einteilung auf Karten seit der Antike und die Stundenzonen haben mit Koordinaten nichts zu tun.

Von seiten der Wissenschaft erfolgte damals im Mittelalter noch keine Aufklärung. Auch die Araber haben um 1100 eine Gradeinteilung der Erde noch nicht benutzt, obwohl sie PTOLEMAEOS kannten. Zur Zeit des Gelehrten Albertus MAGNUS (1193—1280), also lange nach ADAM von BREMEN, war zwar die Kosmophysik der Griechen (ARISTOTELES) wieder aufgenommen, aber viele, auch geographische Kenntnisse fanden nur sehr langsam Verbreitung. Die allgemeine Einführung des Kompasses ließ sehr lange auf sich warten. Weder die nautischen Tafeln „Tabulae Alphonsinae“ von 1252 noch die Ephemeriden des Regiomontanus seit 1474 enthalten ein Gradnetz der Erde.

Erst mit dem Beginn der Renaissance — 1. Hälfte des 14. Jahrhunderts in Italien; etwa hundert Jahre später in Deutschland — und mit dem Aufkommen des Humanismus, seit 1400, als die Antike wieder eingehend studiert und damit das Werk des PTOLEMAEOS in vielen neuen Abschriften erforscht und wirklich wieder bekannt wurde, kann die Benutzung der Gradeinteilung in weitere Kreise gelangt sein. Trotzdem wurden [(18) S. 160] die geographischen Längen und Breiten des PTOLEMAEOS noch später, nämlich erst durch Nicolaus DONIS (Nicolaus Dominus Germanus) um 1470—80 „zum wissenschaftlichen Gemeingut“.

Hiernach nimmt der Verfasser an, daß man zur Zeit ADAM von BREMENS um 1070 in Norddeutschland noch nichts von einer Gradeinteilung der Erdkugel wußte¹¹⁾ und daß ADAM von BREMEN selbst ebensowenig Kenntnis davon hatte; daß er daher auch mit *longitudo* und *latitudo* nicht die geographischen, d. h. Himmelsrichtungen bezeichnete, sondern die einfache Länge einer Strecke. Wenn ADAM von BREMEN die Gradeinteilung noch nicht kannte, also auch nicht die Beziehung 1 Grad = 15 Meilen, dann hat er die „deutsche“ Meile noch nicht gekannt (konnte sie also auch nicht = 4 milliaria setzen), sondern hat wahrscheinlich mit *milliarium* die alte römische Meile gemeint (vgl. Abschnitt III, 5, S. 110).

MEJER hätte aber bei ADAM von BREMEN die Kenntnis der Gradeinteilung voraussetzen können.

2. MEJER und ADAM von BREMEN

ADAM von BREMEN, Domdiakonus beim Erzbischof ADALBERT von BREMEN, schrieb sein Werk „Gesta Hammaburgensis Ecclesiae Pontificum“ (Hamburgische Kirchengeschichte)¹²⁾ etwa zwischen 1074 und 1081. In diesem Werk hat ein Satz über Helgoland¹³⁾ die Veranlassung zu den genannten ausgedehnten Untersuchungen im Schrifttum gegeben. Dieser Satz lautet¹⁴⁾: „(insula) cuius longitudo vix VIII miliaria panditur, latitudo III . . .“ (Die Ausdehnung der Insel beträgt in der Länge kaum acht Milliarin, in der Breite vier“).

¹¹⁾ Bei Beurteilung dieser Frage bin ich der Leitung des Thesaurus Linguae Latinae für eine ausführliche Mitteilung zu besonderem Dank verpflichtet.

¹²⁾ ADAM von BREMEN, beste deutsche Ausgabe (2), wichtigste lateinische Ausgabe (3). Über sein Leben und seine Chronik (3) S. LII—LXVII und (6).

¹³⁾ Im allgemeinen und wohl mit Recht wird angenommen, daß bei ADAM von BREMEN „das heilige Land“ oder „Heiligland“ mit der Felseninsel Helgoland gleichzusetzen sei. Auf andere Theorien, die Heiligland in beträchtlicher Entfernung suchen, kann hier nicht eingegangen werden. Für sie sei auf Schriften von I. RÖSCHMANN, W. LAUR, J. SPANUTH, W. KROGMANN, G. CARSTENS u. a. verwiesen.

¹⁴⁾ Wortlaut aus Kap. 210 des Abschnittes „De situ Daniae“, in (3) S. 231; (32) S. 9—10; (46) S. 28 u. a. — Der Satz ist übrigens nicht in allen Handschriften der Chronik enthalten und fehlt auch in (11).

Zur Klarstellung der nachfolgenden Erörterungen sei hier erwähnt, daß bei ADAM von BREMEN natürlich nicht angegeben ist, welche Maßeinheit er unter *Milliarien* verstand, noch, ob *longitudo* und *latitudo* als Länge und Breite die geographischen Himmelsrichtungen West-Ost und Nord-Süd bedeuten oder die Ausdehnung der Insel in einem Längenmaß (also Strecken), noch auch, für welches Jahr oder Jahrhundert die Angaben gelten. Im allgemeinen wird man daher wohl annehmen können, daß er sie auf seine Zeit um 1070—1080 bezieht.

Auf den Karten 16 und 17 setzt MEJER die Länge Helgolands 1639 doppelt so groß wie die Breite, zwei und eine deutsche Meile. Hiernach scheint er bereits ADAM von BREMENS Satz von den 8 und 4 milliariis [der 1652 in (11) S. 153 fehlt] gekannt zu haben, wenn nicht schon Jahre vorher durch SAX, mindestens aber, seit er 1638 SAX' Schrift (45) abschrieb. Falls er also bei ADAM von BREMENS Worten die „Himmelsrichtungen“ verstand, hätte er die Hauptachse auf den genannten Karten „West-Ost“ legen müssen. Das tat er jedoch nicht! Daher hat er nach der Beurteilung des Verfassers die fraglichen Ausdrücke als reine Längen aufgefaßt, also bei ADAM von BREMEN die Kenntnis des Gradnetzes gar nicht angenommen.

Eine Bestätigung der Ansicht, daß MEJER „Länge“ und „Breite“ nur als reine Strecken ansah, findet sich in einem Satz seiner Besprechung Eiderstedts zum Jahre 1240 [(35) S. 120] betreffs Utholm: „diese Insul ist 2 Meilen lang und breith...“ — und so groß hat er dieses Utholm auf den Karten 8 und 10 auch wirklich gezeichnet.

Wenn SCHWERIN meint, MEJER habe übertrieben genau die Worte ADAM von BREMENS auf die Waage gelegt (und sie als Himmelsrichtungen aufgefaßt), so kann zur Charakteristik der geringen Gründlichkeit jener Zeit noch ein Beispiel angeführt werden. ADAM von BREMEN schreibt, Helgoland habe einen einzigen Hügel (*collem habet unicum*), DANCKWERTH sagt, es seien drei Hügel vorhanden, und MEJER zeichnet auf Karte 12 sogar fünf.

3. MEJERS Nullmeridian

Auf MEJERS Karten findet man häufig beträchtliche Unterschiede in der Lage der Ortschaften zu den Koordinaten. In (11) gibt er auf Seite 1 z. B. an, Husum läge auf $42^{\circ} 33'$ Ost; auf Karten findet sich $42^{\circ} 30'$ und $42^{\circ} 28'$. Mit $42^{\circ} 33'$ Ost und etwa $9^{\circ} 3'$ Ost von Greenwich würde sein Nullmeridian auf etwa $33^{\circ} 30'$ West von Greenwich liegen [(35) S. 39, 40, (46) Anh. S. 36, 37]. MEJER wählte die Westseite der Flandrischen Inseln (Azoren)¹⁵⁾ und folgte darin vermutlich MERCATOR; dieser hatte die Azoreninsel Corvo gemeint, die auf etwa $31^{\circ} 5'$ West von Greenwich liegt.

Die nach der Zerstörung 1686 verlegte Kirche Helgolands zeichnet MEJER

auf Karte	Jahr	Ost von seinem Nullmeridian
11	1630—34	$41^{\circ} 5'$
17	1639	$41^{\circ} 8' 30''$
14	1639	$41^{\circ} 9' 59''$
12	1649	$41^{\circ} 22'$ (vgl. VIII)
7	1651	$41^{\circ} 22' 30''$
8	1651	$41^{\circ} 24'$

Im Text von DANCKWERTH [(11) S. 153] gibt MEJER für die Kirche $41^{\circ} 22'$ an. Hiermit würde sein Nullmeridian auf etwa $33^{\circ} 28' 50''$ West von Greenwich liegen.

Die Unterschiede in der Lage gehen bei ihm zwar zum Teil wohl auf Fahrlässigkeit und Flüchtigkeit zurück. Doch fällt auf, daß er in zwanzig Jahren die Insel nach Osten verschiebt (die Stetigkeit dabei braucht bei seiner Art nicht zu verwundern). Es ist sehr wohl möglich,

¹⁵⁾ Marinus TYRIUS um 100 n. Chr. und PTOLEMAEOS um 150 n. Chr. nahmen die kanarischen Inseln, *Insulae Fortunatae*, für den Nullmeridian an, später nach der westlichsten der Inseln mit „Ferro“ bezeichnet, etwa $17^{\circ} 40'$ West von Greenwich.

daß auch dieses mit den politischen, in Abschnitt V erwähnten Gesichtspunkten zusammenhängt.

Als nördliche Breite gab er der Insel um 1630 etwa $55^{\circ} 0'$, dagegen 1650 etwa $54^{\circ} 16'$, und hat damit die Insel nach Süden verschoben.

III. Meile, Rute und Grad bei Johannes MEJER¹⁶⁾

Da auf die Längenmaße in den folgenden Abschnitten dauernd zurückgegriffen werden muß, sollen hier Angaben über MEJERS Maße zusammengestellt werden. Zum Vergleich wurden auch andere Blätter als nur MEJERS Helgoland-Karten herangezogen¹⁷⁾.

Den Berechnungen von Meile und Rute aus Karten wurde ein ursprünglich wohl von Hermann WAGNER angewandtes Verfahren zugrundegelegt, bei dem aus Ortsentfernungen und Leitermaßstab der Bildmaßstab ermittelt wird [(24 u. 26)]. Das Verfahren hat bisher eine ausreichende Zuverlässigkeit erwiesen, auch gelegentlich bei ungenauen Karten, soweit es im Bereich des Möglichen liegt.

1. Die Änderung der Maße in der Zeit von 1630 bis 1650¹⁸⁾

MEJER hat stets die „deutsche“¹⁹⁾ Meile, aber nach und nach verschiedene Rutenlängen benutzt. In jüngeren Jahren übernahm er, wahrscheinlich unter dem Einfluß von Peter SAX²⁰⁾ und niederländischen Deichingenieuren wie J. C. Kotte ROLLWAGEN, Christian BECKER, Jan BERENDS, J. A. LEEGHWATER und anderen das Eiderstedter Maß, das diese alle benutzten. Also setzte er 1 deutsche Meile = 1600 Ruten und als Rute die Eiderstedter Rute oder eine dieser sehr nahe kommende Länge. Man kann 1 Eiderstedter Rute = etwa $4,775 \text{ m}^2$) annehmen. Damit würde 1 deutsche Meile = etwa 7640 m. — Die Beziehungen zu Peter SAX beruhen sicher auf Gegenseitigkeit. SAX hat viele Karten des Fachmannes MEJER kopiert und schreibt auf einer Karte Sylts an den Leitermaßstab: „1600 perticae prout J. M. praescript“ (die Meile zu 1600 Ruten wie Joh. Mejer ansetzt).

Um 1640—45 änderte er die Größe der Rute, die Anzahl der Ruten auf eine Meile und ein Grad und wahrscheinlich die Länge der Meile selbst. Doch hält er an der „deutschen Meile“, 15 auf 1 Grad, fest. Bestehen bleibt auch die Beziehung 1 Rute = 16 Fuß „nach biesigen Landes Gebrauch“.

In Benutzung waren damals in Nordeuropa allgemein drei verschiedene deutsche Meilen, nämlich:

1 große deutsche Meile = $\frac{1}{10}$ Grad (später die skandinavische Meile),

¹⁶⁾ Hier möge eine Bemerkung Platz finden, die für die ganze vorliegende Arbeit gilt: Bei den vielen Unsicherheiten der Grundlagen wird in Berechnungen wohl nie mathematische Genauigkeit zu erreichen sein, und man muß sich meist mit Näherungsergebnissen begnügen.

¹⁷⁾ Die in Kopenhagen befindlichen Karten konnten nicht untersucht werden, daher ist ein endgültiges Urteil nicht möglich.

¹⁸⁾ Die Unterlagen für die vorliegende Arbeit waren bereits vor 1935 so weit gesammelt, daß die meisten Berechnungen damals durchgeführt werden konnten. Wie sich aus NÖRLUND (38) und (39) ergibt, kam dieser ebenfalls zu dem Ergebnis der Änderung in der Länge von MEJERS Meile und Rute.

¹⁹⁾ Über das Wort „Meile“ im frühen Mittelalter vgl. Abschnitt III, 5, Seite 110. Der Ausdruck „deutsche“ Meile ist viel jünger; er wird ziemlich gleichzeitig oder nicht lange bevor in der Renaissance die Definition 1 Grad = 15 deutsche Meilen entstand, aufgekommen sein. Denn die Beziehung muß mit der Anwendung des Gradnetzes der Erde (vgl. II, 1, Seite 100 zusammenhängen, und diese mag um 1400 anzusetzen sein. Seit um 1450 wurde jedenfalls diese Meile benutzt (z. B. WALSPERGER 1448), und 1513 fand sich auf einer Karte WALDSEEMÜLLERS (Hylacomylus) zum ersten Male die Bezeichnung „deutsche“ Meile. Der Ausdruck „geographische“ Meile für diese deutsche Meile entstand im 18. Jahrhundert und muß 1739 bereits allgemein bekannt gewesen sein, vgl. ZEDLERS Lexikon, Bd. 20 und (22).

²⁰⁾ Peter SAX, geb. 1597, gest. 1662. Näheres über ihn bei E. BRUHN, Nordfr. Jahrb. 1904, H. 2, und 1905, H. 3; R. HANSEN, Nordfr. Jahrb. 1909, H. 6.

²¹⁾ Nordelbingen 1928, Bd. 7, S. 485, und (25) S. 101.

2. Die Zeit bis einschließlich 1639

In der Universitäts-Bibliothek Kiel lag eine Gruppe von neunzehn Handzeichnungen MEJERS²³⁾, unter ihnen Helgoland Karte 11 (Abb. 2). Diese Karten möchte ich zu MEJERS frühen²⁴⁾ Arbeiten zählen, die älteren zwischen 1630 und 1634. Elf von diesen Blättern konnten zu Berechnungen herangezogen werden: Siebzig Einzelwerte aus Entfernungen zwischen Geländepunkten ergaben im Mittel 1 Rute = 4,73 m, also 1 Meile = 7570 m und 1 Grad = etwa 14,90 Meilen.

MEJERS Handzeichnung Helgolands (Karte 11), ein ganz bemerkenswertes Blatt, gehört meines Erachtens zu den älteren zwischen 1630 und 1634. Leitermaßstab und Meridian- teilung ergaben 1 Grad = 24 300 Ruten = 15,2 Meilen und 1 Meile = 1605 Ruten. Ruten



Abb. 3 (Karte 19a) Peter SAX nach Joh. MEJER: *Delineatio Frisiae Minoris in Oceano*. Handzeichnung auf Pergament. Wohl bald nach 1634 entworfen, in (44)

²³⁾ Genannt „K. 39“, durch den Krieg zerstört.

²⁴⁾ Vier sind von MEJER auf 1637 und 1638 datiert, (23).

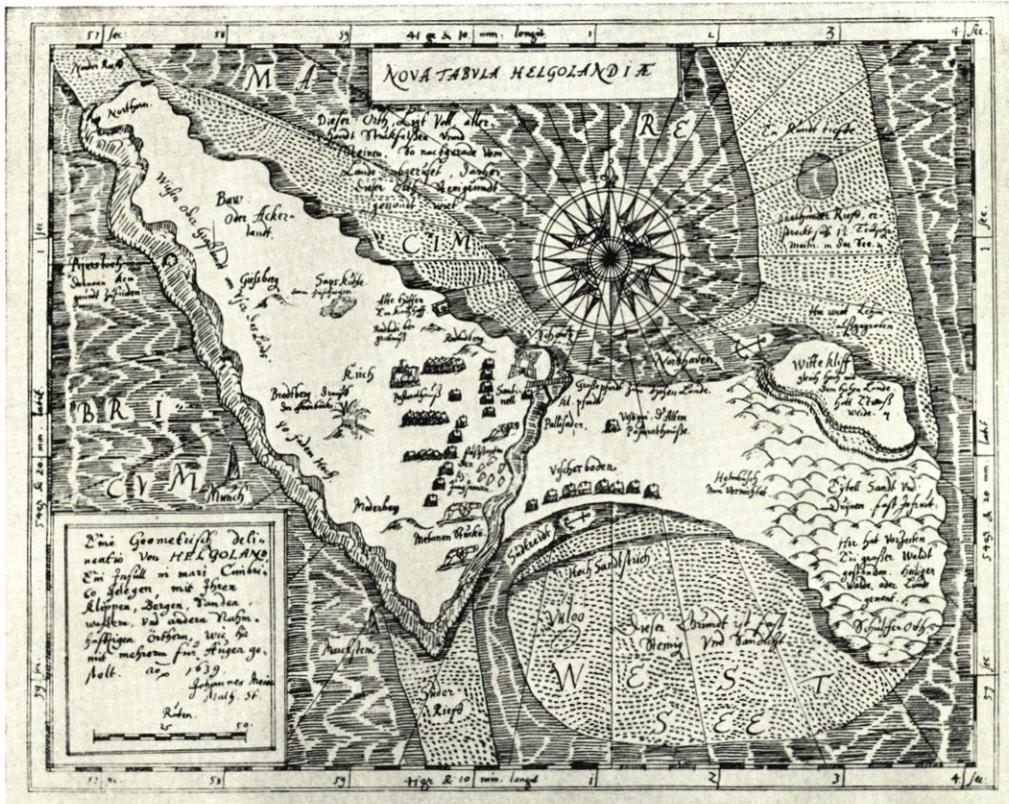


Abb. 4 (Karte 14) Joh. MEJER: *Nova Tabula Helgolandiae*. Handzeichnung, 1639. In (45). — Die hier gegebene Abbildung ist nach (9) Bl. 23 angefertigt

und Grade zeigen also eine für MEJER erstaunliche Übereinstimmung. Das Bild der Insel ist aber völlig verzerrt (s. Abschnitt V und VI), so daß Meile und Rute nicht zu berechnen sind. Wahrscheinlich steht die Karte 11 seiner „Petreus-Karte“ von Altnordstrand [(23) S. 95] sehr nahe. Bei beiden liegen mehrere gemeinsame Gründe vor, um sie als frühe Arbeiten anzusprechen, deshalb kann man die Petreus-Karte hier zur Beurteilung der Maße heranziehen. Auf ihr ist das Kartenbild recht gut getroffen, und es ergibt sich auch bei ihr eine Übereinstimmung zwischen den Maßen: 1 Grad = 23 700 Ruten = 14,83 Meilen und sodann 1 Meile = etwa 7100 m, 1 Rute = 4,43 m.

Eine Handzeichnung des Peter SAX, „*Insula Strandia*“, in (44), eine Kopie nach Jan BERENDS, zeigt Altnordstrand vor der Flut von 1634. Trotz starker Verzerrungen könnte man im Mittel 1 Meile = etwa 6720 m setzen; das ergäbe 1 Rute = etwa 4,2 m. Doch weicht dieser Wert immerhin beträchtlich von MEJERS Zahlen ab, so daß es zweifelhaft erscheint, ob man ihn zur Beurteilung der Maße heranziehen soll.

Auf MEJERS Karte 19a (Abb. 3), die vermutlich aus der Zeit zwischen 1634 und 1638 stammt [Kopie des Peter SAX in (44)], schwankt die Meile infolge von Verzerrungen erheblich. Das Mittel aus vierzehn Werten ergab etwa 7150 m und damit 1 Rute = 4,47 m.

Im Jahre 1639 treten, mit Karte 14, 17 und 16a, drei datierte Handzeichnungen MEJERS auf. Sie bieten beides, Richtiges und Flüchtigkeiten, dazu zum erstenmal seine Erfindungen. Auf Karte 14 (Abb. 4) hat er das Bild Helgolands zu seiner Zeit sehr gut wiedergegeben. Aber Leitermaßstab und Gradeinteilung stimmen nicht zusammen, Meile und Rute lassen

sich nicht berechnen (vgl. BERENDS Karte 1 und Abschnitt IV). — Ebenfalls ist auf Karte 17 (Abb. 1) der Rutenmaßstab mit der Gradeinteilung nicht in Beziehung zu setzen und eine Maßberechnung daher nicht möglich. Dafür gestattet dies die Karte 16a (Abb. 1). Hier berechnet sich 1 Grad = 24 120 Ruten. Bei 1 Meile = 1600 Ruten erhält man 1 Grad = 15,07 Meilen. Die Karte enthält keinen Leitermaßstab. Da das Phantasiebild bei beiden Karten die Messung von Entfernungen nicht zuläßt, sind Umrechnungen auf den Meter unmöglich.

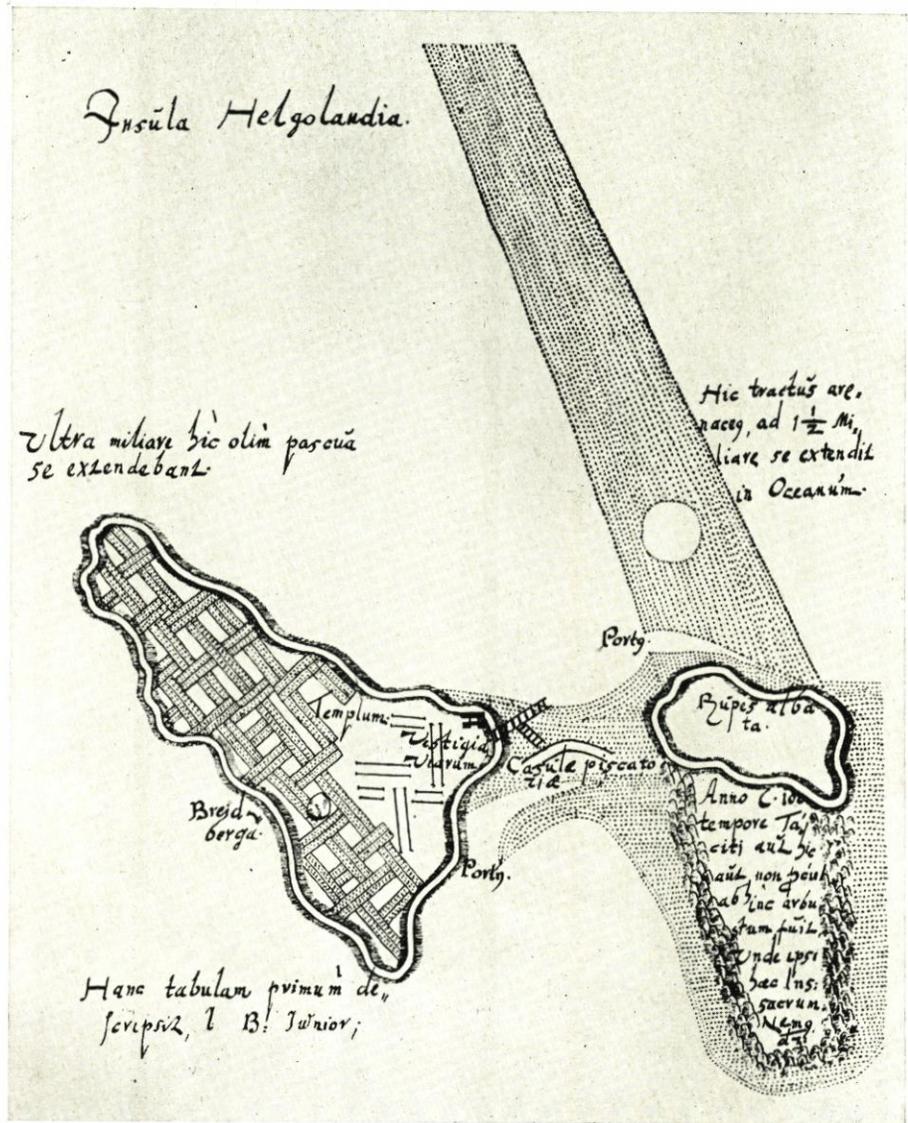


Abb. 5 (Karte 1a) P. SAX, vor 1638, nach Jan BERENDS um 1629/30: *Insula Helgolandia*. In (44). — Die hier gegebene Abbildung ist nach (9) Bl. 22 angefertigt

3. Die Zeit von 1640 bis 1648

In dieser Zeit hat MEJER Meile, Rute und Grad mehr oder weniger geändert. — 1644 gab er zwei Karten in Kupferstich heraus, ziemlich seltene Blätter (Karte 5 und 6). Zwar bieten sie der Berechnung einige Schwierigkeiten, doch zeigen sie, daß MEJER damals noch 1 Meile = 1600 Ruten ansetzte. Hiermit erhält man

auf Karte 5: 1 Rute = etwa 4,99 m, 1 Meile = etwa 7980 m,

auf Karte 6: 1 Rute = etwa 4,34 m, 1 Meile = etwa 6950 m.

Eine Handzeichnung von 1645 (Karte 15), die von Büsum bis zur Elbe reicht, bringt eine klare Änderung der Rutenzahl. Er schreibt an den Leitermaßstab „2000 R auff eine Meilln“. Die Maße auf dem Blatt stimmen gut miteinander überein, und man erhält aus dem Bildmaßstab 1 Grad = 14,95 Meilen = 112,4 km = 29 900 Ruten; 1 Meile = 2000 Ruten = etwa 7520 m; 1 Rute = etwa 3,76 m. Der Grad ist zwar etwas größer als in (11), jedoch stimmt die Rute bereits mit der rheinländischen Rute überein. MEJER hatte vielleicht Kenntnis davon, daß in Helgoland 1 deutsche Meile = 2000 rheinländische Ruten = 7535 m bekannt war.

NÖRLUND [(38) S. 21] gibt an, daß MEJER auf seiner Karte von Nordjütland und den dänischen Inseln 1 Meile = 2000 Ruten zu je 16 Fuß setzte. — Joh. WITTEMACK benutzte 1640 auf seiner Karte von Nordfriesland 1 Meile = 2200 Eiderstedter Ruten. — Eine Handzeichnung Sylts von G. HOFFMANN aus dem Jahre 1668²⁵⁾ verwendet die Beziehung 1 Meile = 2000 Ruten.

Die Vorarbeiten für MEJERS Karten in (11), d. h. Vermessungen und Zeichnungen, begannen zum Teil schon 1638. Man sollte daher annehmen können, daß der Übergang zu der Beziehung 1 Meile = 1920 Ruten schon ziemlich zu Beginn dieses Zeitabschnittes einsetzte. Um so mehr verwundern die genannten Widersprüche. Solche bringt auch ein Plan von Brunsbüttel. MEJER schreibt in (11) Tafel 39 auf einer Karte von Süderdithmarschen aus dem Jahre 1648 ganz klar 1 Meile = 1920 Ruten, gibt aber zugleich auf der Nebenkarte „Brunsbüttel“ desselben Stiches das Jahr 1644 an. Hiernach ist es möglich, daß er schon 1644 die neue Rutenzahl beabsichtigte. Es wäre sehr merkwürdig, wenn für Haupt- und Nebenkarte andere Maße gelten sollten.

4. Die Maße nach 1648

Seit 1648 steht bei MEJER das Verhältnis 1 deutsche Meile = 1920 Ruten fest. Aber die Beziehungen in (11) zwischen Meile, Rute, Grad und Meter bieten der Erklärung doch noch einige Schwierigkeiten, wenn man die Ergebnisse aus seinen Karten mit Angaben im Text vergleicht. Inwieweit bei den verschiedenen Unstimmigkeiten ihn selbst oder seine Kartenstecher die Verantwortung trifft, wird sich wohl selten oder nicht feststellen lassen.

Für die Berechnungen aus dem Bildmaßstab wurden fünfzehn Karten mit möglichst verschiedener Größe — etwa 1 : 60 000 bis 1 : 5 000 000 — ausgewählt. Aus 104 Ortsentfernungen ergaben sich Meilenwerte zwischen etwa 6000 und 9900 m als äußerste Grenzen. Die allermeisten der 104 Werte lagen im inneren Drittel (so daß man das Verfahren als ausreichend zuverlässig bezeichnen kann). Als Mittelwert berechnete sich etwa 7520 m und damit 1 Rute = etwa 3,92 m. — In der Zeichnung des Leitermaßstabes kann kein großer Fehler vorhanden sein, denn die Größe von 1 Grad lag zwischen 13,53 und 15,66 Meilen, im Mittel 14,78 Meilen.

Dieser Vergleich ist eine Bestätigung dafür, daß MEJERS kartographische Arbeit als eine Leistung allerersten Ranges bewertet werden muß. Diesem Urteil tun seine Flüchtigkeiten und Fehler keinen Abbruch.

Außer der Untersuchung des Bildmaßstabes wurden noch MEJERS mathematische Angaben in DANCKWERTH [(11) S. 2] benutzt. Hier gibt er fünf Beziehungen. Von diesen sind

²⁵⁾ Landesarchiv Schleswig, 402. Pl. II, Nr. 23.

die reinen Entfernungsangaben in Meilen die wichtigsten. Aus zwei Entfernungen von Hamburg aus mit je 29 Meilen erhält man 1 Meile = etwa 7570 m und 1 Rute = etwa 3,94 m. Sodann gibt er den Wert eines Längengrades auf den Breiten von vier Ortschaften zwischen Hamburg und Kolding in Meilen an. Das Mittel erbringt 1 Meile = etwa 7390 m und 1 Rute = etwa 3,85 m.

Gegenüber diesen drei auf sicherer Grundlage beruhenden Feststellungen möchte der Verfasser die von MEJER noch genannten Beziehungen zur lübschen Elle, zum griechisch-römischen Maß (vgl. Abschnitt III, 5), zur rheinländischen Rute und zum Grad am Himmel nicht als sicher genug ansehen. Die Untersuchung dieser Beziehungen ergab erhebliche Widersprüche und Unklarheiten. Hier soll nur noch auf das Verhältnis zur rheinländischen Rute eingegangen werden.

MEJER sagt, 480 seiner Ruten entsprächen 640 rheinländischen Ruten. Bei 1 rheinländischer Rute = 3,767 m würde das für seine Rute etwa 5,02 m bringen (ähnlich der dänischen Rute), und seine Meile würde etwa 9650 m, d. h. Meile und Rute würden weit größer, als seine Karten und die glaubwürdigeren Unterlagen ergeben.

Hätte er aber 1 R = etwa 3,92 m angenommen, dann müßte

$$1 \text{ rheinl. Rute} = \frac{480}{640} \cdot 3,92 = 2,94 \text{ m}$$

gewesen sein. Dieser Betrag darf als ausgeschlossen gelten. Daher entstehen schwere Zweifel an der Richtigkeit der Zahlen 480 und 640. Es wäre möglich, daß er die wirkliche Größe der rheinländischen Rute gar nicht gekannt hat oder daß die beiden Zahlen auf Mißverständnissen oder Irrtümern beruhen. Wenn er z. B. gesagt hätte, daß 460 seiner Ruten = 480 rheinländischen Ruten seien, dann ergäbe sich seine Rute zu etwa 3,93 m; das würde nach dem Kartenwert ausnehmend genau hintreffen, bleibt aber eine Hypothese.

Betrachtet man die auffallenden Gegensätze zwischen den glaubhaften und den anderen Zahlen, dann scheint es geraten, nur die zuverlässigen Werte zu berücksichtigen. Diese ergeben im Mittel 1 R = 3,916 m, also 1 Meile = etwa 7520 m. Trotzdem soll bei Untersuchungen für die Zeit nach 1648 mit der rheinländischen Rute zu 3,767²⁶⁾ gerechnet werden (also 1 Meile = 1920 · 3,767 = etwa 7320 m), unter der Annahme, daß MEJERS Wert dieser Rute sehr nahe kam und aus folgenden Gründen:

1. weil MEJER schon 1645 auf Karte 15 mit einer Rute rechnete, die man als rheinländische ansehen kann,
2. weil sich auf derselben Karte eine Meilenlänge ergibt, die mit den Ergebnissen aus den Karten in (11) übereinstimmt, d. i. 7520 m,
3. weil die Unterschiede zwischen 3,767 m und den zuverlässig erscheinenden Werten Beträge ausmachen, die ganz allgemein gesehen im Verhältnis zu den Ungenauigkeiten und der Zeichenkunst der damaligen Zeit gering erschienen, denn sie liegen innerhalb der Grenzen damaliger Fehlerquellen,
4. weil dieser Unsicherheiten wegen alle heutigen Berechnungen der vorliegenden Art nicht den Anspruch auf mathematische Genauigkeit erheben können; jeder, der Untersuchungen anstellt, kann subjektiv zu abweichenden Ergebnissen gelangen,
5. weil es zur Vollständigkeit nötig wäre, das ganze in Kopenhagen befindliche Material MEJERS zur Kritik mit heranzuziehen.

5. Milliarä

Zum Verständnis mancher Unstimmigkeiten bei MEJER einschließlich der Änderungen seiner Maße und bei der Wichtigkeit der rheinländischen Maße für seine Arbeiten ist zu bedenken, daß die geographischen Erkenntnisse seiner Zeit in einer schwerwiegenden Entwicklung begriffen waren. Die mannigfachen Verbindungen zwischen Dänemark und Holland, zwischen JORDANUS, RANTZAU, Peter BÖCKL, PONTANUS und ANTONIADES, ORTELIUS,

²⁶⁾ Eine Nachrechnung der von GEERZ (16) S. 12 angegebenen Zahlen für Helgolands Ausdehnung in rheinländischen Ruten hat keinen Anhalt gegeben.

MERCATOR, HONDIUS mußten Eindruck auf den jungen MEJER machen. Schon früh werden seine Beziehungen zu Dänemark und Holland (vgl. S. 98 und 115 „Sylt und Alsen“) ihm die Kenntnis der Änderungen in den allgemeinen Anschauungen über die Erdgröße vermittelt haben. Die Meile war in Abhängigkeit vom Erdumfang gebracht. Allerdings galten Meridian und Äquator noch als gleich groß²⁷⁾. Man hatte aus den Forschungen, die der Fortschritt von Physik und Astronomie mit sich brachte, und aus den Gradmessungen²⁸⁾ gemerkt, daß der Erdradius zu klein angesetzt war. MEJER selbst schreibt darüber in (11) auf Seite 2; die Entwicklung war ihm also nicht fremd.

Willebrord SNELL setzte, so wird im allgemeinen angenommen, auf Grund seiner Gradmessung (1615—1617 bei Alkmaar) 1 deutsche Meile = 1900 rheinländische Ruten; das gäbe 1 Meile = etwa 7157 m und 1 Grad = 28 500 rheinländische Ruten = etwa 107,3 km. Neben dieser Meile wurde jedoch in Holland (28) seit vor 1615 und noch lange nach SNELLS Tode 1626 in der Praxis 1 deutsche Meile = 2000 rheinl. Ruten = etwa 7535 m benutzt. Diese hat MEJER vielleicht bei Karte 15 (1 Meile = 7520 m) im Auge gehabt. — Auf Grund von Breitenunterschieden, die KEPLER 1620—28 festgestellt hatte, wurde die deutsche Meile im Mittel zu etwa 7490 m berechnet. Nach KEUNING setzte W. J. BLAEU 1631 die „gemeine holländische Meile“ = 2000 rheinländische Ruten, und KEUNING fügte hinzu, daß damit die „deutsche Meile“ gemeint gewesen sei. — Die Gradmessung Richard NORWOODS 1635 bei London ergab 1 deutsche Meile = etwa 7461 m.

MEJER hat also sicherlich von verschiedenen Meilengrößen gehört, die mit der rheinländischen Rute zusammenhängen, und es liegt nahe zu vermuten, daß er 1645—48 den Entschluß faßte, eine kleinere Rute als früher anzuwenden.

Da MEJER außer dem Wort „Meile“ den Ausdruck „milliarium“ benutzt, den auch ADAM von BREMEN anwendet, erscheint es an dieser Stelle notwendig, die Beziehungen der beiden Maße klarzustellen. Der Mißverständnisse wegen, die sich im Schrifttum bei der Deutung finden, wird im folgenden milliarium nicht mit „Meile“ übersetzt. Auch soll für longitudo-latitudo die geographische Richtung, West-Ost oder Nord-Süd, benutzt werden.

Der Ausdruck milliarium bei ADAM von BREMEN hat verschiedene Auslegungen erfahren. Im Mittelalter scheint durchgehends keine volle Klarheit über Maße geherrscht zu haben. Vielfach wird wohl die römische Meile durch die Jahrhunderte angewandt sein, doch nicht überall. Der ursprüngliche Wert der antiken Maße „war im allgemeinen in Vergessenheit geraten“ [(54) S. 146], und „man verwandelte die Urmaße in die landläufigen“ (d. h. man übersetzte z. B. milliarium mit Meile). Daher herrscht auch im Schrifttum keine Einigkeit.

MEJER verwandte stets die „deutsche“ Meile zu 15 auf 1 Grad. Die Ausdrücke „Milliaria Germanica communia“ und „Teutsche Gemeine Meillen“ benutzte er als völlig gleichbedeutend. Also müßte man bei ihm 1 milliarium mit „1 deutsche Meile“ übersetzen, bei ADAM von BREMEN aber nicht.

Welches Maß dieser für das milliarium benutzte, ist umstritten; man findet 1000 Fuß oder Schritt oder Doppelschritt²⁹⁾. GEERZ und andere geben keine zufriedenstellenden Erklärungen. LAPPENBERG vermutete, daß ADAM von BREMEN nicht an die römische Meile dachte, sondern 1 milliarium = 1000 Fuß setzte. Rechnet man 1 Fuß angenähert zu 0,3 m, dann ergäbe das für die Länge Helgolands um 1070 bei ADAM von BREMEN etwa

$$8 \cdot 1000 \cdot 0,3 = 2400 \text{ m,}$$

eine Länge, die tatsächlich glaubhaft erscheinen könnte. Aber sie muß gänzlich ausgeschaltet werden. Denn sie würde voraussetzen, daß es eine Meile oder ein milliarium von etwa $1000 \cdot 0,3 = 300 \text{ m}$ gab. Ein solches Maß ist aber nicht bekannt. — BROHM [(9) S. 3] meint, ADAM von BREMEN habe 1 milliarium = 1000 einfache Schritte zu je etwa 0,75 m gesetzt.

²⁷⁾ Bis um 1670 (NEWTON) nahm man die Erde als genaue Kugel an.

²⁸⁾ Aus der umfangreichen Literatur sei vor allem auf TIMEIS (49), FOCKEMA ANDREAE (14) und KEUNING (28) hingewiesen, ferner auf die Forschungen und Schriften von CASSINI, DEBES, GEHLER, HARTNACK, KEPLER, MAUPERTUIS, SNELLIUS, H. WAGNER und vieler anderer.

²⁹⁾ Über verschiedene Auffassungen und Deutungen vgl. z. B. (32) S. 11, (46), (16) S. 168, 174.

Dann würde Helgoland etwa 6 km lang sein. — SCHWERIN wird vermutlich Recht haben [(46) S. 179, Anm. 2], wenn er sagt, daß ADAM VON BREMEN 1 milliarium = 1 römische Meile = 1000 passus (Doppelschritt, Klafter) gesetzt hätte. Mit 1 römischen passus = etwa 1,482 m³⁰⁾ wird 1 milliarium = etwa 1482 m. Aber dann würde die Insellänge um 1070 = 8 milliaria = etwa 11,9 km betragen. Ob ADAM VON BREMEN diese Größe hat angeben wollen, scheint recht zweifelhaft. — Bei den Germanen war [nach PESCHEL: vgl. HARTNACK (22) S. 207, 208] schon seit den ersten Jahrhunderten n. Chr. ein Wegemaß „Meile“ bekannt, aus dem römischen Wort „milia“ entstanden. Diese „Meile“ war sehr viel größer als das milliarium. Aber erst während der Renaissance wurde es in eine bestimmte Beziehung zum römischen Maß gebracht. Daher könnte es zwar möglich sein, daß ADAM VON BREMEN im Jahre 1070 das Wort „Meile“ schon kannte. Aber ob er, selbst wenn das der Fall gewesen wäre, diese Meile dem milliarium gleichgesetzt hat, ist unsicher (vgl. oben, über die Verwandlung der Urmaße in die landläufigen).

Daher bleibt die Frage ungeklärt, ob vielleicht ADAM VON BREMENS Quelle sich in den Zahlen 8 und 4 milliaria geirrt hat oder welches Maß er für 1 milliarium ansetzte. Vielleicht auch war er sich selbst über die wirkliche Länge der Maßeinheiten und die wirklichen Abmessungen Helgolands nicht klar. Eine „deutsche“ Meile zu 15 auf 1 Grad kann er jedenfalls nicht gemeint oder angewandt haben, denn diese gab es zu seiner Zeit noch nicht, sondern erst seit 1400—1450.

Bei der Beziehung der deutschen Meile zum milliarium bei MEJER und ADAM VON BREMEN stößt man auf einen Gegensatz. Die wohl zuverlässigste Ansicht besagt:

$$1 \text{ deutsche Meile} = 5 \text{ römische milliaria} = 5000 \text{ passus}^{31)}$$

Damit würde 1 deutsche Meile = etwa 7410 m. Aber MEJER beabsichtigte gar nicht diese 5000 passus, wie er ausdrücklich sagt [(11) S. 2], sondern er setzte, wie in seiner Zeit vermutlich seit APIAN 1524 üblich,

$$1 \text{ gewöhnliche deutsche Meile} = 4 \text{ römische milliaria} = 4000 \text{ passus}^{32)}$$

das wären etwa 5930 m. Dies ist im Hinblick auf seine Karten so wenig, daß man wohl nicht annehmen kann, er habe diesen Wert seinen Arbeiten zugrunde legen wollen.

Somit ergeben sich für die Länge Helgolands (= I) folgende Berechnungen:

1. nach MEJERS Text auf Karte 16 und 17 für das Jahr 800, wonach die Insel zwei Meilen lang gewesen sei,
 $I = 2 \text{ Meilen} = 2 \cdot 4000 \text{ passus} = \text{etwa } 11,9 \text{ km},$
2. nach der Beziehung zur Rute bei MEJER für das Jahr 800,
 $1639 I = 2 \cdot 1600 \cdot 4,775 = \text{etwa } 15,3 \text{ km},$
 $1649 I = 2 \cdot 1920 \cdot 3,767 = \text{etwa } 14,5 \text{ km},$
3. nach ADAM VON BREMEN für das Jahr 1070,
 $I = 8 \text{ römische milliaria} = 8 \cdot 1482 = \text{etwa } 11,9 \text{ km}.$
 Diese Übereinstimmung mit dem Wert bei Ziffer 1 könnte besagen, daß MEJER die Zahl 2 Meilen von ADAM VON BREMEN übernommen hat, aber für ein anderes Jahrhundert;
4. falls ADAM VON BREMEN 1 (deutsche) Meile = 5 milliaria gesetzt hätte, wären MEJERS 2 Meilen
 $I = 2 \cdot 5 \cdot 1482 = \text{etwa } 14,9 \text{ km}, \text{ für das Jahr } 1070.$

³⁰⁾ 1 passus = 5 römische Fuß; die Größe des „üblichen“ römischen Fußes, also auch die des passus, wird verschieden angegeben.

³¹⁾ Jan van den BROUK 1610, nach KEUNING (28) S. 439; H. WAGNER-MEINARDUS (54) S. 75; GEORGES Lat. Wörterbuch 1862; BROHM (9) S. 3, MEYER Gr. Konvers. Lexikon 1907 bei „Stadium“, S. 824; NIK. FALCK, Staatsb. Mgz. 1823, S. 511—513.

³²⁾ MEJER-DANCKWERTH (11) S. 2; JOH. PETREUS 1597 „Nordstrand“, herausgegeben von R. HANSEN 1901, S. 75; D. SCHWENTER 1625, nach HARTNACK (22) S. 142; SCHWERIN (46). — APIAN gab an: 1. gewöhnliche oder kleine deutsche Meile = 4000 passus und 1 große deutsche Meile = 5000 passus, vgl. (22) S. 209.

Bei der Verschiedenheit dieser Zahlen (und im Vergleich mit den Werten im Abschnitt IV) muß man sich sogar noch über den Widerspruch hinwegsetzen, daß MEJER das Jahr 800 im Auge hat, ADAM VON BREMEN aber sicherlich seine Zeit um 1070³³). Schreibt man auch diesen Widerspruch MEJERS Ungenauigkeit zu, dann könnte man allerdings annehmen, daß MEJER die Zahlen 2 und 1 Meile von ADAM VON BREMEN übernommen und auf das Jahr 800 angewandt hat, obwohl in dem Zitat aus ADAM VON BREMEN in (11) S. 153 gerade der fragliche Satz und die Zahlen 8 und 4 milliaria fehlen.

6. Zusammenstellung der Maße für Fuß, Rute, Meile und Grad

Zur Übersicht, sowie vielfacher Mißverständnisse und Irrtümer wegen, sollen die Maße Fuß und Rute zusammengestellt werden, die teils aus MEJERS Arbeiten abgeleitet wurden, teils für seine Zeit oder später gelten³⁴).

Tabelle I — Verschiedene Ruten und Fuß

1 Eiderstedter R zu 16 Eiderst. F	4,775 m
1 Eiderstedter F	0,298 „
1 rheinländischer F	0,314 „
1 rheinländische R zu 12 rheinl. F	3,767 „
1 R auf MEJERS Karte 15	3,76 „
1 R MEJERS aus 4 Breitenkreisen	3,85 „
1 R MEJERS aus 15 Karten in (11)	3,92 „
1 R MEJERS aus 2 Ortsentfernungen	3,94 „
1 R auf P. SAX' Karte „Strandia“	4,2 „
1 R auf MEJERS Karte 6	4,34 „
1 R auf MEJERS Petreus-Karte	4,43 „
1 R auf MEJERS Karte 19a	4,47 „
1 R MEJERS aus Gruppe „K 39“	4,73 „
1 Husumer R (F. Böttger, Alte schl.-holst. Maße, S. 31)	4,73 „
1 friesische R [(25) S. 100]	4,74 „
1 Pellwormer R [(25) S. 101]	4,814 „
1 Altnordstrander R [(25) S. 102]	4,83 „ ?
1 R auf MEJERS Karte 5	4,99 „
Für Dänemark ist nach NÖRLUND [(39) S. 60] anzunehmen:	
1 dän. F bis 1683	0,316 m
1 dän. R zu 16 F um 1604	5,07 „

³³) BROHM sagt [(9) S. 12], bei Peter SAX fände sich — also vermutlich in (45) — zum ersten Male die Mitteilung, daß im Jahr „1010“ Helgoland 2 Meilen lang und 1 Meile breit gewesen sei. Ob dies Jahr auf ADAM VON BREMEN zurückgehen soll (oder vielleicht ein Druckfehler für „1070“ ist), ist nirgends klar ausgedrückt. Aber wenn es der Fall wäre, würde es beweisen, wie man ADAM VON BREMENS Text und seinen Zahlen 8 und 4 milliaria schon entnehmen kann, daß er nicht das Jahr 800 gemeint hat, wie MEJER ansetzt, sondern 1010 (oder 1070). Vgl. (46) S. 174; (36) S. 117—139 mit der BOLZENDAHL'SCHEN Chronik; (12) S. 25. — Das Jahr 1010 in P. SAX Text steht z. B. bei CAMERER, Verm. histor. polit. Nachrichten, 1758, Bd. I, S. 239.

³⁴) Manche Werte sind nur als angenähert zu betrachten. Eine umfassende Geschichte der schleswig-holsteinischen Maße gibt es noch nicht.

Tabelle II — Meile, Rute, Grad

1 Meile	Name	Zeit	1 Rute		1 Meile		1 Grad	
			in F	in m	in R	in m	in R in Ml.	in km
dtsch. Ml.	MEJER	vor 1639	16	angenommen wird Eiderst. R 4,775	1600	etwa 7640	rd. 24 000 rd. 15	etwa 114,46
dtsch. Ml. Karte 15	MEJER	1645	16	etwa 3,76	2000	etwa 7520	rd. 29 900 etwa 14,95	etwa 112,4
dtsch. Ml.	MEJER	nach 1648	16	aus (11) etwa 3,92	1920	etwa 7520	rd. 28 300 etwa 14,78	etwa 111,0
dtsch. Ml.	MEJER	(nach 1648)	16	angenommen wird rhld. R 3,767	1920	etwa 7230	rd. 28 800 rd. 15	etwa 108,45
dtsch. Ml. in Hol- land	—	? um 1610—30	12	rhld. R. 3,767	2000	etwa 7535	—	—
rhld. Ml.	SNELL	1617	12	rhld. R 3,767	1900	etwa 7158	rd. 28 500 rd. 15	etwa 107,3
dtsch. Ml.	BESSEL	1841	—	—	7420,439	m	1 Grad = 111,307 km	
dtsch. Ml.	CLARKE u. a.	1915—32	—	—	7421,573	m	1 Grad = 111,324 km	

IV. MEJERS „historische“ Karten

Die MEJER vorgeworfenen Erfindungen, die so viel Staub aufgewirbelt haben, beziehen sich auf einige 1652 in DANCKWERTHS Landesbeschreibung (11) erschienene „historische“ Karten, in erster Linie auf Karte 13 „Helgoland in den Jahren 800, 1300 (und 1649)“ und sodann die auf ihr fußenden Karten

- Karte 7 Nordfriesland 1651
- „ 8 Nordfriesland 1240
- „ 9 Nordfriesland Norderteil 1240
- „ 10 Nordfriesland Süderteil 1240.

Außer ihnen sind im folgenden noch andere wichtige Karten mit heranzuziehen. Unter ihnen haben einige, die im bisherigen Schrifttum noch sehr selten oder gar nicht genannt waren, besondere Bedeutung erhalten und sind bei Untersuchungen nicht mehr zu entbehren.

Die phantastischen Inselformen MEJERS bezeichnet SCHWERIN mit „Type“ A, B, C und D (vgl. Abb. 1). Zur Klarstellung werden diese Ausdrücke beibehalten (s. Abschnitt V). Zur weiteren Unterscheidung, um Mißverständnisse zu vermeiden, wurden außerdem die Bezeichnungen C_r und D_r benutzt (Abb. 1, 6 und 7).

Karte 13 (Abbildung 1 und 7)

Diese Karte hat SCHWERIN zu einer besonderen Theorie von der Drehung der Inselachse und MEJERS Abhängigkeit von ADAM von BREMEN (Abschnitt V) Anlaß gegeben. — Auf dem 1649 datierten Blatt zeichnet er die Insel für die genannten Jahre mit vielen topographischen Einzelheiten. Den Kern bildet der Zustand für 1649, ähnlich dem Bild, das er in großem Maßstab auf Karte 12 (auf Abb. 1) gibt, also etwas plump, doch in annähernd richtiger Form. Die Hauptachse liegt Nordwest-Südost. — Diese Figur umgibt er nun mit einer auf das Jahr 1300 datierten rein erfundenen, in zackigen Formen gehaltenen Inselumgrenzung „Type C_r“. In den beiden Richtungen Nordwest-Südost und Nord-Süd zeigt sie ungefähr



Abb. 1a.



Abb. 1b.

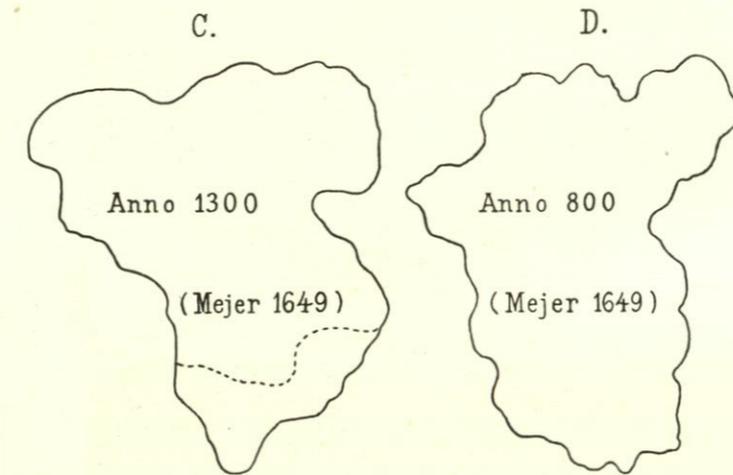
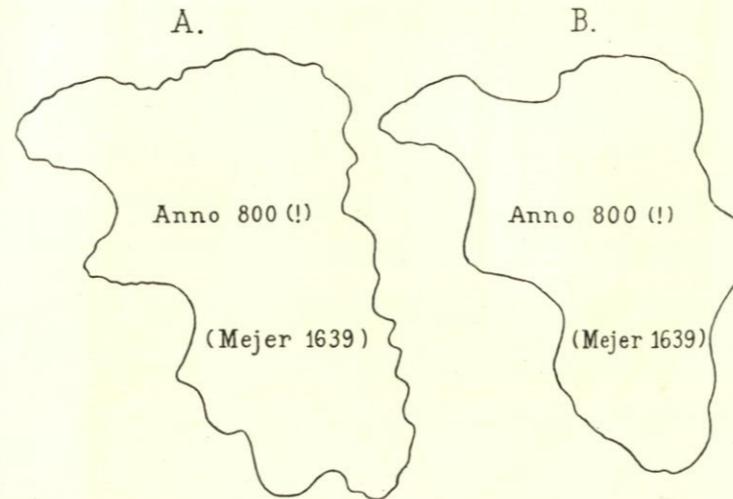


Abb. 1c.

Abb. 1.

Nachbildung der Tafel II bei SCHWERIN (46).

Abb. 1a. (Karte 12a) Joh. MEJER: Helgelandt Anno 1649. Aus (11) Tafel 19

Abb. 1b. (Karte 13a) Joh. MEJER: Helgelandt in Annis Christi 800, 1300 et 1649. Aus (11) Tafel 19. Gibt Umriß Type D_r für das Jahr 800 und C_r für 1300.

Abb. 1c. (Karte 16b) Joh. MEJER: Eine Vngefehrliche delineatio von HELGOLANDT ... vor etwan 800 Jahren. Handzeichnung, 1639. Gibt Umriß Type A.

Abb. 1d. (Karte 17a) Joh. MEJER: Eine Geographischer delineatio, Von HELGOLANDT ... vor etwan 800 Jahren. Handzeichnung 1639. Gibt Umriß Type B. Als Kern hat MEJER im Inneren die Karte 14 gezeichnet.

Abb. 1e. Die von Schwerin gezeichneten Typen A, B, C, D. Dabei hat er in C die Fläche P angehängt, vgl. Abb. 6—8, und die Type D_r hat er um 90° gedreht, um D zu erhalten. Die Fläche P hat er einmal zu C (Anno 1300) gerechnet und dann zu D (Anno 800).



Abb. 1c.

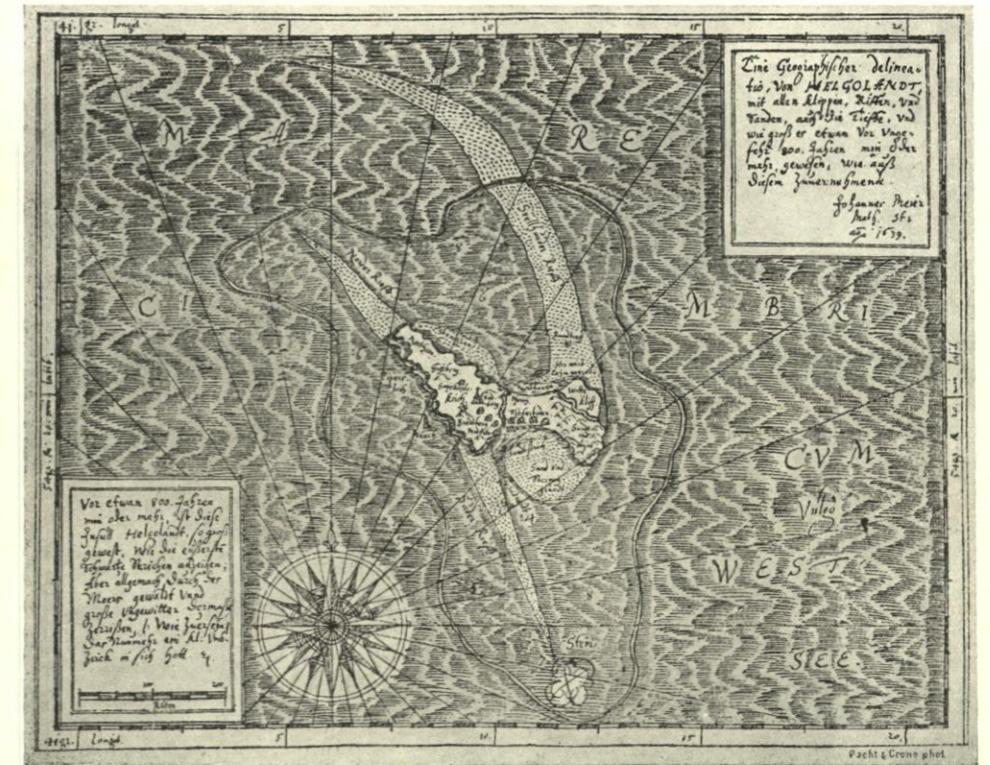
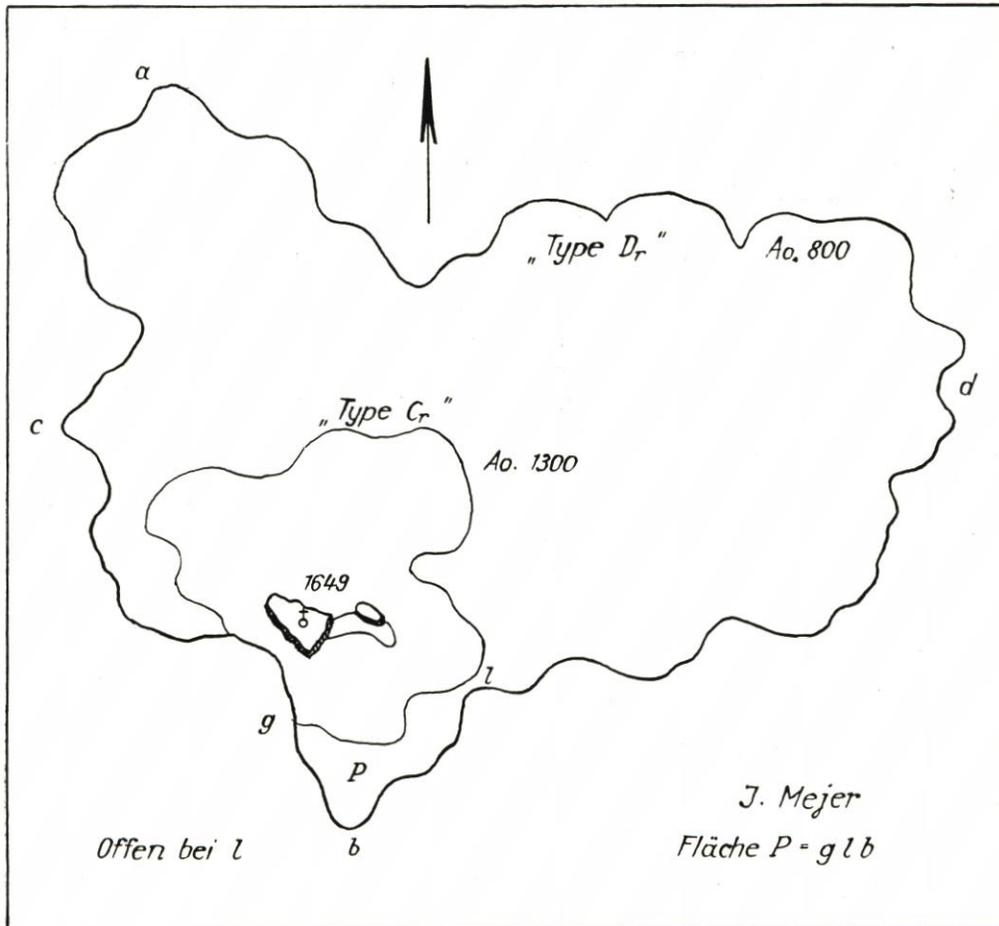
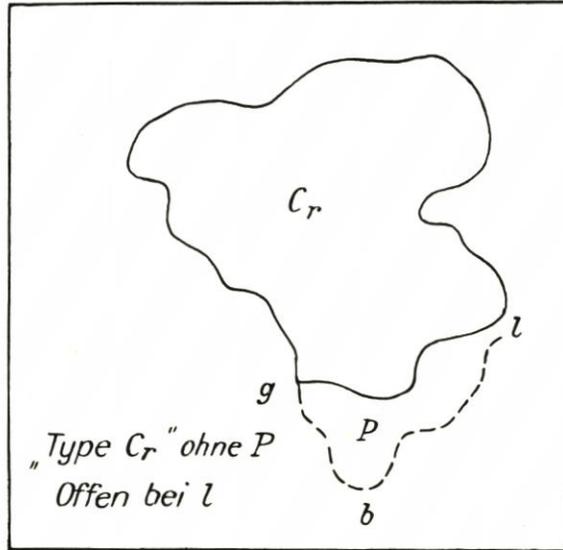


Abb. 1d.

die gleiche Ausdehnung, und zwar eine Länge, die fast fünfmal größer ist als die Längsachsen von 1649. Die Type C_r ist einer kompakten Form ähnlicher als einer gestreckten, während SCHWERIN im Süden eine Fläche P anhängt (Abb. 6, 7 und 8), wodurch er eine längliche „Type C“ erhält, aus der er dann schwerwiegende Schlüsse zieht (vgl. Abschnitt V).

Abb. 6 (rechts). Type C_r aus Karte 13. MEJER hat die Fläche P nicht angehängt.

Abb. 7 (unten). Type C_r und D_r aus Karte 13. MEJER hat bei l eine Lücke gelassen. Also gehört die Fläche P zu D_r , nicht zu C_r .



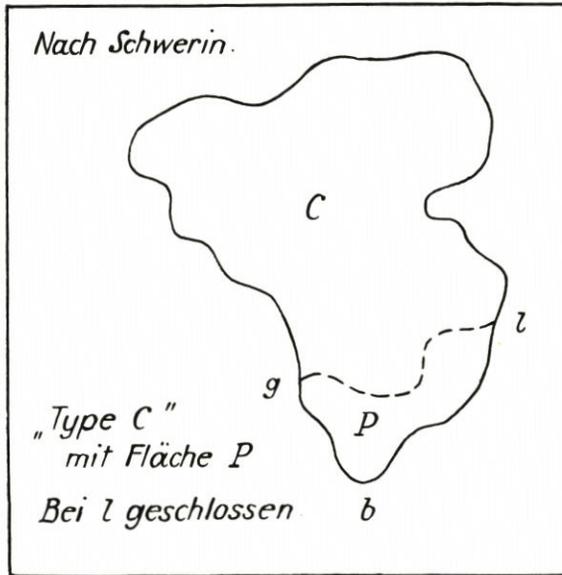


Abb. 8. Type C nach SCHWERIN, der die Lücke bei l geschlossen und dadurch die Fläche P an C_r angehängt hat

JERS aus dem Jahre 1639 zu besprechen, auf die sich SCHWERIN vor allem stützt, Karte 16a (= 16) und Karte 17.

Karte 16a (= 16) und Karte 17 von 1639 (Abbildung 1)

Gemeinsames. Diese von SCHWERIN als Beweisstücke angezogenen Handzeichnungen stellen Helgoland um das Jahr 800 dar. Auf beiden ist das frei erfundene Bild der Insel verhältnismäßig ähnlich gegeben, mit zackigwelligen Umrissen, die von Type D_r stark abweichen; aber SCHWERIN hält sie für D_r ähnlich. Im Schrifttum scheinen sie [außer bei LAURIDSEN (34) S. 386/87 und (33) S. 53, 56] so gut wie unbekannt geblieben zu sein.

SCHWERIN benutzt das Blatt in Kopenhagen Karte 16a, nicht das fast gleiche in Kiel Karte 16 (beides sind Originalzeichnungen von MEJERS Hand). Auf diesen Karten ist der Insel die von SCHWERIN „Type A“ genannte Kontur gegeben, mit der Hauptausdehnung Nordnordwest-Südsüdost.

In einem Schriftschild sagt MEJER, um 800 wäre die Insel 2 Meilen lang und 1 Meile breit gewesen. Dies ist der Satz, der die Verbindung zu ADAM VON BREMEN herstellt (vgl. den Wortlaut in II, Seite 100). Er lernte ihn sicherlich bei Peter SAX mündlich oder durch die Schrift (45) kennen [(46) S. 179 und BROHM (9) S. 12]. Die Beziehung geht davon aus, daß MEJER 1 deutsche Meile = 4 milliaria setzte (vgl. Abschnitt III, 5), was bei SCHWERINS Schlußfolgerungen von weitgehender Bedeutung ist.

Karte 16a. Auf diesem Blatt, jedoch nicht auf Karte 16, befindet sich ein Leitermaßstab. Bei 800 Ruten steht: „Ein halb Teutsch Meilen“. Also ist 1 deutsche Meile = 1600 Ruten. Die größte Längenausdehnung des Phantasiebildes zeichnet er etwa 3640 Ruten und meint damit zwei Meilen. Die größte Breitenerstreckung ist halb so groß, er meint also eine Meile. Rutenmaßstab und Gradeinteilung am Meridian stimmen gut zusammen, ebenso die Zeichnung mit der Zahlenangabe im Schild. Somit scheint die Beziehung zu ADAM VON BREMEN zuzutreffen. Näheres hierzu wird folgen.

Karte 17. Hier ist ebenfalls Helgoland um das Jahr 800 gezeichnet und zwar mit einem von Type A nur wenig abweichenden Phantasie-Umriß „Type B“. Die Hauptaus-

Noch weiter außerhalb zeichnet MEJER die nächste Umrisslinie für das Jahr 800, „Type D_r“, auch wieder phantastisch und auch gezackt, aber in einer scheinbar liegenden Form (Abb. 7), bei der die Längen Nordnordwest-Südsüdost (a-b) und West-Ost (c-d) zwar in sich wiederum annähernd gleich sind, aber derart, daß für das Auge die schwere Körperform West-Ost überwiegt. Man ist daher geneigt zu sagen — und das ist bei SCHWERINS Ausführungen von ganz besonderer Bedeutung —, „daß MEJER hier der Insel eine West-Ost Ausdehnung gegeben habe“. Diese Erstreckung ist etwa dreimal größer als für das Jahr 1300.

Die Karte 13 wurde seit langem im Schrifttum mit ADAM VON BREMEN in Verbindung gebracht, bis zu LAPPENBERG (32), GEERZ (16) S. 172, SCHWERIN (46) S. 179 und anderen. Doch blieben Hauptfragen noch offen, und diese Probleme sollen hier behandelt werden. Zunächst sind zwei Handzeichnungen ME-

dehnung ist auch hier Nordnordwest-Südsüdost gerichtet. Im Inneren ist ein kleines Bild der Insel gezeichnet, gar nicht phantastisch, sondern naturgetreu, so wie MEJER es sicherlich als für das Jahr 1639 gültig angesehen haben wird, d. h. die gestreckte Gestalt mit der Achse Nordwest-Südost (weit richtiger als 1649 auf Karte 12). Die Darstellung schließt sich sehr genau sowohl BERENDS Karte 1 als auch seiner Karte 14 aus demselben Jahre 1639 an und wird deshalb hier Karte 14b genannt.

In dem Schriftbild der Karte 17 fehlen die Angaben von 1 und 2 Meilen für die Ausdehnung Helgolands. Nach dem Leitermaßstab ist für 1639 die Länge der Insel wie auf Karte 14 gleich groß und zwar etwa 200 Ruten. Aber dann würde auf Karte 17 für das Jahr 800 die Länge der Phantasie-Insel etwa 810 Ruten messen, also $\frac{1}{2}$ statt 2 Meilen betragen. Das ist ein recht großer Unterschied und Widerspruch. Auch mit der Gradeinteilung ist der Rutenmaßstab nicht in Einklang. Diese Unstimmigkeiten machen Maßberechnungen unmöglich.

Karte 11. Diese Karte ist für die Beurteilung mancher Fragen besonders wichtig. SCHWERIN scheint sie nicht gekannt zu haben. Die eigenartige Zeichnung ist mit der ganzen Gruppe „K 39“ in Kiel durch den Krieg vernichtet [(23) S. 85—90]. — Abbildung 2 wurde nach einer erhalten gebliebenen Fotokopie hergestellt.

In die Augen springt die Lage der Inselachse Südwest-Nordost statt Nordwest-Südost. Das ist auffallend und hängt wohl mit der Zeit der Anfertigung zusammen (vgl. Abschnitt III, 2). Datiert ist das Blatt nicht, doch möchte man es für eine der frühen Arbeiten halten. (Weiteres in Abschnitt VI, S. 119).

Karte 18 und 22. MEJERS Handzeichnung Karte 18 ist nicht im Original erhalten, sondern nur in der ungefügen, stark verzerrten Kopie des Peter SAX, Karte 18a (Abb. 9), überliefert. Da SAX als „Autor“ J. M. angibt, ist seine Vorlage, also Karte 18, wahrscheinlich die Karte 11 gewesen. — Die Hauptachse liegt Südwest-Nordost. Der Leitermaßstab ist unfertig und daher nicht zu benutzen.

Auf demselben Pergament zeichnet SAX noch ein anderes Bild Helgolands, nach „NN“, Karte 22 (Abb. 10). Dieser NN kann nicht Jan BERENDS gewesen sein [dessen Karte 1 SAX auf einem anderen Blatt in (44) abbildet]. Die Hauptachse liegt hier zwar richtig auf Nordwest-Südost, doch ist die Querachse nach Nordwest verschoben. Auch bei dieser Karte hat man es wohl mit einer Arbeit vor etwa 1637 zu tun. — SAX zeichnet einen Leitermaßstab von 100 Ruten, mit dem sich eine Längsausdehnung des Felsens von etwa 364 Ruten ergeben würde.

Karte 19a. Peter SAX hinterließ in (44) ein bis 1937 unbekanntes Blatt, Karte 19a, kopiert nach einem Original MEJERS: eine Übersichtskarte des nordfriesischen Wattengebietes bis einschließlich Helgoland; sie stellt das Gebiet nach der Sturmflut 1634 dar. Pellworm liegt als Ganzes im Watt. Von Nordstrand sieht man nur einen Deichrest im Osten. Helgoland (recht klein) ist in der Form annähernd wie auf Karte 14 gezeichnet. Die Hauptachse liegt Westnordwest-Ostsüdost. Die Karte ist wohl auch deshalb zu den frühen Zeichnungen MEJERS zu rechnen, weil z. B. Sylt in zwei Teilen dargestellt ist (eine Form, die zur Entwicklungsgeschichte der Insel gehört, worauf hier nicht näher eingegangen werden kann). Der Leitermaßstab zeigt drei gemeine deutsche Meilen. Der Bildverzerrungen wegen lassen sich darauf kaum Berechnungen gründen. — Wichtig ist das Blatt unter anderem durch eine Inschrift im Watt (siehe Abschnitt V).

Karte 14. Als MEJER 1639 von SAX' Schrift „Helgoland“ (45) eine Abschrift für den Herzog anfertigte, fügte er [(35) S. 27, (46) S. 173, Anm. 2] außer den bereits genannten Karten 16a und 17 noch die Karte 14 bei (Abb. 4). Es ist die erste Karte MEJERS von Helgoland, die nicht nur datiert ist, sondern auch in größerem Maßstab ein kartographisch richtiges Bild der Insel gibt. Vielleicht hat BERENDS Karte 1 als Grundlage gedient. Auch BERENDS Feuerbake — seit 1637 außer Betrieb — ist auf dem Bredtberg eingezeichnet. Vielleicht aber hatte MEJER inzwischen die Insel selbst vermessen.

So richtig und zuverlässig das Bild getroffen ist, so sehr enttäuschen die Unstimmigkeiten zwischen den Maßen. Rute, Grad und die Abmessungen der Insel sind nicht in Einklang; sie ergeben allzugroße Fehler. Wahrscheinlich beruht die Beschriftung der Maße auf reiner Flüchtigkeit. Die Zahlen am Meridian würden z. B. 1 Grad = etwa 25 900 Ruten ergeben anstatt 24 000.

Karte 1 des J. BERENDS (Abb. 5 nach SAX' Kopie). Vielleicht die älteste Karte noch vor MEJER, die Helgolands wirkliche Gestalt in großem Maßstab richtig wiedergibt, hat Peter SAX überliefert. Sie ist für die Geschichte der Kartographie besonders wichtig und wird oft zu Schlußfolgerungen herangezogen³⁵⁾. SAX zeichnet weder Leitermaß noch Grad-einteilung, Berechnungen sind daher nicht möglich.

Karte 12 (Abb. 1). Als letzte der hierhergehörigen Darstellungen muß MEJERS Karte 12 genannt werden, die, 1649 datiert, den Zustand der Insel zu seiner Zeit bieten sollte. Die Nordwest-Südost gestreckte Gestalt ist auffallender Weise etwas plumper gezeichnet als auf den richtigeren Karten 1 und 14. Das Leuchtfeuer ist nicht mehr vorhanden.

Maßstab und Grade stehen im richtigen Verhältnis. 1 Grad ergibt 14,85 deutsche Meilen und 28 500 Ruten. MEJER und seine Zeichner haben hier also recht genau gearbeitet.

V. Die Drehung der Inselachse durch MEJER (nach SCHWERIN)

SCHWERIN sagt in seiner eingehenden Untersuchung [(46) S. 179], MEJER habe das Geschichtswerk ADAM VON BREMENS mit den Angaben über Helgoland nach 1639 kennengelernt. Dabei habe er die Ausdrücke *longitudo*, Länge, und *latitudo*, Breite, von ADAM VON BREMEN übernommen und sie nicht als einfache Längenangaben, sondern nach ADAM als „geographische Begriffe“ aufgefaßt, die sich auf die Himmelsrichtungen bezogen, d. h.: *longitudo* = geographische Länge = Ausdehnung der Insel West-Ost, *latitudo* = geographische Breite = Ausdehnung Nord-Süd.

Von dieser Auffassung ausgehend habe MEJER dann für den Zustand im Jahre 800 eine Drehung der Inselachse vorgenommen; er habe sie also

von Nord-Süd auf Karte 16 und 17 mit den „Typen A und B“ im Jahr 1639,

nach West-Ost auf Karte 13 mit „Type D_r“ im Jahre 1649 gedreht. Um die Annahme dieser Drehung durch den Vergleich der Inselnformen zu erhärten, zeichnet SCHWERIN die Typen A, B, C, D (Abb. 1) in einfachen Umrißlinien nebeneinander. Zum besseren Verständnis seiner Theorie dreht er D_r aus der West-Ost-Richtung in Karte 13 in die Nord-Süd-Lage nach D; ferner hängt er dem plumpquadratischen Umriß C_r am südlichen Rande eine Fläche P = lbg an (Abb. 6, 7, 8), wobei er die auf Karte 13 befindliche Lücke bei I ohne Begründung schließt und Type C erhält. SCHWERIN behauptet nunmehr [(46) S. 178] die Ähnlichkeit der vier Typen und zieht daraus den Schluß, daß MEJER die Drehung erstens absichtlich vorgenommen hat und daß er zweitens dazu durch ADAM VON BREMEN veranlaßt war.

Ganz offenbar hatte aber MEJER die Fläche P nicht zu dem Umriß C_r des Jahres 1300 gerechnet, sondern zu D_r³⁶⁾. Läßt man P aus C fort, dann ist diese Type mit A und B überhaupt nicht zu vergleichen. Aber selbst mit diesem Anhängsel P ist der künstlich konstruierten „Type C“ eine Ähnlichkeit mit A und B nicht zuzusprechen. Sogar D erscheint nicht ähnlich, C und D nicht „ähnlich genug“, um daraus so schwerwiegende Schlüsse ziehen zu können, wie SCHWERIN es tut.

Aus MEJERS Karten

vor 1640 scheint mir hervorzugehen, daß er damals an die Erfindung einer „West-Ost gerichteten Insel Helgoland um 800“ noch nicht gedacht hat, also auch

³⁵⁾ Über die Zeit der Entstehung vgl. Abschnitt VI, S. 119.

³⁶⁾ SCHWERIN dürfte mit der Fläche P wohl nicht viele Anhänger finden. Vgl. z. B. die Nachbildung der Karte 13 in (12) und in (30) S. 25.

nicht an eine „Drehung“, obwohl er wahrscheinlich ADAM VON BREMENS Angaben längst gekannt haben muß, und daß daher nach 1640 für die Zeichnung einer West-Ost Erstreckung ganz bestimmte andere Beweggründe, nämlich politische, vorgelegen haben, und zwar völlig unabhängig von ADAM VON BREMEN.

Wie schon SCHWERIN erwähnte und mit ihm eine Reihe anderer Verfasser, sind wahrscheinlich für die West-Ost-Ausdehnung nur Gesichtspunkte maßgebend gewesen, die von der Regierung ausgingen, und zwar von dem Auftrag 1642 [(35) S. 33, 34] zur Vermessung der schleswig-holsteinischen Gebiete einschließlich der Westküste und der Inseln. Seit etwa 1330 war das Eigentum an Helgoland strittig und wechselte mehrfach zwischen dem Königreich Dänemark und dem Herzogtum Schleswig-Gottorf. Seit 1544 unterstand die Insel wieder dem Herzog allein. Es ist durchaus nicht unwahrscheinlich, daß dieser bei seinem Auftrag zur Vermessung an MEJER den Gedanken aussprach, alte hoheitsrechtliche Machtansprüche an untergegangenes Land in der Nordsee durch Rekonstruktion des gedachten alten Zustandes auf Karten zu begründen und festzulegen. War es doch die erste derartige Vermessung dieses Landes und daher eine günstige Gelegenheit, etwas zu „beweisen“. Jedenfalls zeichnete MEJER nach 1642 seine fünf geschichtlichen Karten, die 1649 bis 1652 datiert sind. Diesen Karten dürfte der gleiche Grundgedanke zugrunde liegen: es soll die einstige Ausdehnung des Festlandes bis nach Helgoland hin bewiesen werden.

Die Blätter zeigen das alte Helgoland als einen ungefügten West-Ost gerichteten Klumpen. Auf Karte 13 wird für ihn das Jahr 800 angegeben; auf den anderen Karten wird die fast gleich große und fast gleich geformte Insel „bis 1240“ gesetzt. Auch aus diesem Widerspruch zwischen den Jahrhundertzahlen und dem Kartenbild scheint hervorzugehen, daß keine sachlichen Gründe für die West-Ost-Richtung vorlagen [vgl. (35) S. 116].

Mit der Ausdehnung der Phantasie-Insel nach Osten erreichte man nämlich, daß sie sich dem ebenfalls erfundenen „Süderstrand“ stark näherte, jener Halbinsel, die sich vom alten Nordfriesland weit nach Südwesten erstreckte^{36a)}. Zwischen beiden Ufern läßt MEJER einen ziemlich schmalen Meeresarm offen, gering genug, um auf ihn und die beiden eingezeichneten Fährverbindungen die Behauptung des Landabbruchs und damit einen politischen Anspruch zu gründen.

Eine Bestätigung dieser Überlegung gibt die Karte 19a. Auf ihr steht zwischen Helgoland und Eiderstedt eine — leider verstümmelte — Inschrift: „*Universa haec regio Frisica Septentrionalis olim fuit terra . . . in tot partes dirupta: dies ganze Gebiet Nordfriesland war einst festes Land (. . . und wurde durch Sturmfluten . . .) in so viel Teile zerrissen.*“ — Eine weitere Bestätigung, daß es sich bei MEJER nicht um eine Drehung, also auch nicht um eine Abhängigkeit von ADAM VON BREMEN in bezug auf die Himmelsrichtungen handelt, ergibt der Ostrand Helgolands, den er für das Jahr 1240 um etwa 5' 30" weiter östlich zeichnet als für das Jahr 800, d. h. in den 440 Jahren wäre die Insel nicht abgebrochen, sondern nach Osten hin gewachsen. — Dasselbe ergibt sich aus MEJERS Angabe, daß seine Rekonstruktionen des untergegangenen Landes im Wattengebiet auf zwei Verzeichnisse von ehemaligen Ortschaften zurückgehen, *Catalogus Vetustus* und *Designatio*³⁷⁾. Auch diese werden für Erfindungen MEJERS gehalten, die dem Zweck dienten, seine historischen Karten zu beweisen.

Die Ähnlichkeit der Typen SCHWERINS und die Drehung der Achse Helgolands durch MEJER kann man nicht anerkennen, und damit entfällt auch die Annahme, MEJER habe die Ausdrücke *longitudo* und *latitudo* bei ADAM VON BREMEN als Koordinatenrichtungen übernommen. Er hat sie als einfache Längen aufgefaßt.

^{36a)} HEIMREICH schreibt in *Nordfr. Chron.* I, S. 90, 91: „Süderstrand, so weiland bis an Heiligland hinaus hat gereicht, wie es JOHANNES MEYER in seinen Landkarten hat vorgestellt“; vgl. FALCK, *N. Staatsb. Mgz.*, 1833, S. 513—515. — Hierzu Karte 8 und 10.

³⁷⁾ Näheres über diese kann hier nicht besprochen werden.

VI. Das Bild der Insel in der Kartographie

1. Karten bis um 1630

Die Land- und Seekarten des ausgehenden Mittelalters³⁸⁾ zeichnen Helgoland entweder in einer wenig oder stark gezackten Form zwischen Quadrat und Oval, oder als Hufeisen, das aber nicht nach Nordwesten offen ist, wie es noch bis um 1700 hätte gezeichnet werden müssen, sondern nach Osten. Beispiele für diese Arten der Darstellung sind von Olaus MAGNUS 1539 über Cornelius ANTONIADES, Marcus JORDANUS, MERCATOR, ORTELIUS, HONDIUS u. a. bis etwa RANTZAU 1585 zu verfolgen. Seit 1583 taucht dann bei L. J. WAGHENAER eine West-Ost liegende Birnenform auf, die noch bis um 1700 auf Karten zu finden ist. Möglich ist es, daß WAGHENAER bereits von dem kleineren Felsen Wittekliff gehört hatte, das den östlichen Teil seiner „Birne“ wohl darstellen konnte.

Die genannte ältere Kartographie — es handelt sich nur um Übersichtsblätter, nicht um Spezialkarten — kennt die wahre Gestalt der Insel noch nicht. Eine Handzeichnung, die die Form annähernd richtig wiedergibt, Karte 20, entstand bereits um 1570 [im Landesarchiv Schleswig; STEPHAN (48), LANG (31)], aber sie blieb vermutlich in weiteren Kreisen unbekannt. Offenbar hat es vor etwa 1630 noch keine Vermessung der Insel im mathematischen Sinn gegeben. Unter den Karten vor MEJERS Zeit befinden sich einige, die ihm vielleicht die Idee zu seinen Phantasie-Formen auf den Karten 16 und 17 vermittelt haben könnten.

Die gesamte Kartographie in damaliger Zeit stand so völlig unter dem Einfluß der seit 1565—70 erschienenen Atlanten, daß die meisten Kartenzeichner unselbständig blieben und grobe Irrtümer sich durch Jahrzehnte erhielten. So finden sich z. B. wie Helgoland auch Sylt und Alsen stark verzerrt; deren Formen übernahm dann MEJER (auch z. T. SAX) in jüngeren Jahren und gab den Inseln erst später nach eigener Vermessung die richtige Gestalt, die dann wieder von ihm aus in die holländischen Atlanten zurückwanderte. — Bis um 1630 hat die Kartographie keine wesentliche Neuerung für Helgoland gebracht.

2. Die Abmessungen Helgolands nach MEJER

Zur Beurteilung der widerspruchsvollen Angaben MEJERS und zum Vergleich mit denen ADAM VON BREMENS wurden die Maßbeziehungen auf MEJERS Karten sowie die größte Länge Helgolands, jeweils in der gezeichneten Himmelsrichtung, für die Jahre 800, 1240, 1300 und 1649 berechnet. Die Unterlagen im einzelnen können hier nicht wiedergegeben werden. Einige Beispiele seien genannt.

Für das Jahr 800 wird auf den geschichtlichen Karten die Länge mit 3,8, dann 12,9 und 17,4 km gezeichnet; für das Jahr 1240 mit 18,8 km. Hiernach wäre sie in den 440 Jahren beträchtlich größer geworden, statt durch Abbruch kleiner. Der Zeit nach dazwischen steht ADAM VON BREMEN um 1070 mit 11,9 km. Für das Jahr 1300 gibt MEJER der Insel eine Länge von 4,4 km.

Für seine eigene Zeit um 1630—34 hat er auf Karte 11 die Länge — vermutlich nach Hörensagen — etwa 2,3 km gezeichnet, also zu groß. 1639 gibt er auf Karte 14 nur 0,96 km, aber 1649 auf Karte 12 etwa 1,1 km. Beide Zahlen sind offenbar zu gering und deuten wohl auf Fehler MEJERS, denn 1900 betrug die Länge etwa 1,6 km.

In welchem Maße seine Größenangaben schwanken, sei z. B. noch durch folgendes erläutert. Auf Karte 8 zeichnet er Helgoland für das Jahr 1240 mit 4990 Ruten in derselben Form wie auf Karte 13 für das Jahr 800 mit 3420 Ruten, also einer geringeren statt einer größeren Zahl; auf Karte 7 zwar ebenso lang wie auf Karte 8, aber in einer viel plumperen Form. Den stetigen Abbruch der Insel, den er im Text erwähnt, hat er durch seine Karten nicht sichtbar werden lassen.

³⁸⁾ Übersichtliche kurze Darstellung für Helgoland bei LANG (31). Ausführliche Liste zur Kartographie der Insel bei SCHWERIN (46) Anhang S. 1—37. — Aus der umfangreichen Literatur zur Gesamt-Geschichte der Kartographie: BAGROW (4) mit eingehender Darstellung und vielen Abbildungen; TOOLEY (51).

3. MEJERS eigene Vermessung

Die Wandlung in der Darstellung des Bildes Helgolands ist auf Jan BERENDS und Johannes MEJER zurückzuführen. BERENDS hat vielleicht schon zwischen 1626 und 1629 die Insel vermessen, bevor er seine Feuerbake dort errichtete (s. Seite 115). Wann MEJER zum ersten Male auf der Insel war, ist nicht sicher. Seine Hauptarbeiten zur Vermessung Schleswig-Holsteins [(35) S. 24—37] gibt er mit 1638—1648 an. Bei seinen vielen Reisen wäre es allerdings möglich, daß er schon vor 1638 auf der Insel gewesen ist. TITTEL sagt [(50) S. 73], MEJER habe 1639 Helgoland aufgenommen. (Vielleicht schließt TITTEL dies nur rückwärts aus MEJERS Handzeichnungen von 1639.) 1642 erhielt MEJER vom Herzog den Auftrag, Küste und Inseln zu vermessen. Doch erst im Februar und März 1644 hat er 25 Tage lang auf Helgoland gearbeitet [(35) S. 35; (9) S. 13; (50) S. 73, 74; (33) S. 51].

4. Karten seit etwa 1630

Mit BERENDS Karte 1 (Abb. 5, nur in der Nachzeichnung des P. SAX bekannt) zeigt sich vermutlich zum ersten Male das richtige Bild Helgolands in großem Maßstab (nicht mehr so klein wie auf den Karten vor 1630). Zur Beurteilung des Alters ist die Feuerbake heranzuziehen, die BERENDS 1629/30 auf dem Bredberg errichtete. Das Feuer war vom 21. 9. 1630 bis Ende 1637 in Betrieb [STEPHAN (48) S. 96—99]. STEPHAN erwähnt, daß die Karte 1 zweifellos bei den Vorarbeiten für die Bake entworfen sei, also 1629/30. Auch ginge dies bereits aus der Tatsache hervor, daß nur ein einziger Hügel dargestellt sei, und zwar eben der „Bredtberg“, auf dem das Feuer vorschlagsgemäß eingerichtet werden sollte.

Auf BERENDS scheint, wenn auch nicht unmittelbar, MEJERS undatierte Handzeichnung Karte 11 zurückzugehen (Abb. 2), obwohl das Bild der Insel falsch dargestellt ist. Diese verlagerte Gestalt ist vielleicht das Vorbild zu SAX' Karte 18a gewesen. Mit BERENDS, SAX und wohl auch mit mehreren holländischen Kapitänen und Ingenieuren stand MEJER, wahrscheinlich schon bevor er 1629 seine Tätigkeit in Husum begann, in enger Beziehung [(35) S. 26, 27, 115; (23) S. 85—90]. Sicherlich haben sie alle großen Einfluß auf ihn ausgeübt. Dafür hat aber auch sicher der etwa elf Jahre ältere SAX viele Karten und manche Fachkenntnisse von MEJER erhalten.

Die Karte 11 kann man aus mehreren Gründen zu MEJERS frühen Arbeiten, vielleicht zwischen 1630 und 1634, rechnen. Hauptsächlich sind zu nennen:

1. Die Feuerbake (Blüse) war vom September 1630 nur sieben Jahre in Betrieb, und es ist wahrscheinlicher, daß MEJER die Karte eher zu Beginn dieser Zeit gezeichnet hat als am Ende, denn in der Zwischenzeit wird er durch BERENDS die wahre Gestalt der Insel erfahren haben.

2. Die Verlagerung der Inselachsen (vgl. S. 121) beweist, daß MEJER — und mit ihm auch SAX (vgl. Karte 18a) — noch keine richtige Vorstellung von der Gestalt Helgolands hatten. Zu vermuten ist, daß er zunächst nur mündlich Beschreibungen und Erzählungen gehört hatte, die aber so zutreffend waren, daß er bis auf die Lage der Achsen alle topographischen Einzelheiten zu einem Bild verarbeiten konnte, noch ohne die Karte 1 zu kennen.

3. Eine Anzahl gemeinsamer Merkmale verbindet sie mit der Petreus-Karte (vgl. III, 2, S. 105), z. B. die Schreibweise Zee statt See, die MEJER später nur noch anwandte.

Eng verwandt mit Karte 11 ist seine Karte 18³⁹⁾ (Abb. 9a), vielleicht sind beide sogar identisch, denn beide legen die Inselachse Südwest-Nordost und zeigen auch sonst gemeinsame Merkmale. Allerdings zeichnet SAX kein Feuer auf dem „Bredberga“. Dies ist aber auf demselben Pergamentblatt auf Karte 22 (Abb. 9b) zu sehen.

Vermutlich stammt das Original des „NN“ zu Karte 22 (Abb. 9b) mit der richtigen

³⁹⁾ Bei einer Untiefe (Hog Stean) im Süden schreibt er: „der Felsen unter Wasser, den J. J. Pont. als Gefahr für die Schifffahrt erwähnt“. Vermutlich ist das Werk *Chorographia Regni Daniae* des JOH. ISACCIUS PONTANUS gemeint, das 1631 in Amsterdam erschienen war und MEJER als Geographen sicherlich bald durch seine Beziehungen zu Holland bekannt wurde. Die Nennung des Buches könnte bestätigen, daß Karte 18 in MEJERS frühere Jahre zu setzen ist.

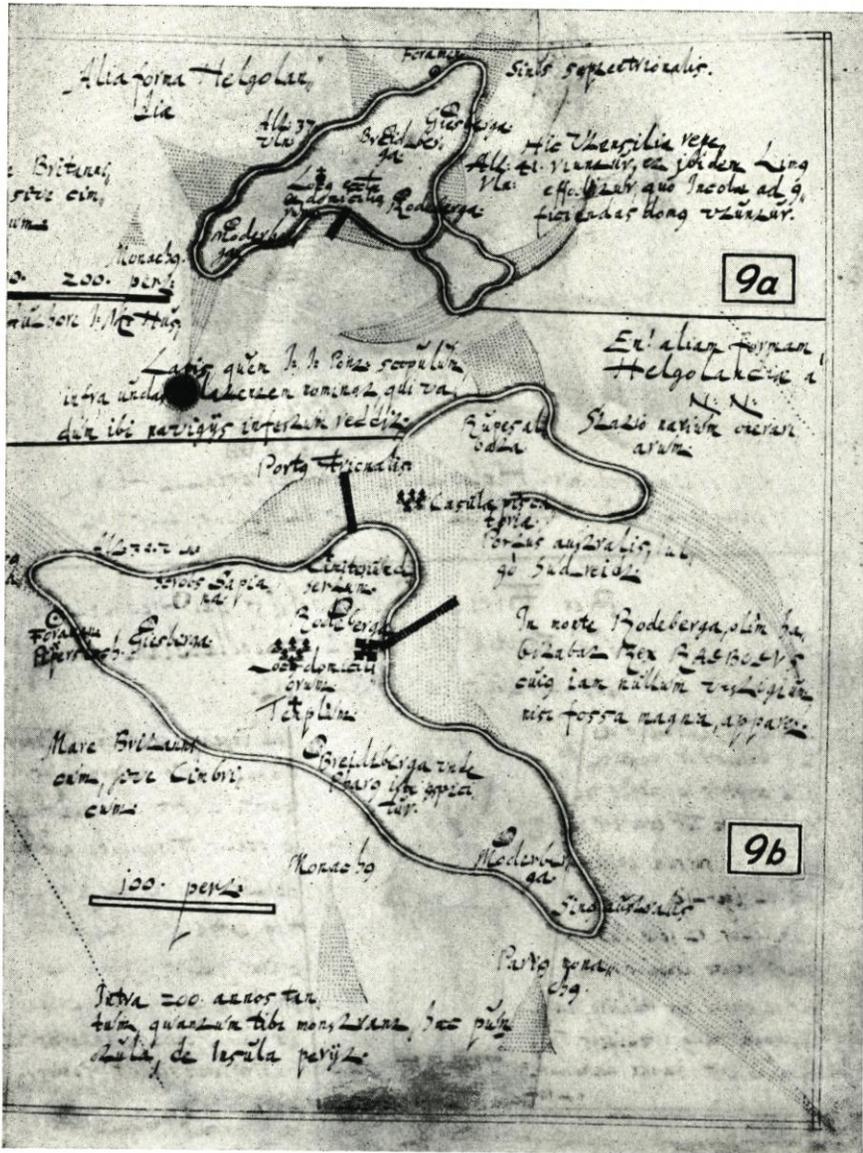


Abb. 9. Von P. SAX vor 1638 auf einem Pergament in (44) übereinander gezeichnet. Oben: Abb. 9a. (Karte 18a) *Alia forma Helgolandiae*. Nach J. MEJER, der das Bild vermutlich bald nach 1630 zeichnete. — Unten: Abb. 9b. (Karte 22) *En! aliam formam Helgolandiae a NN*. Vermutlich vor etwa 1637 entstanden. — Die negativ schwach durchscheinenden Linien und Schriftzeichen stammen von der Rückseite des Pergamentes, auf der SAX etwas anderes dargestellt hatte

Insellage, aber verschobenem Wal und Wittekliff aus der Zeit zwischen 1630 und 1636. Genaueres über sie ist noch nicht ermittelt. — Auf Karte 19a, vermutlich aus der Zeit bald nach der Zerstörung Altnordstrands 1634, ist das Bild, wengleich recht klein, doch ziemlich richtig gegeben. Auch die Längsachse ist Nordwest-Südost gelegt.

Mit dem Jahr 1639 wird auf MEJERS erster datierter Karte Helgolands (Karte 14) das Bild Helgolands groß und richtig gezeichnet, möglicherweise schon auf Grund eigener Ver-

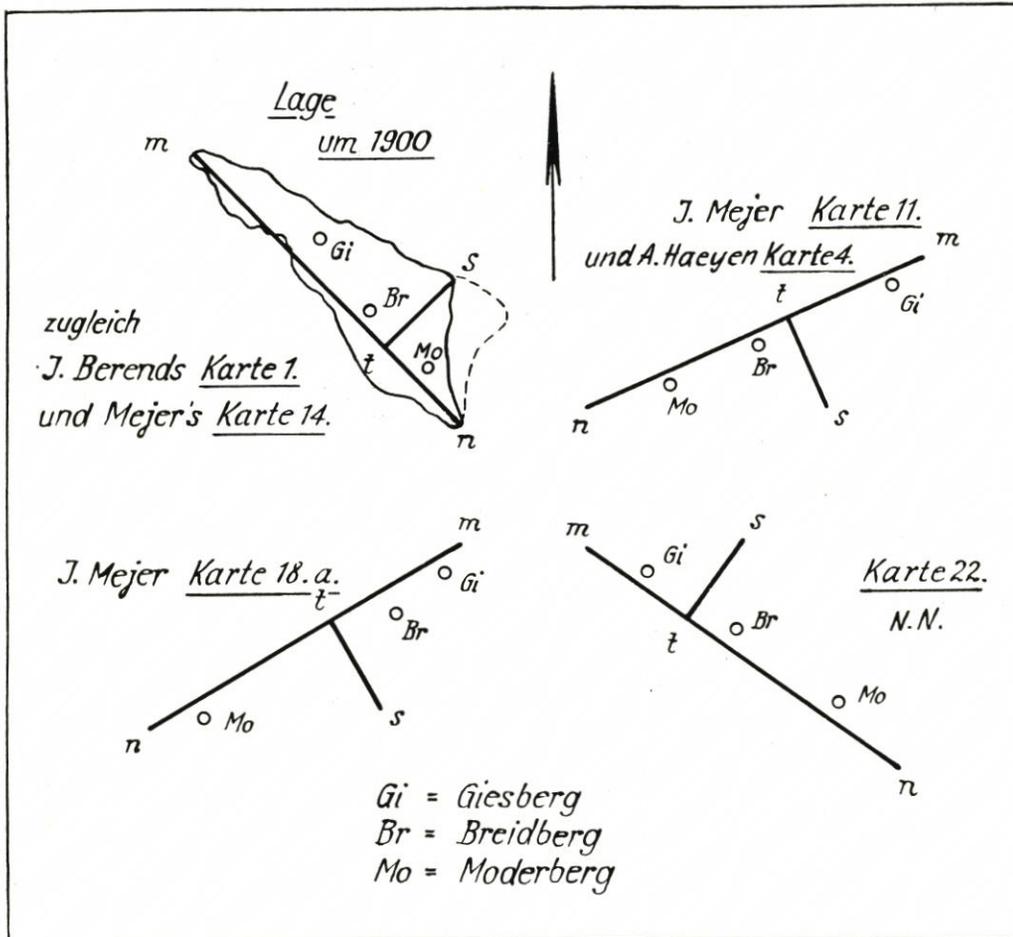


Abb. 10. Die Verlegung der Inselachsen nach einigen Karten vor 1639, schematisch dargestellt

messung. Wenn er zwei Jahre nach dem Eingehen des Feuers den „Bredtberg. Drauff der Fwrbäcke“ einzeichnet, ist dies vielleicht daraus zu erklären, daß man sich noch lange nach 1637 bemühte, das Feuer wieder in Gang zu setzen.

Nachdem 1639 das Bild der Insel endgültig gesichert war, wundert man sich, daß MEJER 1649 auf Karte 12 eine etwas plumpere Form darstellt; vielleicht nur ein Zeichen seiner Unbekümmertheit.

5. Die Verlegung der Achsen

Starke Verzerrungen sind auf einigen der besprochenen Handzeichnungen durch Drehung oder Verschiebung der Achsen entstanden. Umrisse wurden vertauscht und topographische Eintragungen verlegt. Auf Abbildung 10 ist die Lage der Achsen und der Hügel schematisch dargestellt. — Die Hauptlängsachse *mn* und die Querachse *st* sind auf der heutigen Karte um 1900 und der Karte 1 des BERENDS, wie auch auf MEJERS Karte 14 fast gleich. Auf den anderen war die Gestalt entweder als Spiegelbild angenommen oder verschoben oder gedreht. Die Hügel Gies-, Breid-, Moderberg und die Kirche (templum)⁴⁰⁾ wurden nicht durchweg an

⁴⁰⁾ Die Kirche wurde 1686 verlegt.

die genau gleiche Stelle gelegt, während der Rodeberg (Radbodberg) mit der Schanze und Treppe bei s und Pipersloch bei m ihre Lage nicht ändern.

Aus den Verzerrungen geht hervor, daß damals selbst Fachleute sich über die wahren topographischen Verhältnisse noch nicht klar waren. Dies gehört mit zu den Gründen, weshalb die undatierten Handzeichnungen in eine frühe Entstehungszeit gesetzt werden können. Die auffallende Lage der Hauptachse auf Karte 11 findet sich ähnlich schon 1585 auf der holländischen Karte des Albert HAEYEN (Karte 4) in Westsüdwest-Ostnordost.

VII. Abbruch und frühere Größe

Der Betrag des Abbruchs⁴¹⁾ oder der mittleren Breite eines Streifens längs des ganzen Umfanges der Insel ist im Schrifttum recht verschieden und zwar oft beträchtlich groß angesehen worden. Demgegenüber spricht BROHM nach eingehenden Untersuchungen [(9) S. 15—17] die Ansicht aus, daß der Verlust durchaus nicht so bedeutend gewesen sein kann. Er nennt viele der Schätzungen übertrieben. Unter manchen anderen Gründen führt er an, daß der Mönch an der Südspitze bereits um 1500 ein alleinstehender Fels war. Sodann schließt er aus geologischen Gründen, daß bereits zu ADAM von BREMENS Zeiten der Hauptfelsen nicht um vieles größer war als heute. Genannt seien hier einige Beispiele. Die mittlere Breite des Abbruchs wird angenommen:

von	m/Jahrhundert	
FÜLSCHER (15) vgl. (9) S. 16	Westküste	20
FÜLSCHER (15) vgl. (9) S. 16	Ostküste	12
LINDEMANN (36)		13 bis 14
BAHR (5) S. 18		10
PRATJE (43) S. 27		5 bis 7
WENZEL nach (9) Bl. 36		5 bis 6
WIEBEL (55)		3

GEERZ zeichnet auf Karte 3a in der Längsachse eine Verkürzung, die etwa 15 m/Jahrhundert entsprechen würde. An der Ostkante zeichnet er nur einen ganz geringfügigen Abbruch. Längs der Westkante nimmt er etwa 10 bis 15 m/Jahrhundert an⁴²⁾.

1. Die Zeit vor 1650

Für die Zeit vor etwa 1650 ist man zu einem großen Teil auf Vermutungen angewiesen. Nach den Chroniken war der Verlust nicht durch die Jahrhunderte gleichmäßig, sondern zu Zeiten viel stärker. Sicherlich war der Abbruch je nach der Härte des Gesteins und der Häufigkeit von Sturmfluten verschieden und vom Wellenangriff abhängig. Die fast parallel ausgewaschenen Rinnen zwischen den Riffen im Norden und Nordosten zeigen den wechselnden Widerstand der Schichten des Untergrundes. Der Abbruch der Hauptinsel wird an der Nordspitze wohl mit am größten gewesen sein (vgl. Abb. 11).

⁴¹⁾ Vgl. (16) S. 172—176; (36); (9) S. 11—32; (55) S. 205; (50) S. 109—121; (12) S. 20—21; (46) S. 216—272; (5) S. 18; (42); (43) S. 27.

⁴²⁾ Welche Vorstellungen man sich zu MEJERS Zeit von dem Abbruch machte, veranschaulicht Karte 22. Hier zeichnet NN., nach P. SAX, für den „Verlust seit 200 Jahren“ punktierte Linien. Aus diesen würde sich für 100 Jahre an der Westkante eine Abbruchbreite ergeben, die von etwa 200 m (im Norden) bis etwa 500 oder 550 m (im Süden) zunimmt, und nordöstlich des Wittekliffs würde sie etwa 240 m betragen. Man kann also von phantastischen Zahlen sprechen. Wollte man hiernach die Länge Helgolands im Jahre 800 mit einem Verlust von etwa 400 m/Jahrhundert berechnen und zwar bis zu MEJERS Karte 12 in 1649, dann würde man etwa $1100 + 8,5 \cdot 400 \text{ m} = 4,5 \text{ km}$ erhalten, aber nicht 12,9 km wie auf Karte 13.

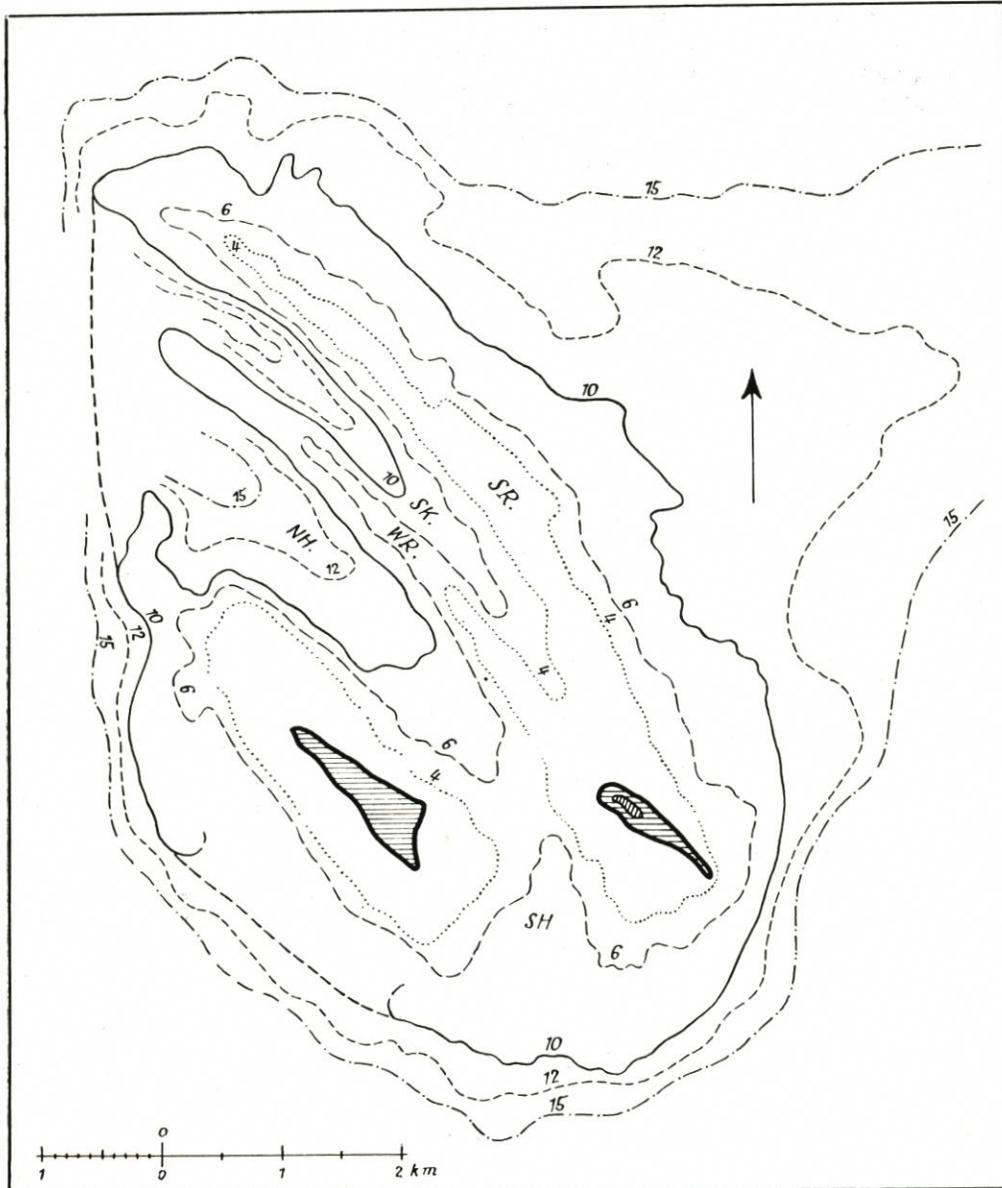


Abb. 11. Das Gesamtgebiet Helgolands. (Die 10-m-Tiefenlinie ist zum Teil bildmäßig ergänzt). Die Umgrenzung des ursprünglichen Hügels lange bevor der Wasserangriff begann, den Felsen herauszuarbeiten, ist vermutlich angenähert in der Gegend der heutigen 10-m-Tiefenlinie zu sehen. Dieser einstige Hügel umfaßte also das Rote Kliff — darin den heutigen Hauptfelsen — und das Witte Kliff, das sich bis über SR hinaus ausdehnte. Rings um den Hauptfelsen ist innerhalb der — 4-m-Linie die Brandungsterrasse bei — 0,5 m bis — 1,0 m anzunehmen. SR = Sellum-(Selle-, Seelhunder-)Riff, WR = Wittekliff Riff, SK = Skitgat, NH = Nordhafen, SH = Südhafen

Würde man den Verlust rückwärts von MEJER bis zu ADAM von BREMEN, also auf etwa 550 Jahre, mit einem Mittelwert berechnen wollen, dann erhält man bei einem Abbruch von 4 m/Jahrhundert einen Streifen von 22 m, bei einem Abbruch von 10 m/Jahrhundert einen

Streifen von 55 m. Wollte man hiernach, um vorsichtig zu rechnen, in 850 Jahren seit ADAM von BREMEN bis heute etwa 10 m/Jahrhundert ansetzen, dann hätte damals die Länge der Insel etwa 1,8 km betragen und die Breite etwa 0,9 km. Das sind Zahlen, die der Verfasser bereits für zu hoch hält. Jedenfalls dürfen ADAM von BREMENS Angaben einer Länge von fast 12 km und einer Breite von fast 6 km als völlig unbegründet angesehen werden.

Zur Verdeutlichung der Frage ist es von Wert, die Brandungs-(Abrasions-)Terrasse zu betrachten, die den Felsen bis zur Wassertiefe von — 0,5 oder — 1,0 m umgibt. Ein ausgezeichnetes Bild hiervon lassen die Photographien bei PRATJE [(42) Abb. 25, 26, 83, 100] und auch bei WOHLBERG (47) erkennen. Nach den Seekarten kann man die Länge dieser Platte zu etwa 2,0 bis 2,3 km und die Breite mit vielleicht 0,8 bis 0,9 km annehmen. Die Größe Helgolands bleibt also sogar noch zu ADAM von BREMENS Zeit innerhalb dieser Terrasse.

2. Der Abbruch seit Johannes MEJER

Betrachtet man das Bild der Insel auf Karten, dann gewinnt man den Eindruck, daß man BROHM und WIEBEL zustimmen muß. Von der Zeit um 1570 an, über alle Karten MEJERS und BERENDS' 1630—1652 hinweg, auch über alle späteren Karten (z. B. BÖTTICHER 1697, RANDAHL 1751) bis zur Jetztzeit kommt eine sehr große Anzahl in Betracht, und alle sagen dasselbe. Besonders aufschlußreich sind die Karten von WIEBEL, WENZEL und LINDEMANN. Die ganze Kartographie zeigt, daß sich das Bild des Hauptfelsens im großen und ganzen in rund 350 Jahren durch Abbruch kaum wesentlich verändert hat. Schon 1823 vertrat NIK. FALCK diese Ansicht [siehe auch (29) S. 24]. Man vergleiche ferner die Reihe der Abbildungen bei LANG (31). BROHM, SCHWERIN und TITTEL besprechen eingehend das Schicksal der einzelstehenden Felsen, die ein klares Urteil zu der Frage erlauben. Einige von ihnen haben sich durch über 200 Jahre (oder mehr) gehalten. Das mag ein bündiger Beweis dafür sein, daß der Abbruch nicht so groß war, wie er oft hingestellt wurde, mögen auch alte Einzelfelsen gestürzt und hinter ihnen neue entstanden sein^{42a}. — Dasselbe ergeben MEJERS Karten. Er zeichnet z. B. für 1649 die Länge der Hauptachse mit etwa 1,1 km, also kürzer als sie um 1900 tatsächlich ist, nicht länger! Das Bild des Oberlandes auf seinen Karten scheint bis heute kaum nennenswerten Abbruch zu beweisen.

Bei starkem Abbruch würde sich auch die Gesamtlänge des Umfanges verringert haben. Diesen zeichnet MEJER auf Karte 12 etwa 720 Ruten lang (etwa 2700 m), DANCKWERTH gibt [(11) S. 153] dafür „über 900 R“ (also über 3400 m) an. Eine Karte von 1907 im Maßstab 1 : 15 000 läßt den Umfang mit etwa 3520 m messen, also länger, nicht kürzer als bei MEJER, eine Bestätigung der Ansicht, daß der Abbruch jedenfalls gering war. — GEERZ [(16) S. 173] und andere vor ihm haben versucht, aus der abgebrochenen Fläche des Oberlandes Schlüsse zu ziehen. Aber hierfür bieten ältere Karten und oft nur ganz rohe Angaben in Quadratrueten und Quadratmeilen keinen ausreichend genauen Anhalt für Berechnungen. Selbst GEERZ' eigene Angaben in Quadratmeilen sind für Nachprüfungen zu unbestimmt.

Ergebnis. In 250 bis 300 Jahren mag an vereinzelter Stellen wohl eine größere Breite, vielleicht sogar 20 bis 40 m an besonderen Einbruchpunkten der Westkante verlorengegangen sein. Aber für die mittlere Breite eines Abbruchstreifens auf dem gesamten Umfang kann man nicht mehr als etwa 3 bis 5 oder 6 m/Jahrhundert setzen; 3 bis 4 m ist für das Wahrscheinlichste zu halten. Dabei ist der Rückgang an der Ostküste sicherlich geringer als an der Westseite gewesen. Die Länge der Hauptachse Nordwest-Südost kann seit MEJERS Zeiten keine 200 m, vielleicht noch nicht 150 m abgenommen haben, oder sogar nur 100. Im allgemeinen dürfte die Gesamtveränderung seit mindestens 1000 Jahren im Verhältnis zu den in Büchern oft angegebenen „außerordentlichen“ Verlusten als recht gering anzusprechen sein.

^{42a}) Dagegen wurde eingewandt, daß neue Einzelfelsen den Namen der eingestürzten erhalten haben können und daß dadurch der Eindruck erweckt sei, solche Felsen hätten durch Jahrhunderte standgehalten. Die Namensübertragung könnte wohl zutreffen. Trotzdem ist der Einwand kein Beweis für starke Verluste und ändert nichts an den genannten Abbruchzahlen oder den aus ihnen gezogenen Schlüssen.

VIII. Allgemeine Bewertung und Zusammenfassung

MEJERS Verdienste um die Vermessung und Kartierung von Schleswig-Holstein und Dänemark sind außerordentlich groß. Seine Leistung ist oft gebührend anerkannt und bewundert worden. Er hat mit manchen geographischen Irrtümern vollkommen aufgeräumt. Sein Werk ist für weit über hundert Jahre vorbildlich geworden und hat auf viele andere Arbeiten maßgebenden Einfluß ausgeübt. Auf vielen seiner Karten ist eine erstaunliche Zuverlässigkeit zu beobachten. Um so stärker müssen häufig Ungenauigkeit, Flüchtigkeit und sogar grobe Fehler oder Widersprüche auffallen (vgl. VI, 2). Dies ist bei der oft genannten Schnelligkeit seiner Arbeit nicht verwunderlich. Außer den genannten Unstimmigkeiten sind bei ihm — übrigens im Geiste jener Zeit nicht einmal so selten — absichtliche Irreführungen zu finden, die wir heute als unverzeihlich betrachten, weil sie der Wahrheit zuwiderlaufen. Er erfand Märchen und vergrößerte dadurch die Wirrungen.

Wenn man bei MEJERS veröffentlichten, also gedruckten Karten im allgemeinen nicht weiß, ob gewisse Fehler vielleicht durch seine Kupferstecher⁴⁸⁾ verursacht wurden, so fällt dieser Grund bei seinen Handzeichnungen fort, für die er ganz allein verantwortlich ist. Dafür ist bei diesen zu bedenken, daß er in jungen Jahren vielleicht aus Unkenntnis oder, weil er irrige mündliche Nachrichten erhalten hatte, aus Mangel an kritischem Urteil Fehler beging. — Neben Unbekümmertheit und Flüchtigkeit können dann auch andere Absichten eingewirkt haben (vgl. V). — Erhebliche Widersprüche zwischen den topographischen Eintragungen stören außerordentlich. Bei seiner mathematischen Vorbildung hätte es nicht geschehen dürfen, daß mehrfach Leitermaß, Grad und Bildmaßstab nicht in Einklang zu bringen sind. — Gelegentlich weicht der Maßstab West-Ost von dem in Nord-Süd ab, oder die nördliche Hälfte eines Blattes ist in einem anderen Bildmaßstab gezeichnet als die südlichen Teile.

Eigenartig ist, daß trotz mancher Fehler und Verzerrungen einige Blätter doch wichtige Aufschlüsse und Beobachtungen geliefert haben, und deshalb darf man MEJER selbst wegen seiner Irrungen nicht verurteilen, sondern muß ihm, unter dem Gesichtspunkt seiner Zeit betrachtet, Gerechtigkeit widerfahren lassen.

Die vermeintliche phantastische Ausdehnung Helgolands um 800 und 1300 nach Johannes MEJERS Karten von 1649—52 hat seit dreihundert Jahren starke Meinungsverschiedenheiten und Auseinandersetzungen hervorgerufen. Die Veranlassung für MEJER wird auf ADAM von BREMEN zurückgeführt, der um 1075 vielgenannte Angaben über die Größe Helgolands machte.

Zum Verständnis der Erörterungen war es nötig, die Maßeinheiten bei MEJER (in III, 1—4) und ADAM von BREMEN (in III, 5) zu untersuchen.

MEJER benutzte die „deutsche“ Meile zu 15 auf 1 Grad; er teilte sie bis etwa 1640 in 1600 Ruten, und zwar nahm er wahrscheinlich die Eiderstedter Rute = etwa 4,775 m. Dabei wird 1 Grad = 24 000 Ruten. Seit etwa 1645—48 ging er zu 1 Meile = 1920 Ruten über mit einer Rute, die vermutlich der rheinländischen Rute = 3,767 m sehr nahe kam. Hierbei wird 1 Grad = 28 800 Ruten.

ADAM von BREMEN benutzte wahrscheinlich 1 milliarium = 1 römische Meile = 1000 passus = etwa 1482 m. MEJER hat (wahrscheinlich) angenommen, daß 1 deutsche Meile seiner Zeit 4 milliarien ADAM von BREMENS gleichzusetzen wäre (statt 5), ist sich aber, wie die Untersuchung der Meilenlänge aus seinen Karten ergibt, nicht klar darüber gewesen, welches Längenmaß und welche Abmessungen Helgolands ADAM von BREMEN wirklich gemeint hat.

Zur Beurteilung der im Schrifttum aufgeworfenen Probleme (S. 97—99 und 116) wurden eine Anzahl Handzeichnungen MEJERS und seine Karten in (11) sowie Karten von Peter SAX, Jan BERENDS und anderen herangezogen (vgl. Abschnitt IV).

1896 gab H. H. von SCHWERIN eine neuartige Erklärung der Beweggründe MEJERS für die Phantasie-Formen Helgolands (vgl. V) und warf ihm beabsichtigte Mystifikation vor. Dabei beruhen aber im einzelnen SCHWERINS Ausführungen auf Behauptungen und Annahmen, denen zum großen Teil nicht zuzustimmen ist.

⁴⁸⁾ Auf Karte 12 hat sein Stecher 40 Grad (östl. Länge) statt 41 Grad geschrieben.

MEJER hat die Ausdrücke *longitudo* und *latitudo* bei ADAM VON BREMEN als reine Streckenlängen angesehen, nicht als Himmelsrichtungen.

MEJER hat von ADAM VON BREMEN wahrscheinlich nur die Beziehung „Länge der Insel = doppelte Breite“ übernommen, aber nicht die Größe selbst in einem bestimmten Längenmaß.

Ebensowenig wurde er 1649 durch ADAM VON BREMEN veranlaßt, die Längsachse Helgolands aus der Nord-süd- in die Westost-Richtung zu drehen. Die Zeichnung von 1649 hat andere Gründe. SCHWERINS Annahme dieser Drehung ist völlig hinfällig.

Um die Drehung verständlich zu machen, hängt SCHWERIN (Abb. 6 und 8) an die Form C_r willkürlich eine Fläche P an und bewirkte damit eine schwere Irreführung des Lesers.

Für MEJERS Darstellung Helgolands um 800 lag 1649 keine Beeinflussung durch ADAM VON BREMEN vor und auch keine geschichtlichen oder geographischen Gründe, sondern politische Gesichtspunkte, die für ihn erst seit 1642 maßgebend wurden. Daher hat er auch die Abmessungen und Form (Richtung und Größe) der Insel um 800 und um 1300 frei erfunden.

Weder hat MEJER für ältere Jahrhunderte noch ADAM VON BREMEN für seine Zeit eine richtige Vorstellung von der wahren Größe der Insel und dem wirklichen Abbruch besessen. — Zwei Handzeichnungen aus MEJERS früher Zeit, vielleicht bald nach 1630, mit einer Südwest-Nordost gerichteten Hauptachse, bezeugen, daß MEJER damals die Lage der Insel noch nicht wirklich kannte. Sie steht für ihn vielleicht erst seit 1638/39 sicher fest.

Im ganzen Schrifttum wird nicht genügend darauf hingewiesen, daß ADAM VON BREMEN offenbar die Abmessungen für seine Zeit um 1070 angab, während MEJER die Phantasiegröße für das Jahr 800 ansetzt, so daß eine Gleichsetzung der Längen für die beiden ganz verschiedenen Zeiten sowie die „Annahme“, MEJER habe die Abmessungen von ADAM VON BREMEN übernommen, überhaupt nicht möglich ist.

MEJER hat bei ADAM VON BREMEN nicht die Kenntnis des Gradnetzes der Erde vorausgesetzt (wie SCHWERIN annimmt). Sie wurde nach der Antike erst in der Zeit des Humanismus, etwa 300 Jahre nach ADAM VON BREMEN, wieder verbreitet (vgl. II). Es ist anzunehmen, daß dieser die Gradeinteilung noch nicht gekannt, also auch keine Himmelsrichtungen nach geographischer Länge und Breite angegeben hat.

Der Abbruch der Insel, der oft als außerordentlich groß hingestellt wird, kann nicht so erheblich gewesen sein, wie die Betrachtung der geringen Veränderungen des Kartenbildes seit MEJERS Zeit erkennen läßt.

IX. Schriftenverzeichnis

1. ADAMUS BREMENSIS: *Gesta Hamburgensis ecclesiae pontificum*. Zwischen 1074 und 1081. Mon. Germ. hist., Script., edit. G. H. Pertz., Hannover 1846.
2. ADAM VON BREMEN: *Hamburgische Kirchengeschichte*. Übersetzung von J. C. M. Laurent. Vorwort von J. M. Lappenberg. Berlin 1850.
3. ADAM VON BREMEN: *Gesta Hamburgensis ecclesiae pontificum*. Lateinische Textausgabe mit eingehender Bearbeitung von B. Schmeidler. Hannover und Leipzig 1917.
4. BAGROW, L.: *Geschichte der Kartographie*. Berlin 1952.
5. BAHR, M.: *Die Veränderungen der Helgoländer Düne und des umgebenden Seegebietes*. Jahrb. Hafentechn. Ges. S. 1—70, Berlin 1938.
6. BJÖRNBO, A. A.: *Adam af Bremens Nordensopfattelse*. Aarb. Nord. Oldkynd., II. R., Bd. 24, S. 120—244, Kopenhagen 1909. Sonderdruck 1910.
7. BJÖRNBO, A. A. und PETERSEN, C. S.: *Fyenboen Claudius Claussön Swart (Claudius Clavus), Nordens äldste Kartograf*. Kgl. Vid. Selsk. Skr., 6 R., S. 43—302, Kopenhagen 1904. Deutsche Übersetzung von E. Lesser mit wichtigen Berichtigungen. Innsbruck 1909.
8. BÖTTCHER: *Nachricht von der Insel Helgelandt im Jahre 1699*. Handschrift. Univ.-Bibl. Kiel, Cod. SH. 198 A, u. a.; Reichsarch. Kopenhagen und Staats-Arch. Hamburg. Text bei Camerer, *Vermischte historisch-politische Nachrichten* Bd. I, S. 257—286, Flensburg 1758. — Vgl. ferner (46) und Karte 2.

9. BROHM, A.: Helgoland in Geschichte und Sage. Seine nachweisbaren Landverluste und seine Erhaltung. Cuxhaven 1907.
10. CARSTENS, G.: Die Heilige Insel. Jahrb. Nordfr. Inst., Bd. 3, S. 53—147, 1951/52.
11. DANCKWERTH, C.: Neue Landesbeschreibung der zwey Hertzogthümer Schleswich und Holstein. Husum 1652.
12. DECKEN, F. van der: Philosophisch-historisch-geographische Untersuchungen über die Insel Helgoland oder Heiligeland und ihre Bewohner. Hannover 1826. Darin neue Stiche nach Karte 12, 13, sowie Karte 21.
13. DEGN, Ch.: 1652—1952, Caspar Danckwerths Landesbeschreibung. — Monatshefte Schleswig-Holstein, S. 364—366, Flensburg 1952.
14. FOCKEMA ANDREAE, S. J.: De Rijnlandsche Roede. Tijdschr. Kon. Ned. Aardr. Genootsch. II, Teil 49, S. 635—657, Leiden 1932.
15. FÜLSCHER, J.: Über Schutzbauten zur Erhaltung der ost- und nordfriesischen Inseln. Zeitschr. f. Bauwesen, Sp. 305, 527, 681, Berlin 1905.
16. GEERZ, F.: Geschichte der geographischen Vermessungen und der Landkarten Nordalbingiens. Berlin 1859.
17. GEISSE, A.: Schutzbauten an der Helgoländer Düne. Zeitschr. f. Bauwesen, Sp. 469, 621, Berlin 1904.
18. GÜNTHER, S.: Über ein spätmittelalterliches Verzeichnis geographischer Koordinatenwerte. Zeitschr. wiss. Geogr. VI, S. 160—164, Weimar 1888.
19. HAAG, H.: Die Geschichte des Nullmeridians. Diss. Göttingen 1912. Leipzig 1913.
20. HANSEN, R.: Küstenveränderungen im südwestlichen Schleswig. Pet. Geogr. Mitt., Bd. 39, S. 177—180, Gotha 1893.
21. HANSEN, R.: Beiträge zur Geschichte und Geographie Nordfrieslands im Mittelalter. Zeitschr. Ges. Schl.-Holst. Gesch., Bd. 24, S. 1—92, Kiel 1894.
22. HARTNACK, W.: Die „Milliaria Germanica communia“. Mitt. Reichsamt Landesaufn. Jrg. 15, H. 3, S. 133—146; H. 4, S. 207—222, Berlin 1939.
23. JACOBY, G.: Alte Handzeichnungen zur Geographie Nordfrieslands. Nordfr. Jahrb. H. 10, S. 85 bis 98, Husum 1923.
24. JACOBY, G.: Bemerkungen betreffend alte Karten. Berechnung des Maßstabes. Nordfr. Jahrb. H. 15, S. 148—150, Husum 1928.
25. JACOBY, G.: Zur Ermittlung der Länge der Altnordstrander Rute. Nordfr. Jahrb. Bd. 21, S. 100 bis 102, Husum 1934.
26. JACOBY, G.: Über die Meile bei L. J. Waghenauer 1583. Tijdschr. Kon. Ned. Aardr. Genootsch. II, Tl. 55, S. 877—881, Leiden 1938. — Berichtigung und Erweiterung, Handschrift 1949.
27. JACOBY, G.: Die deutsche Meile bei Walsperger 1448. Zeitschr. Vermessungswesen S. 156—157, Stuttgart 1951.
28. KEUNING, J.: De duitsche mijl en andere in den Nederlanden in de 16de eeuw in gebruik zijnde mijlen. Tijdschr. Kon. Ned. Aardr. Genootsch. II, Teil 55, S. 432—446, Leiden 1938.
29. KROGMANN, W.: Die Heilige Insel. Assen 1942.
30. KROGMANN, W. und Mitarbeiter: Helgoland ruft. Hamburg 1952.
31. LANG, A. W.: Helgoland auf alten Karten. In „Helgoland ruft“, S. 47—59, Hamburg 1952. Darin viele Abbildungen von Karten.
32. LAPPENBERG, J. M.: Über den ehemaligen Umfang und die alte Geschichte Helgolands. Hamburg 1830.
33. LAURIDSEN, P.: Johannes Mejers Kaart over Helgoland. Geogr. Tidsskr. IX, S. 50—59, Kopenhagen 1888. Darin Karte 16d und 17c.
34. LAURIDSEN, P.: Kartographen Johannes Mejer. Hist. Tidsskr. VI, S. 239—402, Kopenhagen 1888. Darin Karte 16c und 17b.
35. LAURIDSEN, P.: Der Kartograph Joh. Mejer. Übersetzung von (34) durch C. J. Jürgensen. Nordfr. Jahrb. S. 21—125, Husum 1903—04.
36. LINDEMANN, E.: Die Nordseeinsel Helgoland. Zweite Auflage, Berlin 1890. Darin Karte 24. — 1905 und 1913 unter geändertem Titel erschienen.
37. MAYER, E.: Die Geschichte des ersten Meridians. Mitt. aus dem Gebiet des Seewesens VI, S. 49—61, Pola 1878.
38. NÖRLUND, N. E.: Johannes Mejers Kort over det Danske Rige. Kopenhagen 1942.
39. NÖRLUND, N. E.: De Gamle Danske Længdeenheder. Kopenhagen 1944.
40. PESCHEL, O.: Geschichte des Zeitalters der Entdeckungen. 2. Auflage, Stuttgart 1877.

41. PESCHEL, O.: Geschichte der Erdkunde. 2. Auflage, München 1877.
42. PRATJE, O.: Die Stadien in der Entwicklung der Insel Helgoland. Erdkunde Bd. II, S. 322—330, Bonn 1948.
43. PRATJE, O.: Aufbau und Werden der Insel Helgoland. In „Helgoland ruft“, S. 20—30, Hamburg 1952.
44. SAX, P.: Frisia Minor, hoc est: Tabulae Insularum et Peninsularum . . . (Kartensammlung). 1638 (bis 1650). Handschrift und Handzeichnung, Kopenhagen, Gml. Kgl. Sml. Nr. 1026, fol. Darin Karte 1a, 18a, 22. — Fotokopien der Karten aus (44) befinden sich in Cod. SH. 207. A. 4^o der Univ.-Bibl. Kiel.
45. SAX, P.: Beschreibung der Insel Helgoland. 1638. Handschrift. Thottsche Sammlung, Kopenhagen, Nr. 1816. — Dies ist eine Abschrift des Originals, von Mejers Hand, er fügte die Karten 14, 16 und 17 bei.
46. SCHWERIN, H. H. von: Helgoland. Historisk-geografisk undersökning. Lund 1896. Mit Kartenliste auf 37 Seiten. Gibt Karten 12a, 13a, 16b, 17a, 2. — Über J. Mejer siehe hauptsächlich S. 170—183.
47. SIEBS, B. und WOHLBERG, E.: Helgoland und die Helgoländer. Kiel 1953.
48. STEPHAN, W.: Die ältesten Karten der Insel Helgoland. Zeitschr. Ges. Schlesw.-Holst. Gesch. Bd. 60, S. 96—101, 1930. — Darin Karte 20.
49. TIMEËIS: De Mijl voor het jaar 1617. Tijdschr. Kon. Ned. Aadr. Genootsch. II, Teil 37, S. 514 bis 530, Leiden 1920.
50. TITTEL, E.: Die natürlichen Veränderungen Helgolands. Diss. Leipzig 1894.
51. TOOLEY, R. V.: Maps and Map-Makers. London 1949.
52. WAGNER, H.: Der Kartenmaßstab. Zeitschr. Ges. Erdkunde, S. 1—34 und 81—117, Berlin 1914.
53. WAGNER, H.: Die Entwicklung der wissenschaftlichen Nautik. Ann. Hydr., S. 105—283, Berlin 1918.
54. WAGNER, H.: Mathematische Geographie. 11. Auflage von Wilhelm Meinardus. Hannover 1938.
55. WIEBEL, K. W. M.: Die Insel Helgoland. Untersuchungen über deren Größe in Vorzeit und Gegenwart. 2. Auflage. Abh. aus dem Gebiet d. Naturwiss. Bd. 2, Hamburg 1848.
56. ZYLMANN, P.: Helgoland in der Vor- und Frühgeschichte. In „Helgoland ruft“, S. 34—42. — Darin eine Nachbildung der Karte 12.

X. Kartenverzeichnis

1. BERENDS, Jan: Helgoland. Handzeichnung. Nicht erhaltenes Original zu Karte 1a. Etwa 1629—30.
- 1a. Desgl. Kopie des P. SAX. Insula Helgolandia. Vor 1638. In (44). Etwa 1 : 12 000.
- 1b. Desgl. Nachbildung in (9) Bl. 22. (Siehe Abb. 5.)
- 1c. Desgl. Abbildung in (31) S. 53.
2. BÖTTCHER — RANDAHL: Grund-Riß von Helgoland, im Jahre 1697. Je eine Handzeichnung in Landesbibl. Kiel (K. 37. Nr. 3) und Kommerz-Bibl. Hamburg (Kleferer-Atlas, Bd. VI, Fol. 127b). Abbildung in (9) Bl. 24 und (46) Tafel I. — Eine weitere, wenig abweichende Handzeichnung in Stockholm, Abbildung in (31) S. 55. — Vgl. (8).
3. GEERZ, Franz: Historische Karte von Dithmarschen . . . Helgoland . . . für 1643—1648. Berlin 1886. 1 : 120 000.
- 3a. Ders.: Helgoland im Jahre 1648. Berlin 1884. 1 : 24 000. (Nebenkarte auf Karte 3).
4. HAEYEN, Albert: De Beschrijvinghe van de . . . Revieren de Elf . . . ende Eyder. Amsterdam 1585. In seinem „Seebuch“. Abbildung bei ZAUSIG 1939 und LANG (31), S. 52.
5. MEJER, Johannes:⁴⁴⁾ Delineatio Praefecturae Husanae, Insulae Nordstrandiae, Peninsulae Eiderostadiae usw., etwa 1 : 200 000.
6. Ders.: Delineatio tractus Maritimi Occidentalis Ducatus Slesvicensis ab Insula Nordstrandia ad Insulam Mando. Etwa 1 : 181 000.

⁴⁴⁾ Zu Karte 5 und 6: Joh. MEJER, Kupferstiche von 1644. Ziemlich seltene Blätter. Von SAX der Sammlung (44) beigelegt. Verkleinerte Abbildungen in F. MÜLLERS „Halligen“ 1917, I, S. 221, 222. — Bei einem 1634 in „Die nordfriesischen Inseln vor und nach der Sturmflut 1634“ erschienenen Blatt (O. FISCHER) wurde Karte 6 mit einzelnen Teilen von Karte 5 und von einer anderen Karte MEJERS [in (11)] vereinigt gezeichnet. — Obwohl der Bildmaßstab bei beiden Karten, wenn auch nur wenig, so doch merkbar verschieden ist, sind die beiden Leitermaßstäbe fast gleich groß.

7. Ders.: Landkarte von dem Nortfriesland in dem Hertzogthumbe Slesswieg. 1651. (11) Tafel 13. Etwa 1 : 370 000.
8. Ders.: Landkarte von dem Alten Nortfriesland Anno 1240. Frisia Cimbrica Antiqua. 1651. (11) Tafel 14. Etwa 1 : 370 000.
9. Ders.: Nordertheil Vom Alt Nordt Friesslande biss an das Jahr 1240. 1649. (11) neben Karte 8. Etwa 1 : 130 000.
10. Ders.: Sudertheil Vom Alt Nord Friesslande biss an das Jahr 1240. 1652. (11) Tafel 25. Etwa 1 : 130 000.
11. Ders.: Nova Tabula Sanctae Terrae. Handzeichnung farbig, früher Univ. Bibl. Kiel, unter „K. 39, 18“. Im Kriege vernichtet (vgl. Abb. 2).
12. Ders.: Neue Landkarte von der Insull Helgelandt Anno 1649. (11) Tafel 19. Etwa 1 : 11 000. Länge und Breite der Insel sind verzerrt.
- 12a. Desgl.: Nachbildung in (46) Tafel II. [Siehe Abb. 1.]
13. Ders.: Helgelandt. in annis Christi 800. 1300 et 1649. (11) Tafel 19.
- 13a. Desgl.: Nachbildung in (46) Tafel II. [Siehe Abb. 1.]
14. Ders.: Nova Tabula Helgolandiae. Eine Geometrische delineatio ... 1639. Handzeichnung in SAX (45). Kopenhagen. Thottsche Sammlung, Nr. 1816.
- 14a. Desgl.: Nachbildung in (9) Blatt 23. Etwa 1 : 8300. [Siehe Abb. 4.]
- 14b. Desgl.: Verkleinerung, von MEJER in seine Karte 17 hineingezeichnet, als Kern der Phantasie-Insel.
- 14c. Desgl.: Nachbildung bei (31) S. 54. Etwa 1 : 19 000.
15. Ders.: Delineatio Accurata Provinciarum Eyderostadiae Dithmarsiae Wilster 1645. Handzeichnung, farbig. Landesbibl. Kiel, K. 62 Nr. 11. Bildmaßstab im Mittel etwa 1:86 300.
16. Ders.: Eine ungefähliche Delineatio von HELGOLAND, vor etwa 800 Jahren, weniger oder mehr Handzeichnung, farbig, 1639. Landesbibl. Kiel. „K. 80. Nr. 4.“
- 16a. Ders.: Eine Vngefähliche delineatio von HELGOLAND, vor etwan 800 Jahren, min oder mehr Handzeichnung 1639. Bei SAX (45).
- 16b. Desgl.: Nachbildung von Karte 16a in (46) Tafel II, 1896. [Siehe Abb. 1.]
- 16c. Desgl.: Nachbildung von Karte 16a in (34) S. 387. 1888.
- 16d. Desgl.: Nachbildung von Karte 16a in (33) S. 53. 1888.
17. Ders.: Eine Geographischer Delineatio, Von Helgolandt, mit allen Klippen Vnd wie gross es etwan Vor Vngefehr 800 Jahren min oder mehr, gewesen 1639. Handzeichnung in (45). Als Kern zeichnet MEJER die Karte 14b.
- 17a. Desgl.: Verkleinerte Nachbildung in (46) Tafel II. [Siehe Abb. 1.]
- 17b. Desgl.: Verkleinerte Nachbildung in (34) S. 386.
- 17c. Desgl.: Verkleinerte Nachbildung in (33) S. 56.
18. Ders.: Helgoland. Handzeichnung. Zwischen 1630 und 1634 (?). Original nicht erhalten. — Vielleicht identisch mit Karte 11.
- 18a. Desgl.: Kopie des P. SAX. Alia forma Helgolandiae. In (44). Auf Karte 11 und 18a ist Helgoland Südwest-Nordost gerichtet. — Karte 18a und 22 hat SAX auf demselben Pergamentblatt in (44) Blatt 6 gezeichnet. [Siehe Abb. 9.]
19. Ders.: Nordfriesland. Handzeichnung. Zwischen 1634 und 1638 (?). Original nicht erhalten.
- 19a. Desgl.: Kopie des P. SAX. Delineatio Frisiae Minoris in Oceano Handzeichnung in (44). Bildmaßstab von etwa 1 : 320 000 bis 1 : 490 000, im Mittel etwa 1 : 390 000. [Siehe Abb. 3.]
20. o. V.: Ohne Titel. (Helgoland). Handzeichnung um 1570. — Im Landesarchiv Schleswig, Akte Abt. A XX, Nr. 3580. — Abbildung in (48) „Prospect der Insel Helgoland“ und (31) S. 53.
21. PAPAN, A.: Karte von Helgoland im 19. Jahrhundert. Kupferstich. In (12). Hannover 1826. Etwa 1 : 20 000.
22. SAX, P.: Kopie nach „NN“. En! Aliam formam Helgolandiae a NN. — Die Länge der Südwest-Küste ergibt etwa 1 : 10 000. [Siehe Abb. 10.]
23. WENZEL: Plan von Helgoland. 1903—04. Etwa 1 : 4300. — Nachbildung bei (9) Blatt 36.
24. WIEBEL und LINDEMANN: Karte von Helgoland im Jahre 1845 (nach K. WIEBEL) und 1889 (nach E. LINDEMANN). In (36). Berlin 1890. Etwa 1 : 3200.

Ozeanographisch-meteorologische Einflüsse auf Wasserstandsänderungen des Meeres am Beispiel der Pegelbeobachtungen von Esbjerg

Von Günter Dietrich

Zusammenfassung

Wasserstandsänderungen des Meeres, die sich aus Pegelaufzeichnungen bestimmen lassen, können die Auswirkung verschiedener Einflüsse sein (Tab. 1). Sie setzen sich aus drei Hauptanteilen zusammen: 1. aus geologischen Effekten der Vertikalbewegung des Festlandes, 2. aus eustatischen und 3. aus ozeanographisch-meteorologischen Effekten. Es wird versucht zu zeigen, wie weit sich diese Anteile trennen lassen.

Am Beispiel des Pegels Esbjerg werden die einzelnen ozeanographisch-meteorologischen Effekte (Luftdruck-, Wasserdichte- und Stauwirkungen) im Monatsmittel bestimmt und für die Zeit 1849 bis 1950 angegeben (Tab. 3, Abb. 8 und 9). Windangaben in Form von Monatsmitteln für die östliche Nordsee, die für diesen Zweck notwendig sind, wurden abgeleitet (Tab. 2). Nach Ausschaltung der ozeanographisch-meteorologischen Effekte bleibt in den Pegelangaben von Esbjerg ein Wasserstandsanstieg von $1,14 \pm 0,28$ mm/Jahr (1890—1950) übrig. Dieser Betrag liegt innerhalb der Fehlergrenzen des Wertes für den eustatischen Anstieg des Weltmeeres, der mit $1,1 \pm 0,8$ mm/Jahr nur unsicher bekannt ist. Deshalb ist gegenwärtig aus den Pegelbeobachtungen von Esbjerg keine eindeutige Aussage möglich, wie weit Hebung des Meeresspiegels durch den eustatischen Effekt und wie weit Senkung des Festlandes durch geologische Effekte an dem Wasserstandsanstieg von 1,14 mm/Jahr beteiligt sind.

Die Lösung dieser Unklarheit setzt verbesserte Kenntnisse von den eustatischen Wasserstandsänderungen voraus und führt damit bei der globalen Wirksamkeit des eustatischen Effektes und seiner Bedeutung für praktische Fragen des Küstenschutzes auf ein fundamentales Problem des ozeanischen Wasserhaushalts.

Inhalt

1. Über die Ursachen von Wasserstandsänderungen	130
2. Luftdruck-, Dichte- und Stauwirkungen auf den Wasserstand am Beispiel Esbjerg	136
a) Luftdruckänderungen und ihr Einfluß auf den Wasserstand	136
b) Dichteänderungen des Meerwassers und ihr Einfluß auf den Wasserstand	136
c) Windänderungen und ihr Einfluß auf den Wasserstand	140
d) Ozeanographisch-meteorologische Einflüsse auf langjährige Wasserstandsänderungen und auf den Jahrgang des Wasserstandes	148
3. Geologisch-eustatisch bedingte Wasserstandsänderungen	153

1. Über die Ursachen von Wasserstandsänderungen

Zahlreiche Untersuchungen haben erwiesen, daß die Höhenlage des Meeresspiegels an den Küsten des Weltmeeres nicht konstant ist, sondern sich mit der Zeit örtlich verschieden stark ändert. Dies trifft für die geologische Vergangenheit zu — fossile Strandlinien und andere indirekte Zeugen sprechen dafür. Es gilt auch für die jüngste Zeit — direkte Wasserstandsbeobachtungen deuten darauf. Die letzten werden im folgenden ausschließlich herangezogen.

Unter den Pegeln an den Küsten des Weltmeeres befinden sich wenige, die zuverlässige Beobachtungen über mehr als fünfzig Jahre liefern. Nur zwei sind bekannt geworden, deren Auf-

zeichnungen über die letzten hundert Jahre hinausreichen (Swinemünde 1811—1943, Brest 1807 bis 1835, 1846—1856, 1861 bis Gegenwart). Schaltet man aus Wasserstandsangaben alle Schwankungen aus, deren Perioden von denen der Oberflächenwellen bis zu denen der langperiodischen Tiden von vierzehn Tagen reichen, so bleiben noch beachtliche Änderungen des Wasserstandes von Monatsmittel zu Monatsmittel und von Jahresmittel zu Jahresmittel übrig. Mit ihren Ursachen befassen sich die folgenden Ausführungen.

Man besitzt keine Anzeichen dafür, daß sich die Gesamtwassermenge der Erde unter Einfluß von Wasser und Eis auf dem Festlande und von Wasserdampf in der Atmosphäre merklich geändert hat, — jedenfalls nicht in der jüngsten geologischen Vergangenheit. Die Aus-

Tabelle 1
Schematischer Überblick über die Zusammenhänge der Entstehung von Wasserstandsänderungen an Meeresküsten

Systeme	Ursachen	Zwischenglieder	Wirkung auf Wasserstand
Ozean-Sonne/Mond	Langperiodische Bahnelemente	-----> Gezeitenkräfte ----->	I Gezeiteneffekt
Ozean-feste Erde	Vertikale Bewegung der Landoberfläche an der Küste	----->	II Isostatische, tektonische und Sackungs-Effekte
	Änderung der Bodentopographie des Weltmeeres	↗ Volumen der Hohlformen -----> III ↘ Bodenreibung der Wasserbewegung -----> IV Raumeffekt Reibungseffekt	
Ozean-Atmosphäre	Änderung des Luftdruckes	----->	V Luftdruckeffekt
	Änderung des Luftdruckgradienten	→ Wind → Triftströmung ----->	VI Dynamischer Effekt VII Stauwirkung
	Änderung des Wärmeumsatzes Ozean-Atmosphäre	→ Oberflächen-temperatur → Mischung der Deck-schicht → Dichte-aufbau -----> VIII ↑ Oberflächen-salzgehalt	Dichteeffekt
	Änderung des Wasserkreislaufes Ozean-Atmosphäre-Kontinente	→ Ozeanische Wassermenge ----->	IX Eustatischer Effekt (im engeren Sinne), kl. Wasserkreislauf-Effekt
		↑ Corioliskräfte ----->	

gangslage für die Höhe des Meeresspiegels ist somit durch diese Gesamtwassermenge und die Topographie der festen Erde gegeben. Abweichungen von dieser Lage und ihre Änderungen hängen von verschiedenen Einflüssen ab. Einen schematischen Überblick über die kausalen Zusammenhänge, auf die die Wasserstandsänderungen zurückgeführt werden können, enthält die Aufstellung in Tabelle 1. Dazu sei ergänzend einiges zum Stande unserer Kenntnisse bemerkt.

I. Gezeiteneffekt

Die langperiodischen Bahnelemente bedingen langperiodische Tiden. Im Zusammenhang mit den Änderungen der Monats- und Jahresmittel des Wasserstandes interessieren nur die astronomischen halb- und einjährigen Tiden sowie die 18,6jährige Tide. Große Bedeutung werden diese Gezeiteneffekte nicht haben. Wenn man Amplitudenangaben nach der Gleichgewichtstheorie der Gezeiten heranzieht, was in diesem Falle bei den sehr langperiodischen Tiden hinreichend erlaubt sein dürfte, so ergibt sich nach P. SCHUREMAN (30) für die halb-jährige Ssa-Tide in der geographischen Breite der Nordsee eine Amplitude von 6 mm, für die einjährige Sa-Tide eine Amplitude von 1 mm und für die 18,6jährige Tide eine von 3,8 v. H. der Amplitude der halbtägigen M_2 -Tide.

II. Isostatische, tektonische und Sackungseffekte

Vertikale Verschiebungen der Landoberfläche an Meeresküsten führen unmittelbar zu Änderungen des Wasserstandes relativ zum Festlande. Als isostatische und tektonische Effekte sind sie vielfach für verschiedene Gebiete der Erde diskutiert worden. Isostatische Effekte bringt man mit den Ausgleichsbewegungen in Verbindung, die mit der postglazialen Entlastung von Teilen der Kontinente durch das Inlandeis in Zusammenhang stehen. Im fennoskandischen und im kanadischen Raum sind sie am wirksamsten. Neuere zusammenfassende Bearbeitungen, die die Verhältnisse großräumig betrachten, ergeben einen Anstieg des Festlandes nach F. MODEL (25) von maximal 1,0 cm/Jahr am Bottnischen Meerbusen und nach B. GUTENBERG (17) von maximal 0,4 cm/Jahr am St. Lorenz-Golf. Tektonische Effekte, die mit orogenetischen Vorgängen in Zusammenhang gebracht werden, lassen sich nicht streng von den isostatischen trennen. Äußerlich erkennbar sind sie meist durch die Bindung an tektonische Leitlinien, während die isostatischen Effekte flächenhaft in ausgedehnten Gebieten auftreten. Tektonische Effekte wurden vielfach nachgewiesen, besonders in Gebieten mit großer seismischer Unruhe an den Rändern des Pazifischen Ozeans. Sie sind zusammenfassend bei CH. TSUBOI (35) behandelt.

Aktive vertikale Verschiebungen der Landoberfläche werden auch durch Sackungseffekte bewirkt, die als Folge von Schrumpfungen junger Böden bekannt geworden sind, wie sie z. B. C. SCHOTT (29) von der englischen und schleswig-holsteinischen Marschenküste anführt. Wasserstandsaufzeichnungen brauchen durch diese lokalen Effekte nicht beeinträchtigt zu werden, wenn die Pegelbrunnen genügend tief fundiert sind und die Pegelnullpunkte hinreichend oft durch Nivellements kontrolliert werden.

III. Raumeffekt

Änderungen der Bodentopographie des Weltmeeres, sei es durch Ablagerung terrigener Sedimente, sei es durch vulkanische und orogenetische Vorgänge am Meeresboden, beeinflussen das Volumen der Hohlformen des Weltmeeres und können dadurch Anlaß zu Wasserstandsänderungen geben. Es scheint angängig zu sein, diesen Raumeffekt bei der Deutung von Pegelaufzeichnungen zu vernachlässigen, da seine Wirkungen sehr langsam ablaufen. Das gilt für den Anteil der Sedimentation im Weltmeer nach Abschätzungen von Ph. KUENEN (22) und nach neueren Untersuchungen der Sedimentationsgeschwindigkeit; das gilt auch für den Anteil der vulkanischen und orogenetischen Prozesse, weil sie zu unergiebig sind, um in historischer Zeit nennenswerte Volumenänderungen des gesamten Weltmeerraumes bewirkt zu haben. Aber in geologischen Zeiträumen verdient dieser Raumeffekt gewiß einige Beachtung.

IV. Reibungseffekt

Die Änderung der Bodentopographie wirkt auf eine Änderung der Bodenreibung des strömenden Wassers, damit auf die Gefällsverhältnisse des Wasserspiegels und somit auf die Wasserstände. Meßbar wird der Effekt nur bei umfangreichen topographischen Veränderungen im Flachwasser, sei es durch größere wasserbauliche Anlagen oder durch die Verlagerung von Sänden. Da es sich um lokal begrenzte kleine Störungen handelt, lassen sie sich umgehen, wenn man sich bei der Auswahl des Pegels von solchen kritischen Punkten fernhält.

Schließlich ist in der Tabelle 1 die große Gruppe der atmosphärischen Einflüsse auf den Wasserstand aufgeführt.

V. Luftdruckeffekt

Änderungen des Luftdruckes bewirken Änderungen des Wasserstandes, die als Luftdruckeffekt bezeichnet werden. Die Beziehungen sind vielfach untersucht worden. Hinweise darauf befinden sich an anderer Stelle [G. DIETRICH (10)]. Es hat sich auch nach neueren Untersuchungen von T. SHIMIZU (31) und anderen gezeigt, daß das Meer angenähert wie ein umgekehrtes Barometer reagiert, wenn es genügend Zeit zur Anpassung an die Luftdruckverhältnisse hat. Bei Monatsmittelwerten dürfte der hydrostatische Ausgleich hinreichend eingetreten sein, und einem Luftdruckanstieg von 1 mb entspricht im Mittel ein Abfall des Wasserstandes von 1 cm. Daß bei einzelnen Wetterlagen, besonders in Zonen mit großer Veränderlichkeit des Luftdruckes, erhebliche Abweichungen von der mittleren Beziehung auftreten können, hat G. TOMCZAK (34) an einem Beispiel aus der Deutschen Bucht gezeigt.

VI. Dynamischer Effekt

Änderungen des Luftdruckgradienten wirken über den Wind auf eine Änderung der winderzeugten Meeresströmungen und unter Mitwirkung der Corioliskräfte auf Änderungen der Schiefstellung des Meeresspiegels quer zur Strömung und damit auf die Wasserstände an der Küste. Daß diese Wirkung, die hier als dynamischer Effekt bezeichnet wird, verhältnismäßig geringfügig bleibt, bestätigt die folgende Überschlagsrechnung. Man kann die Wasserbewegung der Nordsee im Monatsmittel als zyklonalen Wirbel mit einem Radius von etwa 200 km auffassen. Die mittlere Stromgeschwindigkeit senkrecht zum Radius sei — in Anlehnung an die wenigen Beobachtungsdaten — 4 cm/sec. Eine Steigerung der zyklonalen Bewegung um 25 v. H. erzeugt durch die Zunahme der Schiefstellung eine Wasserstandserhöhung an der dänischen Küste von nur 0,5 cm.

VII. Stau effekt

Wesentlich wirksamer als der dynamische Effekt ist der Stau effekt des Windes, besonders an Küsten mit vorgelagerten ausgedehnten Flachwassergebieten. Bei der starken Abhängigkeit von der Lage der Küsten zur vorherrschenden Windrichtung sowie von der örtlichen Topographie der Flachwassergebiete kann dieser Effekt lokal verschieden ausfallen. Dies zeigen unter anderem die Untersuchungen dieses Effektes an schwedischen Pegeln von F. BERGSTEN (3), an dem finnischen Pegel Hangö von J. HELA (18) und an Nordseepegeln von N. W. ALLISON (2).

VIII. Dichteeffekt

Der Wärmeumsatz zwischen Ozean und Atmosphäre nimmt Einfluß auf die Oberflächentemperatur des Meeres, der Wasserkreislauf wirkt auf den Oberflächensalzgehalt. Beide zusammen beeinflussen unter Mitwirkung der Mischung die Dichteschichtung des Meerwassers und damit die Höhe des Meeresspiegels. In einzelnen Fällen wurde dieser Effekt für die offenen Ozeanküsten bestimmt, z. B. von T. NOMITSU und M. OKAMOTO (26) für die japanische Küste, vom Verfasser (9) sowie von R. B. MONTGOMERY (24) für die Ostküste der U.S.A. und von E. LA FOND (23) für die kalifornische Küste. Dabei hat sich der Dichteeffekt als wesentlicher Anteil an der Entstehung des jährlichen Ganges der Wasserstände erwiesen.

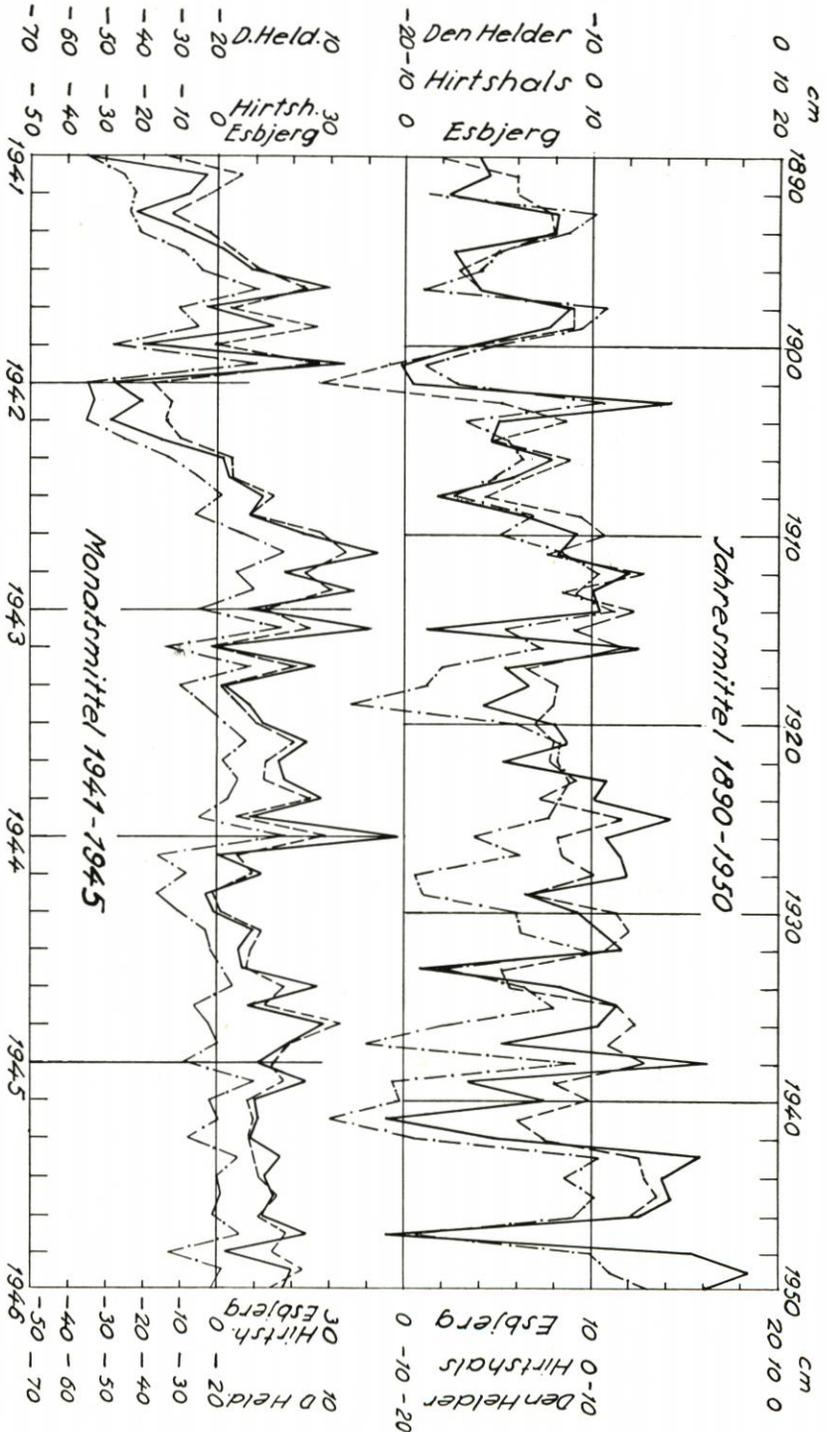


Abb. 1. Jahresmittel 1890—1950 und Ausschnitt aus den Monatsmitteln der Wasserstände 1941—1945
 - - - - Hirtshals — Esbjerg und - - - - Den Helder
 (57° 36' N, 9° 57' E) (55° 28' N, 8° 27' E) (52° 58' N, 4° 45' E)

IX. Eustatischer Effekt (im engeren Sinne) und kleiner Wasserkreislauffeffekt

Mit den Änderungen des Wasserkreislaufs auf der Erde ändert sich die ozeanische Wassermenge und damit unmittelbar der Wasserstand. Der Wasserkreislauf enthält langsam und schnell veränderliche Komponenten. Die im Inlandeis gebundenen Wassermengen unterliegen, abgesehen vom jährlichen Rhythmus, langjährigen Änderungen im Zusammenhang mit Klimaänderungen, die langsam aber weltweit und mit der Zeit beachtenswert auf den Wasserstand wirken. Es ist der eustatische Effekt. Von ihm ist begrenzt trennbar der kleine Wasserkreislauffeffekt, der unter Ausschaltung der Akkumulation im Inlandeis und in den Gletschern auf dem kurzen Wege Verdunstung—Niederschlag—Abfluß verläuft. Er ist schnell veränderlich, regional begrenzt wirksam und langjährig wenig ergiebig.

Die Bedeutung des eustatischen Effektes in geologischen Zeiträumen ist vielfach untersucht worden, besonders im Hinblick auf die postglaziale Zufuhr des Schmelzwassers zum Weltmeer. Zusammenfassungen von glaziologischer Seite bringt S. THORARINSSON (33), von geophysikalischer Seite B. GUTENBERG (17). Vielfach nimmt man bei der Diskussion der Wasserstandsänderungen keine gesonderte Rücksicht auf die Effekte III bis VIII. Damit wird als eustatischer Effekt die Summe aller Effekte bezeichnet. Zum Unterschied davon wird hier vom „eustatischen Effekt im engeren Sinne“ gesprochen, der nur Bezug nimmt auf den Einfluß des Wasserhaushaltes von Inlandeis und Gletscher auf den Wasserstand des Meeres.

Wasserstandsänderungen erweisen sich, wie der Überblick über die Ursachen in Tabelle 1 zeigt, als ein sehr komplexer Vorgang, an dem verschieden schnell und verschieden stark wirkende Effekte unterschiedlichen Ursprungs beteiligt sein können. Auch wenn man die Effekte III, IV und VI bei geeigneter Wahl der Pegel umgehen oder vernachlässigen kann, bleiben immer noch eine Reihe verschiedenartiger Einflüsse erhalten, die die Vorgänge kompliziert gestalten. Besonders die große Veränderlichkeit der recht wirksamen Effekte V, VII und VIII, die auf ozeanographisch-meteorologische Einflüsse zurückgehen, erschwert es, langjährige systematische Änderungen der Wasserstände zu erkennen. Zur besseren Veranschaulichung dieser Tatsachen sind die Jahresmittel des Wasserstandes von drei Nordseepegeln in Abbildung 1 aufgetragen, und zwar für den Zeitraum 1890 bis 1950. Ausschnittsweise ist auch der Verlauf der Monatsmittel dargestellt, und zwar für 1941 bis 1946. Die Werte sind bis 1947 in der Veröffentlichung der Association d'Océanographie Physique (1) enthalten; die anschließenden Jahrgänge bis einschließlich 1950 stellte das Dänische Meteorologische Institut dankenswerterweise zur Verfügung. Bei Esbjerg und Hirtshals handelt es sich um mittlere monatliche Wasserstände aus stündlichen Ablesungen der Pegelregistrierungen, bei Den Helder um Mittelwerte aus dreistündigen Ablesungen seit 1932, davor aus sechsstündigen Ablesungen.

Es ist auffallend, wie wenig der Gang der Jahres- und Monatsmittel der einzelnen Pegel untereinander abweicht. Die Streuung der Monatsmittel, bezogen auf das Gesamtmittel des Wasserstandes im Beobachtungszeitraum, beträgt bei Esbjerg ± 16 cm, die Streuung der Jahresmittel noch $\pm 4,7$ cm. Die Streuungen der entsprechenden Werte von Hirtshals und Den Helder weichen wenig davon ab. Man benötigt 22jährige Mittel, um die mittlere Abweichung auf $\pm 1,0$ cm herabzusetzen. Eine solche Genauigkeit erscheint notwendig, wenn man eindeutige Aussagen über die systematischen Wasserstandsänderungen machen will, wie sie bei Esbjerg und auch an der übrigen Nordseeküste sowie an der südlichen Ostseeküste auftreten. Andererseits erscheint ein Zeitraum von 22 Jahren zu lang; denn die Beobachtungsreihen reichen nur selten aus, die systematischen Wasserstandsänderungen mit solchen Mittelwerten über längere Zeit zu verfolgen. Außerdem bliebe ein Gang der Wasserstände, der möglicherweise in einem solchen Zeitraum von 22 Jahren enthalten sein kann, unbestimmbar. Zur Behebung der genannten Schwierigkeiten ergibt sich eine doppelte Aufgabe:

1. die Wirkung der ozeanographisch-meteorologischen Effekte auf den Wasserstand an ausgewählten Pegeln zu bestimmen,
2. gestützt auf geeignete Beobachtungsreihen von Luftdruck, Wasserdichte und Wind die ozeanographisch-meteorologischen Effekte aus dem Monats- und Jahresmitteln der Wasserstände zu eliminieren.

Mit der Lösung dieser Aufgaben an ausgewählten Beispielen lassen sich Fragen beantworten, die allgemein geophysikalisch, aber auch besonders für die praktischen Belange des Wasserbaus im Rahmen des Küstenschutzes und der Landgewinnung von Interesse sein können. Dazu gehören vor allem:

1. Wie weit sind die ozeanographisch-meteorologischen Effekte (Luftdruck-, Dichte- und Stauwirkungen) einzeln und zusammengefaßt an den beobachteten langjährigen Wasserstandsänderungen und an den Änderungen des mittleren Jahresganges beteiligt?
2. Welcher Anteil an den Wasserstandsänderungen entfällt auf die zusammengefaßten geologischen Effekte unter II in Tabelle 1 und welcher auf den eustatischen Effekt unter IX?

Im folgenden wird versucht, diesen Fragen am Beispiel von Esbjerg nachzugehen. Dabei werden Monatsmittel zugrundegelegt.

2. Luftdruck-, Dichte- und Stauwirkungen auf den Wasserstand am Beispiel von Esbjerg

Die Eliminierung der Luftdruck-, Dichte- und Stauwirkungen in den Wasserständen setzt voraus, daß die örtliche Wirkung von Luftdruck, Wasserdichte und Wind bekannt ist und daß hinreichend lange Beobachtungsreihen dieser Elemente vorliegen. Der Mangel an solchen Reihen, besonders was die Wasserdichte und den Wind anbelangt, dürfte ein Grund dafür sein, daß Versuche in der vorliegenden Art bisher unterblieben. Es läßt sich aber zeigen, daß man derartige Reihen für den vorliegenden Zweck aus anderen Beobachtungselementen ableiten kann.

a) Luftdruckänderungen und ihr Einfluß auf den Wasserstand

Die Wirkung der Luftdruckänderungen auf den Wasserstand kann als bekannt vorausgesetzt werden. Wie bereits erwähnt wurde, haben Untersuchungen an verschiedenen Pegeln des Weltmeeres erwiesen, daß im Mittel einer Luftdruckänderung von + 1 mb eine Wasserstandsänderung von - 1 cm entspricht, wenn dem Meere hinreichend Zeit zur Anpassung gelassen wird. Monatsmittel dürften diese Voraussetzung erfüllen.

Einwandfreie Luftdruckreihen liegen vor, die es gestatten, den Luftdruckeffekt über größere Zeiträume zu verfolgen. Da Änderungen der Monatsmittel des Luftdruckes in ausgedehnten Gebieten von großer Gleichförmigkeit sind, reicht für das Beispiel von Esbjerg die Luftdruckreihe von Kopenhagen aus. Als meteorologische Station 1. Ordnung liefert sie Monatsmittel, die wenigstens auf drei Beobachtungen am Tage beruhen und die außerdem bis 1842 zurückreichen. Die Monatsmittel wurden den World Weather Records von H. H. CLAYTON (6) entnommen und bis 1950 mit Hilfe der dänischen Jahrbuchangaben ergänzt und geprüft. Sie übertreffen mit ihrer Genauigkeit von etwa $\pm 0,1$ mb das Maß des Notwendigen für die vorliegende Fragestellung. Als Normalmittel wird der Wert 1013,6 mb verwendet, der dem Mittelwert 1901 bis 1930 entspricht.

Beispiele für den Anteil des Luftdruckeffektes am Gang des Wasserstandes in Monatsmittelwerten enthält die Abbildung 8. Die absolute Schwankungsbreite des Luftdruckeffektes in den einzelnen Jahren 1851 bis 1950 betrug 28,8 cm, die mittlere 15,2 cm. Der Anteil des Luftdruckeffektes an den Jahresmitteln des Wasserstandes für die Jahre 1849 bis 1950 ist aus Tabelle 3 zu ersehen.

Außerdem unterliegt der Luftdruck geringen langjährigen Änderungen, deren Einfluß auf den Wasserstand von Esbjerg in neunzehnjährigen übergreifenden Jahresmittelwerten 1858 bis 1941 in Abbildung 9 dargestellt ist. Vom letzten Höchststande dieser Mittel für 1918 (1909—1927) ist der Wasserstand bis 1940 (1931—1949) durch den Luftdruckeffekt um 1,0 cm gefallen.

b) Dichteänderungen des Meereswassers und ihr Einfluß auf den Wasserstand

Die Eliminierung des Luftdruckeffektes aus den Wasserstandsänderungen bereitet keine Schwierigkeiten, sobald man hydrostatischen Ausgleich voraussetzen kann. Schwieriger sind

Angaben über die Wirkung der Dichte- und Stauwirkungen zu machen. In speziellen Fällen, wie im vorliegenden Beispiel von Esbjerg, ist weder die Wirkung der Wasserdichte und des Windes auf den Wasserstand an sich bekannt, noch liegen lange Reihen direkter Beobachtungen von Dichte und Wind vor. Hieran läßt sich aber für beide Elemente Abhilfe schaffen. Hinsichtlich des Dichteeffektes ist der eingeschlagene Weg kurz folgender: Vernachlässigt man alle anderen Einflüsse, so gehört zu einem bestimmten Dichteaufbau des Meeres ein bestimmter Wasserstand. Änderungen des Dichteaufbaus stehen in der Nordsee in einer engen Beziehung zu Änderungen der Oberflächentemperaturen. Leitet man diese Beziehung ab, so läßt sich an Hand von vorliegenden langen Beobachtungsreihen der Oberflächentemperatur die Wirkung des Dichteeffektes auf den Wasserstand angeben.

Die einzelnen Teile des Berechnungsganges seien im folgenden erläutert:

Der mittlere jährliche Gang des Dichteaufbaus in der Nordsee kann von mehreren Punkten als bekannt vorausgesetzt werden, da der jährliche Gang der Temperatur- und Salzgehaltsschichtung veröffentlicht ist [G. DIETRICH (12)]. Die unveröffentlichte Untersuchung [G. DIETRICH (11)] gibt darüber hinaus Schichtungsdiagramme für weitere Punkte. Gestützt auf diese Bearbeitung des Beobachtungsmaterials der internationalen Meeresforschung aus den Jahren 1902 bis 1938 und eine Untersuchung von J. P. JACOBSEN (20) im Färöer-Shetland-Gebiet, ist festzustellen, daß der jährliche Gang der Dichte in 300 m Tiefe praktisch seine untere Grenze findet. Geht man von dieser Grenztiefe aus, so läßt sich aus dem jeweiligen hydrographischen Aufbau bis zur Meeresoberfläche für jeden Monat die Lage der isobaren Flächen angeben. Als einfaches Berechnungsverfahren diente das von H. U. SVERDRUP (32). Ein Beispiel für das vollständige Ergebnis enthält Abbildung 2. Es gilt für die Shetland-Gewässer, und zwar für die internationale Terminstation Sc 20 a auf $\varphi = 60^{\circ} 17' N$, $\lambda = 3^{\circ} 44' W$. Die Beobachtungen in der Tiefe sind angeschlossen an die etwa dreißigjährigen Eingradfeldmittel aus den zahlreichen Oberflächenbeobachtungen [Temperaturen nach G. BÖHNECKE und G. DIETRICH (5), Salzgehalte nach G. BÖHNECKE (4)]. Das Ergebnis zeigt eine Jahresschwankung der 100-dbar-Fläche von 5,0 cm, der 0-dbar-Fläche, d. h. der Meeresoberfläche, von 10,6 cm.

In derselben Weise wurde aus der vertikalen Temperatur-, Salzgehalts- und Dichteverteilung von anderen Punkten der Jahresgang der isobaren Flächen berechnet. Dabei mußte aber eine Voraussetzung gemacht werden, weil die Nordsee, abgesehen vom Skagerrak, flacher als 300 m ist. Es wird angenommen, daß in Bodennähe bei angrenzendem tieferem Wasser ein nahezu vollständiger hydrostatischer Druckausgleich in denselben Niveaus besteht. Das bedeutet, daß z. B. die 100-dbar-Fläche bei 100 m Tiefe den gleichen Jahresgang zeigt wie die 100-dbar-Fläche im benachbarten, tieferen Wasser. Damit wird man auf das gleiche Berechnungsverfahren geführt, wie es z. B. HELLAND-HANSEN (19) auf einzelnen hydrographischen Schnitten am Schelfrand erstmals angewendet hat. Die Punkte innerhalb der Nordsee wurden somit schrittweise aneinander angeschlossen und auf die Grenztiefe des jährlichen Dichteganges in 300 m bei den Shetland-Inseln bezogen. Das Beispiel aus der südlichen Nordsee ist an die Biskaya angeschlossen, von der der mittlere jährliche Dichtegang ebenfalls bekannt ist [G. DIETRICH (13)]. Die Ergebnisse, soweit sie den Jahresgang der Meeresoberfläche als der obersten isobaren Fläche betreffen, enthält die Abbildung 3 A.

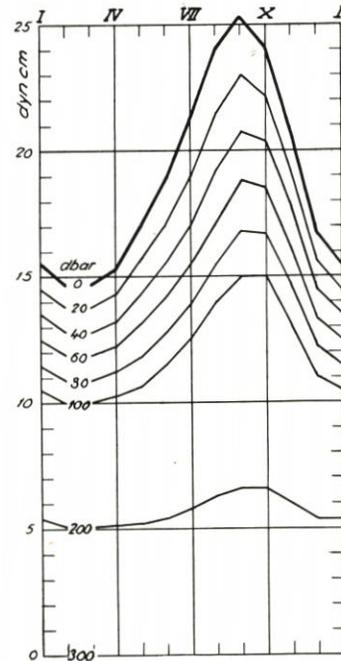


Abb. 2. Mittlerer Jahresgang von ausgewählten isobaren Flächen in dyn cm in den Shetland-Gewässern ($60^{\circ} 17' N$, $3^{\circ} 44' W$)

Bemerkenswert daran ist, daß die südliche Nordsee und die Shetland-Gewässer nach den beiden Beispielen in Abbildung 3 A nahezu den gleichen Jahresgang aufweisen; das Skagerrak (bei dem Feuerschiff „Skagens-Rev“) und die nordöstliche Nordsee (vor Stavanger) weichen teilweise davon ab. Hierin drückt sich der Einfluß des kräftigen jährlichen Ganges des Salzgehaltes in beiden Fällen aus.

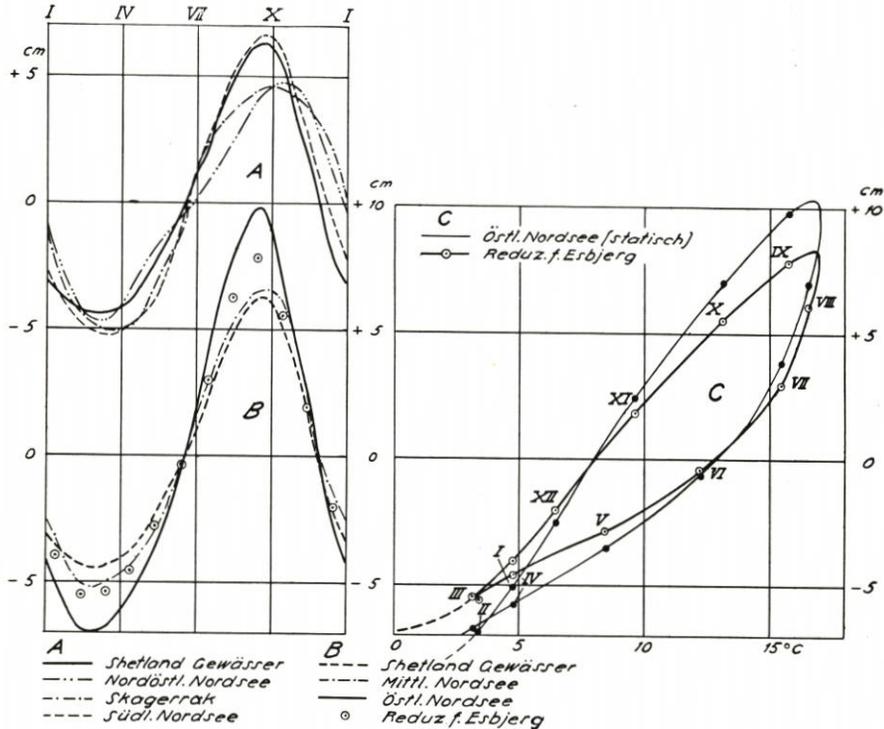


Abb. 3. A. und B. Mittlerer jährlicher Gang des Meeresspiegels als Folge des mittleren jährlichen Ganges der Dichte des Meerwassers (1906—1938) (statisch betrachtet) in der Nordsee. C. Monatsmittel des Wasserstandes (Dichteeffekt) in der östlichen Nordsee als Funktion der Oberflächentemperatur bei Feuerschiff „Horns-Rev“ (1906—1938) (55° 34' N, 7° 20' E)

Verfolgt man in Abbildung 3 B den Verlauf des errechneten Jahresganges der Höhe der Meeresoberfläche von den Shetlands durch die mittlere Nordsee bis in die östliche Nordsee bei dem Feuerschiff „Horns-Rev“ bei Esbjerg, so kommt die steigende kontinentale Beeinflussung des Dichteaufbaus des Meerwassers in der Zunahme der Jahresschwankung der Meeresoberfläche zum Ausdruck. Die Jahresschwankung steigt von 10,6 cm bei den Shetlands auf 11,7 cm in der mittleren Nordsee und auf 16,7 cm in der östlichen Nordsee bei „Horns-Rev“.

Diese Ergebnisse zeigen, daß sich besonders in den Randzonen der Nordsee kräftige jährliche Schwankungen in dem Oberflächengefälle ausbilden. Demzufolge müssen sich jährliche Schwankungen in den Gradientenströmungen einstellen, die im Sommer und Herbst zu einer zyklonalen, im Winter und Frühjahr zu einer antizyklonalen Bewegungskomponente in den sonstigen Strömungen beitragen müßten. Stromänderungen dieser Art sind bisher nicht nachgewiesen, dafür ist das Beobachtungsmaterial zu lückenhaft. Dagegen kommt ihre Wirkung im Westausgang des Englischen Kanals deutlich im Jahresgang der Salzgehaltsverteilung an der Oberfläche zum Ausdruck [G. DIETRICH (13)]. Diese Fragen führen über die vorliegende Aufgabe hinaus, sie zeigen aber — und deshalb wurden sie hier gestreift —, daß das Problem des Jahresganges der Oberfläche infolge Dichteinfluß kein rein statisches

ist. Was man in unseren Gewässern, besonders in Küstennähe, als Jahresgang berechnet, wenn es gelingt, den Dichteaufbau voll zu erfassen, sind Höchstwerte, die gar nicht einzutreten brauchen. Der jährliche Gang im Oberflächengefälle löst Gradientenströmungen aus, die unter Mitwirkung der Reibung dazu beitragen, das Gefälle abzubauen. Damit wird der extrem hohe Jahresgang der Meeresoberfläche in Küstennähe, wie er berechnet wurde, gemildert. Es ist aber nicht ohne weiteres zu übersehen, wie weit diese Dämpfung in unserem Beispiel Esbjerg zur Wirkung gelangt.

Zur Abhilfe können die Wasserstände bis zu einem gewissen Grade beitragen, indem man die Beziehung zwischen beobachteten und berechneten Wasserständen unter bestimmten Voraussetzungen ermittelt. Es werden auf der einen Seite die beobachteten Monatsmittel des Wasserstandes von Esbjerg herangezogen, nachdem der Luftdruckeffekt eliminiert worden ist. Nur solche Monate werden ausgewählt, in denen keine oder nur geringe Winde im Monatsmittel herrschen. Auf die Bestimmung dieser Winde für jedes Monatsmittel 1890 bis 1950 wird im folgenden bei der Diskussion des Staueffectes eingegangen. April, Mai und September erwiesen sich als die ruhigsten Monate. In denselben Monaten treten die Extreme des Dichteeffektes auf. Auf der anderen Seite wurden für die gleichen ausgewählten Monate die Wasserstände aus dem Dichteinfluß bestimmt, je nach der herrschenden Oberflächentemperatur.

Zu diesem Zweck wurde der mittlere Jahresgang der Höhe der Oberfläche als Funktion der Oberflächentemperatur vom Feuerschiff „Horns-Rev“ für denselben Zeitraum (1924—1936) dargestellt (Abb. 3 C, dünner Kurvenzug). Dieser Schritt ist erlaubt, weil der Jahresgang der Wassertemperatur ausschlaggebend für den Dichtegang in der Nordsee ist. Feuerschiff „Horns-Rev“ wurde gewählt, weil es erstens nahe bei Esbjerg liegt und zweitens die Beobachtungen dort die längste und beste Temperaturreihe aus der Nordsee darstellen. Die Beziehung in Abbildung 3 C ist nicht eindeutig. Es gehören z. B. zu den gleichen Temperaturen im Mai andere Wasserstände als im November. Der Grund liegt in der unterschiedlichen Schichtung in beiden Monaten.

Man darf die ausgewählten, beobachteten monatlichen Wasserstände nicht mit den berechneten in Beziehung setzen, da die geologischen und eustatischen Effekte mit eingehen würden. Es wurden vielmehr Wasserstandsschwankungen miteinander in Beziehung gesetzt: Auf der einen Seite die beobachteten Schwankungen, nachdem der Luftdruckeffekt eliminiert war, bei Monatspaaren mit Wind Null oder geringen, aber gleichen Monatswinden; auf der andern Seite die Schwankungen für die gleichen Monatspaare aus den berechneten statischen Dichteeffekten, je nach den Oberflächentemperaturen.

Aus dem Zeitraum 1890 bis 1950 ließen sich 34 Paare von Monaten heranziehen, in denen die Windverhältnisse die notwendigen Voraussetzungen erfüllten. Die beobachteten Differenzen Δh —, meist waren es die Jahresschwankungen — ergaben sich zu

$$\Delta h = 0,80 \Delta D \pm 3,0 \text{ cm.}$$

Der statisch berechnete Dichteeffekt ΔD wurde in Esbjerg also zu 80 v. H. erreicht, mit einer Streuung von $\pm 3,0$ cm. Mit diesem Faktor 0,80 wurde die Beziehung in Abbildung 3 C reduziert. Damit ist die Wirkung des Dichteeffektes in der stark ausgezogenen Kurve in Abbildung 3 C für das Beispiel Esbjerg abgeleitet, zugleich in einer Form, die es gestattet, den Dichteeffekt je nach der herrschenden Wassertemperatur bei „Horns-Rev“ zu eliminieren. Diese Beziehung besagt z. B., daß einem Temperaturanstieg von $1,0^\circ \text{C}$ im Juli ein Wasserstandsanstieg von 2,0 cm entspricht. Im Winter dagegen, wenn das Wasser nahe an seinem Dichtemaximum ist, verschwindet der Dichteeinfluß.

Der letzte Schritt im Berechnungsgang betrifft die Anwendung der Beziehung in Abbildung 3 C für die Eliminierung des Dichteeffektes. Er setzt voraus, daß die Monatsmittel der Oberflächentemperatur bei dem Feuerschiff „Horns-Rev“ bekannt sind. Das trifft seit Beginn der Beobachtungen im Jahre 1877, die seitdem täglich einmal angestellt wurden und in den dänischen nautisch-meteorologischen Jahrbüchern veröffentlicht sind, nicht immer zu. Ausfälle betreffen vor allem die Zeit 1917 bis 1920 und 1940 bis 1950, als das Feuerschiff nicht auf seiner Position war. Es ergibt sich die Notwendigkeit, diese Lücken zu füllen. Dies gelingt mit ausreichender Genauigkeit, wenn man die Beziehung zwischen den Monatsmitteln der Ober-

flächentemperatur t_w und den Monatsmitteln der Lufttemperatur t_L verwendet. Benützt man für die Lufttemperatur die Reihe von Kopenhagen, so ergibt sich aus dem Material 1877 bis 1916 und 1921 bis 1939 die einfache Beziehung:

$$t_L = -0,60 (t_w - t_L) + a.$$

a ist eine Konstante für jeden Monat; ihre Streuung ist im Mittel $\pm 0,5^\circ \text{C}$, in den Herbstmonaten weniger ($\pm 0,3^\circ \text{C}$), in den Frühjahrsmonaten mehr ($\pm 0,7^\circ \text{C}$).

Monate	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
a in $^\circ \text{C}$	3,8	2,8	2,1	2,4	2,8	5,7	8,1	9,0	9,7	9,2	7,6	5,5

Damit sind die Grundlagen gegeben, die Wirkung des Dichteeffekts am Beispiel von Esbjerg zu eliminieren. Der Anteil des Dichteeffekts am jährlichen Gang des Wasserstandes enthält die Abbildung 8 für den Zeitraum 1948 bis 1950. Die absolute Schwankungsbreite, bezogen auf den Dichteeffekt in den Einzeljahren 1851 bis 1950, beträgt 15,7 cm, die mittlere 13,4 cm. Der Anteil des Dichteeffekts an den Jahresmitteln des Wasserstandes für die Jahre 1849 bis 1950 ist in Tabelle 3 zusammengestellt.

Die Oberflächentemperatur und damit auch der Dichteeffekt unterliegen ebenfalls langjährigen Änderungen. Die Anomalien der neunzehnjährigen übergreifenden Monatsmittel der Oberflächentemperatur 1858 bis 1941 sind in Abbildung 4 in einem Isolethendiagramm zusammengefaßt. Als Normalmittel dienen die Monatsmittel 1901 bis 1930. In dieser Darstellung kommen deutliche Temperaturänderungen in der östlichen Nordsee zum Ausdruck, die eindeutig über den Fehlergrenzen der Beobachtungs- und Berechnungsmethoden liegen. Relativ kalten Herbst- und Wintermonaten 1870 bis 1900 stehen warme Frühjahrs- und Sommermonate seit etwa 1925 gegenüber, wobei die Jahresangaben sich auf das Jahr in der Mitte des neunzehnjährigen Zeitraums beziehen, also 1925 auf 1916 bis 1934. Diese Temperaturänderungen, die mit Änderungen des Dichteaufbaus des Meerwassers verknüpft sind, müssen sich auch in Wasserstandsänderungen geltend machen. Abbildung 9 enthält in neunzehnjährigen übergreifenden Mittelwerten (Kurve C) den Anteil an den Wasserständen von Esbjerg. Seit dem letzten Minimum um 1915 (1906 bis 1924) ist der Wasserstand bis zum nächsten Höchststande 1939 (1930—1948) durch den Dichteeffekt um 0,6 cm gestiegen.

c) Windänderungen und ihr Einfluß auf den Wasserstand

Die Schwierigkeit, der man hinsichtlich des Stau effekts des Windes gegenübersteht, ist eine doppelte. Weder ist die Beziehung zwischen Wind und Stau bei Monatsmittelwerten im Falle von Esbjerg bekannt, noch liegen hinreichende Beobachtungsreihen des Windes vor. Wo Windbeobachtungen vorhanden sind, muß man mit vielen Unzulänglichkeiten der Beobachtungen rechnen. Ältere Windangaben beruhen meist auf Schätzungen und sind nicht frei von subjektiven Fehlern. Außerdem unterliegt der Wind lokalen Beeinflussungen, und es ist sehr schwierig zu übersehen, wie weit sich die Geländeeinflüsse durch Bebauung und Bewuchs in den Jahrzehnten geändert haben. Landbeobachtungen des Windes, zumal von einem einzigen Punkt, bleiben für die vorliegende Fragestellung immer unzureichend, in der es sich um eine flächenhafte Wirkung des Windes über See handelt. Aus allen diesen Gründen wurden statt direkter Windbeobachtungen Luftdruckgradienten herangezogen. Sie wurden für jeden Monat in einem Dreieck bestimmt, von dessen Ecken zuverlässige und lange Beobachtungsreihen des Luftdrucks vorliegen. Günstig für das Seegebiet der östlichen Nordsee erschienen die meteorologischen Stationen 1. Ordnung Bergen (Norwegen), Utrecht (Niederlande) und Kopenhagen. Die kürzeste der drei Reihen reicht bis 1849 zurück.

Die Luftdruckbeobachtungen wurden den World Weather Records von H. H. CLAYTON (6) entnommen, geprüft und erweitert an Hand der Jahrbuchangaben, die dankenswerterweise die Meteorologischen Ämter von Norwegen, Dänemark und den Niederlanden bis 1950 ergänzten. Die Monatsmittel stützen sich auf Tagesmittelwerte und sind auf Meeressniveau und Normal-schwere bezogen.

Aus Richtung und Größe der Monatsmittel des Luftdruckgradienten lassen sich bei bekannter Reibungsgröße und Drehung des Windes auf See gegenüber dem geostrophischen

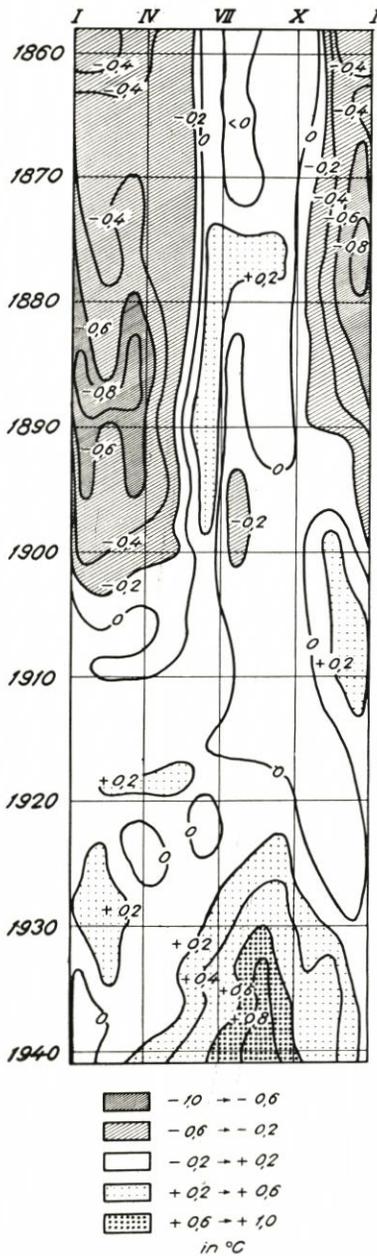


Abb. 4. Anomalien der Oberflächentemperatur in übergreifenden 19jährigen Monatsmitteln 1849—1950 gegenüber den Monatsmitteln 1901—1930 bei Feuerschiff „Horns Rev“. (Fehlende Monatsmittel aus Korrelation mit Lufttemperatur Kopenhagen ergänzt)

Winde auch die mittleren Monatswinde angeben. Als Drehung für 56 Grad Breite wurden nach F. BAUR und H. PHILIPS (1938) 14 Grad, als Verhältnis des Bodenwindes zum geostrophischen Winde 0,69 benutzt. Als mittlere Luftdichte wurde 1,25 kg/m³ verwendet. Windangaben nach gleichen Methoden wurden bereits für andere Teile der Nordsee gemacht [G. DIETRICH (14)]. Da die vorliegende hundertjährige Reihe im Stande ist, Unterlagen auch für andere Fragestellungen zu liefern, die die atmosphärische Zirkulation und ihre Einflüsse auf das Meer im Bereich der östlichen Nordsee betreffen, sei die vollständige Liste der Ergebnisse mitgeteilt (Tab. 2). Wenn hier zur besseren Anschaulichkeit Monatsmittel des Windes und nicht des Luftdruckgradienten angegeben werden, so sei bemerkt, daß sich die Umrechnung leicht rückgängig machen läßt. Windrichtung — 76° gibt die Gradientrichtung (von hohem zu tiefem Druck), die Windgeschwindigkeit in m/sec dividiert durch 4,49 ergibt die Gradientgröße in mb/100 km.

Von einer Diskussion der hundertjährigen Windreihe sei abgesehen, da die Reihe für die vorliegende Aufgabenstellung nicht Selbstzweck ist, sondern als Grundlage dazu dient, die Wirkung des Windes auf den Wasserstand im Monatsmittel zu untersuchen. Als Überblick und Hinweis auf den Jahresgang und die langjährigen Änderungen wurden Richtung und Geschwindigkeit in übergreifenden neunzehnjährigen Monatsmitteln in Isoplethen dargestellt (Abb. 5).

Eine physikalische Behandlung bei der Bestimmung der Zusammenhänge von Wind und Stau erscheint in diesem Falle nicht angängig, weil Einzelergebnisse unter definierten Randbedingungen nicht ohne weiteres auf Monatsmittel übertragbar sind. Es bleibt ein statistischer Weg, indem man die Wasserstände, nachdem Luftdruck- und Dichteeffekt eliminiert sind, zu dem Winde in Beziehung setzt. Erschwerend dabei ist, daß nicht nur die Geschwindigkeit des Windes, sondern auch seine Richtung entscheidend mitwirkt und beide entsprechend berücksichtigt werden müssen. Erschwerend ist ferner, daß man nicht einfach die Wasserstände aus dem ganzen Beobachtungszeitraum von sechs Jahrzehnten zu dem Winde in Beziehung setzen kann, weil sonst eustatische und geologische Effekte untrennbar in die Beziehung mit eingehen würden. Deshalb wurden die Abweichungen des Monatsmittels vom jeweiligen Jahresmittel, und zwar hinsichtlich Wind und Wasserstand, miteinander in Beziehung gesetzt, und zwar aufgeteilt nach Oktanten dieser Windangaben.

Ein vollständiges Beispiel für zwei Oktanten, und zwar für West- und Ostwinde, enthält die Abbildung 6. Die mittlere Beziehung zeigt eine überraschend geringe Streuung der einzelnen Monatswerte von ± 3—4 cm,

wobei die größere Streuung zu den größeren Windgeschwindigkeiten gehört. Die mittlere Beziehung besagt, daß z. B. bei 5 m/sec Wind aus W im Monatsmittel der Wasserstand um 31 cm höher als bei Wind Null ist. Umgekehrt erzeugt ein Ostwind eine Wasserstandserniedrigung, die aber nicht spiegelbildlich zur Wasserstandserhöhung bei Westwind verläuft. Bei Ostwind 5 m/sec beträgt die Erniedrigung nur 26 cm.

Die Streuung von $\pm 3-4$ cm, die auch im Nordost- und Südwest-Oktanten gilt und $\pm 4-5$ cm in den übrigen Oktanten erreicht, kann bestimmte Ursachen haben. Der Wasserstand des Vormonats wird Einfluß auf den Wasserstand des betrachteten Monats haben. Der Stau-effekt, der hier unabhängig von der Jahreszeit angesetzt wurde, wird einen jährlichen Gang

Tabelle 2
Mittlere Windverhältnisse im Raum mit den Eckpunkten
Kopenhagen—Utrecht—Bergen im Monats- und Jahresmittel
für die einzelnen Jahre 1849—1950
Schwerpunkt in 56° N, 8° E
R: Richtung in Grad, woher der Wind kommt; V: Geschwindigkeit in m/sec

Monate	R	V	R	V	R	V	R	V	R	V	R	V	R	V								
Jahr	1849	1850	1851	1852	1853	1854	1855	1856	1857	1858	1859											
I	271	3,1	173	1,3	202	7,3	233	7,5	206	4,8	207	5,8	291	2,7	205	3,3	97	1,8	249	5,6	253	8,9
II	271	8,8	277	9,1	252	3,5	276	4,1	48	3,3	288	8,5	120	2,6	285	3,1	214	5,3	147	4,3	255	5,4
III	281	3,1	302	4,5	264	0,8	334	1,7	130	1,6	281	4,2	208	0,8	65	1,0	166	2,9	270	5,5	261	7,0
IV	71	4,6	295	7,3	38	1,6	38	0,6	218	0,6	289	2,6	277	2,7	145	0,7	122	2,2	312	1,6	292	1,2
V	81	3,2	211	1,2	313	1,8	319	0,4	94	2,5	127	0,5	186	1,3	77	1,2	109	2,3	252	1,8	93	2,9
VI	253	5,0	260	2,4	264	4,9	202	1,4	353	0,7	237	0,7	228	1,4	255	3,6	279	1,1	294	0,8	178	1,6
VII	256	2,9	339	1,7	258	2,0	38	1,6	244	2,5	274	1,0	266	0,6	253	3,8	247	4,7	320	1,8	265	2,1
VIII	260	3,8	253	3,4	263	1,9	61	1,2	287	2,1	268	2,8	257	3,6	246	1,8	90	1,0	52	0,6	230	2,8
IX	105	1,7	276	0,6	11	1,1	284	0,9	250	1,9	270	4,8	285	2,3	206	3,0	202	1,5	217	3,5	222	3,5
X	210	1,3	275	2,0	236	3,8	335	0,6	197	4,0	226	3,8	237	4,8	187	2,1	198	2,7	221	5,4	176	2,6
XI	3	1,3	259	5,8	346	2,6	202	3,5	190	2,9	305	2,1	139	1,6	318	3,5	166	2,8	27	0,2	214	1,9
XII	61	4,3	265	5,5	289	4,2	243	5,3	129	2,2	267	7,8	225	3,7	306	3,7	251	7,4	196	5,1	203	3,4
Jahr	281	1,2	273	3,4	259	2,0	252	1,4	189	1,0	267	3,2	237	1,6	258	1,4	203	1,8	232	2,0	238	2,7

Monate	R	V	R	V	R	V	R	V	R	V	R	V	R	V								
Jahr	1860	1861	1862	1863	1864	1865	1866	1867	1868	1869	1870											
I	209	3,3	312	1,8	226	2,1	235	7,8	195	5,9	229	3,7	244	7,4	36	1,1	236	3,7	210	5,2	231	2,3
II	287	3,4	240	1,9	191	0,4	251	6,9	208	1,7	166	3,2	259	4,4	265	5,6	267	8,9	251	6,4	175	4,0
III	226	2,8	280	3,6	135	2,8	312	0,9	208	2,0	117	1,0	114	1,9	101	2,7	252	4,6	80	1,9	334	0,8
IV	111	1,3	355	4,6	241	3,1	239	2,6	284	1,2	213	1,9	71	0,6	300	3,9	297	2,2	211	1,9	258	3,3
V	289	1,0	313	3,7	170	2,4	240	2,1	146	0,3	204	2,9	332	0,4	90	2,2	213	2,5	302	0,6	278	3,2
VI	218	2,4	38	1,4	282	2,3	218	0,6	232	3,3	330	3,6	180	1,2	327	3,3	261	2,6	313	4,0	295	3,0
VII	7	3,4	230	2,2	253	4,1	299	3,2	279	1,8	237	2,1	326	3,4	324	2,5	344	0,6	274	2,3	278	1,1
VIII	259	1,1	262	5,2	226	1,4	247	2,7	304	3,8	296	0,9	258	1,4	232	2,1	218	2,6	304	3,4	2	3,2
IX	250	0,9	270	2,0	190	2,2	231	5,5	225	3,8	241	2,1	205	3,8	248	2,8	335	1,2	254	4,1	266	2,6
X	248	3,9	177	3,7	232	7,3	202	4,0	59	0,2	159	1,7	157	3,6	244	3,1	248	3,7	286	3,3	288	1,8
XI	93	3,4	266	3,9	160	3,5	233	5,5	188	3,7	210	3,3	291	5,6	312	5,5	281	1,6	278	5,3	235	2,0
XII	93	3,9	260	2,3	240	5,8	275	7,2	195	5,2	234	4,0	276	5,4	295	3,1	241	3,1	204	2,6	127	0,8
Jahr	234	0,6	276	2,0	220	2,5	245	3,7	218	2,2	219	1,8	254	2,1	290	1,8	256	2,8	261	2,5	265	1,4

Monate	R	V	R	V	R	V	R	V	R	V	R	V	R	V								
Jahr	1871	1872	1873	1874	1875	1876	1877	1878	1879	1880	1881											
I	181	3,9	197	7,0	215	6,2	252	8,6	247	3,1	222	3,5	217	4,1	293	3,9	122	2,1	280	4,1	284	0,5
II	253	3,5	170	5,9	302	1,2	239	2,6	108	2,0	310	2,2	277	4,9	282	5,1	90	0,0	223	5,6	110	2,6
III	226	4,9	205	1,3	133	3,1	282	4,8	343	2,0	263	3,5	225	2,0	311	6,5	218	1,2	229	1,8	248	2,6
IV	337	1,1	293	1,0	25	2,0	244	2,3	321	3,4	205	1,8	92	2,1	114	2,2	72	2,3	195	1,5	118	1,7
V	332	3,0	229	2,0	325	2,8	48	0,4	249	2,7	322	1,8	261	0,2	206	2,1	285	0,8	302	1,2	244	0,9
VI	15	2,3	212	0,7	264	1,2	299	2,2	231	2,6	250	0,5	234	2,9	286	1,1	247	2,1	299	0,2	313	2,9
VII	242	3,1	207	1,1	227	2,5	241	2,3	127	0,0	285	3,4	268	2,6	329	4,2	293	2,0	259	2,0	267	3,4
VIII	243	2,6	261	0,5	242	3,7	260	3,6	243	2,2	218	3,3	254	1,1	127	0,2	234	2,3	99	1,0	260	3,4
IX	66	1,2	264	4,2	252	4,0	241	4,1	260	1,6	270	2,4	302	2,7	253	3,8	218	3,6	234	1,7	78	1,6
X	191	3,5	198	4,1	240	5,1	226	6,2	124	2,1	190	2,3	248	4,5	221	3,4	288	3,7	340	2,5	48	1,3
XI	270	0,4	209	3,1	275	2,3	277	2,0	99	1,8	103	2,3	231	6,4	73	0,7	334	3,3	256	5,0	231	6,5
XII	265	5,1	166	3,0	268	7,7	341	1,3	275	3,4	142	4,4	231	3,9	319	2,3	248	4,3	286	5,9	215	4,8
Jahr	245	1,6	204	2,4	251	2,4	254	3,0	255	0,9	231	1,4	244	2,5	285	1,9	263	1,2	258	2,1	242	1,4

Monate	R	V	R	V	R	V	R	V	R	V	R	V	R	V								
Jahr	1882	1883	1884	1885	1886	1887	1888	1889	1890	1891	1892											
I	246	6,0	204	3,9	269	7,9	187	3,2	218	3,3	207	5,7	270	3,2	252	3,6	234	6,7	281	3,1	259	3,7
II	266	6,2	209	4,5	201	3,4	209	7,1	144	3,2	219	4,9	65	1,7	322	4,9	130	1,8	256	3,1	263	0,8
III	257	6,0	14	1,2	174	3,0	296	3,2	173	2,6	298	1,8	104	1,9	278	2,3	238	3,4	278	2,4	143	1,4
IV	165	2,2	116	1,4	129	3,1	21	0,2	200	2,3	319	1,9	270	0,2	87	1,3	320	0,3	71	2,8	307	1,2
V	253	0,4	294	1,3	258	2,9	221	1,7	229	1,2	329	1,1	269	3,4	133	3,9	60	1,2	163	1,4	291	1,2
VI	270	1,0	341	0,7	324	2,7	296	2,0	293	1,4	331	3,7	112	0,4	47	1,1	287	2,9	52	1,3	297	2,1
VII	245	1,9	294	2,1	237	1,4	315	2,0	257	2,7	258	2,8	293	2,0	311	2,6	251	3,2	267	1,2	294	2,0
VIII	303	3,6	275	3,3	162	1,3	328	2,8	238	2,6	271	2,3	255	2,5	260	3,5	241	2,1	265	2,6	246	3,2
IX	144	1,1	210	1,0	205	2,9	246	3,2	250	2,2	253	1,9	230	0,9	307	2,4	245	2,5	231	4,8	223	4,6
X	139	3,7	240	3,4	284	4,5	234	1,1	150	4,8	307	4,1	272	4,4	146	3,1	289	5,5	193	5,0	187	1,8
XI	225	1,1	237	4,7	252	2,1	191	3,3	236	3,0	192	2,2	214	4,1	254	3,5	187	1,3	179	2,6	190	4,6
XII	151	2,6	297	4,5	244	4,3	270	6,7	249	3,4	278	4,0	224	4,1	215	4,9	128	3,7	244	6,4	289	3,6
Jahr	241	1,8	252	1,8	238	2,2	245	2,1	212	2,1	266	2,1	249	1,5	258	1,3	244	1,8	238	1,9	247	1,7

Monate	R	V	R	V	R	V	R	V	R	V	R	V	R	V								
Jahr	1893	1894	1895	1896	1897	1898	1899	1900	1901	1902	1903											
I	236	1,8	219	5,8	94	2,5	274	4,8	108	2,3	260	6,2	256	3,7	218	2,6	229	3,8	286	7,0	232	5,5
II	224	3,2	262	7,5	14	3,6	258	3,2	244	3,9	259	5,1	222	2,8	145	1,8	299	1,7	173	3,5	265	8,7
III	280	5,6	228	4,0	252	2,6	259	3,7	232	2,4	348	1,3	286	3,8	62	0,5	150	2,7	256	3,3	217	8,1
IV	322	1,6	127	3,4	241	2,0	282	3,5	167	1,1	139	1,6	242	2,1	270	1,9	214	2,2	153	2,2	320	3,6
V	31	0,8	218	0	56	1,2	341	3,8	247	0,8	231	0,8	23	0,5	209	1,5	77	0,9	312	3,5	218	0,3
VI	306	1,4	328	3,1	303	1,2	305	1,1	193	0,7	281	1,2	338	1,6	170	0,9	274	2,1	27	0,6	0	1,3
VII	256	1,3	228	1,3	275	2,8	298	1,6	303	2,9	313	4,8	288	1,0	259	1,6	90	0,4	296	4,0	264	2,2
VIII	279	2,6	261	3,2	254	2,8	289	2,3	207	2,5	224	2,8	334	2,4	194	0,9	268	2,8	286	2,2	265	4,4
IX	261	4,3	354	2,6	264	2,9	205	2,7	262	3,5	262	2,5	266	2,9	267	3,2	148	3,0	268	1,6	183	2,1
X	253	4,7	50	0,6	268	3,0	194	3,7	209	3,0	157	3,3	247	4,6	262	4,1	226	2,3	230	2,0	220	3,3
XI	289	2,6	218	5,1	198	4,7	251	1,4	250	2,7	197	3,4	264	6,2	159	4,7	308	4,8	161	4,5	276	4,0
XII	235	6,9	253	4,6	232	1,8	167	3,1	224	4,5	264	8,1	152	1,7	239	5,9	231	3,5	249	2,4	154	4,0
Jahr	261	2,6	245	2,3	255	1,3	260	2,0	235	1,9	254	2,5	265	2,2	227	1,8	238	1,4	254	1,7	244	2,9

Monate	R	V	R	V	R	V	R	V	R	V	R	V	R	V
Jahr	1904	1905	1906	1907	1908	1909	1910	1911	1912	1913	1914			
I	219 5,4	269 5,3	252 5,6	281 5,0	265 5,4	249 5,6	261 4,9	276 3,8	176 2,6	168 4,7	273 4,0			
II	168 0,5	264 5,3	235 4,9	270 4,7	283 6,4	299 1,3	218 6,5	285 6,5	190 3,2	249 3,7	218 7,1			
III	142 3,1	190 4,6	300 6,0	272 4,9	154 2,9	116 2,5	250 2,3	127 1,4	211 4,7	239 6,2	243 2,7			
IV	245 4,2	281 1,3	226 1,1	147 1,2	225 1,3	260 1,4	251 2,7	288 2,8	301 1,8	186 1,1	251 3,0			
V	223 1,9	261 0,7	182 1,6	218 0,6	255 1,0	240 1,3	139 0,9	139 1,6	277 2,9	168 1,9	281 1,6			
VI	299 2,4	131 1,5	327 3,6	240 3,0	292 1,1	328 1,9	339 0,1	262 1,6	226 1,3	277 2,6	334 1,0			
VII	260 1,5	306 3,4	268 1,9	305 3,5	294 1,8	290 4,1	314 2,2	310 1,8	160 2,0	333 3,3	307 0,8			
VIII	287 3,5	247 1,5	286 3,1	271 4,8	290 3,2	265 3,0	280 2,0	282 1,0	260 2,3	320 2,7	301 1,6			
IX	157 2,0	255 1,8	325 1,8	237 2,2	231 2,8	315 0,6	321 2,2	265 3,0	322 2,2	141 1,9	292 3,2			
X	251 2,8	323 4,9	194 4,8	175 3,7	154 2,8	217 6,3	152 2,4	218 0,6	217 2,6	194 2,9	84 1,6			
XI	295 4,8	193 2,3	267 2,4	181 3,6	240 4,0	298 3,5	254 2,0	221 3,8	265 4,6	246 5,7	239 3,0			
XII	272 4,5	255 5,0	253 3,6	193 2,7	202 4,1	222 3,5	214 3,2	199 4,8	249 8,1	297 7,0	211 4,9			
Jahr	246 2,2	259 2,3	261 2,6	247 2,4	245 2,1	255 2,1	242 1,9	254 2,0	239 2,3	247 2,2	248 2,2			

Monate	R	V	R	V	R	V	R	V	R	V	R	V	R	V
Jahr	1915	1916	1917	1918	1919	1920	1921	1922	1923	1924	1925			
I	257 1,0	267 8,9	91 2,7	268 5,0	176 3,8	244 6,3	269 7,6	168 1,7	269 6,9	201 3,3	253 6,1			
II	186 4,5	204 3,3	252 1,7	246 4,9	75 0,9	246 6,5	264 1,7	219 3,8	159 6,4	286 2,2	222 4,8			
III	309 2,4	129 2,9	169 0,9	151 2,7	201 2,3	222 5,2	231 7,1	299 1,6	134 3,9	226 1,4	309 3,4			
IV	244 2,9	211 1,7	281 3,2	88 3,2	280 2,4	218 2,2	69 0,5	188 0,8	125 3,8	270 1,2	189 1,8			
V	57 0,9	270 0,3	134 5,2	131 2,3	108 1,7	222 3,3	203 2,6	268 4,0	234 2,8	189 2,4	168 2,5			
VI	348 0,9	247 2,7	180 2,2	297 3,9	297 3,8	300 1,1	331 4,5	275 2,0	307 6,0	269 2,3	323 3,3			
VII	275 2,8	311 2,8	329 1,6	287 1,8	320 2,3	235 2,9	285 2,3	270 2,8	260 2,2	262 2,0	75 0,7			
VIII	310 2,4	323 3,1	195 2,7	276 2,6	280 4,7	307 2,1	252 2,3	256 2,7	274 4,0	226 2,0	290 2,7			
IX	331 1,4	292 0,6	259 5,5	248 4,6	231 4,8	236 1,6	247 2,8	251 1,2	242 4,4	224 4,0	283 3,7			
X	104 3,1	236 4,1	234 5,5	212 4,1	285 0,7	140 4,3	270 4,0	91 1,3	244 5,9	188 3,3	276 3,0			
XI	307 1,9	213 4,7	275 6,0	204 3,6	170 2,0	200 5,6	146 1,2	184 5,2	254 3,5	218 2,6	325 0,9			
XII	243 1,0	203 2,2	280 4,1	258 3,3	241 3,4	165 3,1	272 6,8	250 4,5	270 2,8	215 7,7	276 3,9			
Jahr	270 0,9	244 2,1	248 2,0	241 2,2	249 1,5	222 2,8	262 2,9	254 2,1	242 2,6	225 2,6	266 2,2			

Monate	R	V	R	V	R	V	R	V	R	V	R	V	R	V
Jahr	1926	1927	1928	1929	1930	1931	1932	1933	1934	1935	1936			
I	195 3,2	236 5,4	229 7,1	127 0,3	215 7,7	271 3,9	235 7,8	197 4,8	229 7,5	288 3,0	225 3,5			
II	177 3,8	215 2,6	235 5,9	145 5,4	112 2,9	207 4,8	347 2,9	258 3,0	283 7,2	264 5,6	141 1,9			
III	267 4,0	204 2,2	150 6,0	295 3,2	227 3,2	26 1,4	188 2,0	200 3,4	188 3,9	188 2,1	142 2,5			
IV	156 1,7	294 4,9	150 3,0	285 0,7	117 3,0	177 1,0	215 2,8	289 2,5	155 4,0	280 0,8	339 2,8			
V	262 0,6	315 2,7	55 1,1	190 2,4	218 0,6	173 1,8	148 0,7	38 0,2	251 2,8	90 1,5	84 3,0			
VI	297 1,1	265 2,3	270 3,5	264 2,9	182 2,6	265 2,7	313 1,5	105 0,2	320 0,6	220 2,2	164 0,5			
VII	328 1,9	3 1,1	264 4,8	264 2,0	292 1,7	246 2,6	233 1,7	265 2,5	320 2,8	306 4,1	218 2,9			
VIII	276 3,0	239 1,6	276 2,5	220 4,7	250 2,2	322 1,0	266 1,2	256 3,0	227 2,5	221 1,0	252 2,3			
IX	252 2,6	227 3,3	253 2,3	234 3,2	134 0,8	328 4,0	242 4,2	86 1,2	200 3,8	251 4,5	131 1,5			
X	309 2,4	270 4,2	230 3,4	238 5,2	249 4,2	271 4,4	256 1,9	213 1,3	259 5,3	245 6,0	287 4,5			
XI	197 5,0	197 1,7	278 3,6	203 6,3	272 4,8	182 0,2	224 4,1	104 2,0	245 1,8	180 4,5	222 2,0			
XII	301 5,4	106 3,9	231 2,6	216 7,7	193 4,2	286 6,2	209 5,6	71 0,5	168 5,1	193 2,4	242 7,6			
Jahr	252 1,8	246 1,8	235 2,6	222 2,8	216 2,1	254 2,1	234 2,4	230 1,2	231 2,7	243 2,1	226 1,4			

Monate	R	V	R	V	R	V	R	V	R	V	R	V	R	V	R	V						
Jahr	1937		1938		1939		1940		1941		1942		1943		1944		1945		1946		1947	
I	172	7,5	259	5,7	193	1,7	131	1,4	114	4,3	131	1,5	211	3,4	278	8,6	320	1,8	220	3,8	156	3,3
II	241	2,8	256	3,0	251	6,0	154	2,5	172	1,6	16	0,7	271	8,3	318	2,7	251	6,0	302	6,6	115	7,7
III	84	1,6	274	7,1	127	0,3	283	2,7	0	0,6	146	3,2	218	2,6	315	5,7	304	5,6	119	1,4	151	0,4
IV	90	1,7	331	5,4	262	1,4	169	3,2	108	1,9	155	2,2	275	6,0	258	1,7	306	2,8	267	3,2	248	5,3
V	150	0,8	229	1,0	94	1,7	74	1,8	11	1,0	266	1,3	214	1,9	316	3,1	202	1,5	84	2,5	121	3,3
VI	259	2,4	261	4,1	259	1,2	357	1,5	320	1,8	307	3,1	296	2,8	275	2,0	267	3,4	243	3,2	256	1,4
VII	310	2,6	227	2,1	242	2,2	272	2,1	265	0,7	297	2,6	297	2,7	292	1,0	318	2,4	246	2,2	284	1,3
VIII	352	1,2	0	0,5	127	1,0	304	4,9	272	3,4	211	2,4	294	3,3	218	1,6	332	2,4	232	2,0	30	2,0
IX	245	2,9	205	2,0	31	1,2	271	4,8	324	2,0	233	3,4	241	2,4	243	2,9	242	1,8	239	3,9	243	3,2
X	173	2,4	243	4,8	92	4,1	153	3,0	325	3,0	249	4,6	195	4,4	177	2,4	289	2,9	67	1,9	189	1,4
XI	327	1,4	230	6,7	224	5,7	253	3,7	165	4,3	311	4,2	270	2,6	283	2,5	45	0,4	193	3,9	289	4,8
XII	82	2,0	173	4,5	251	1,4	281	2,2	286	6,9	237	5,0	262	2,6	224	3,6	249	1,6	177	4,2	326	4,0
Jahr	199	0,8	250	3,0	224	1,1	254	1,1	277	0,7	245	1,7	256	3,0	276	2,4	286	2,3	236	1,7	218	0,7

Monate	R	V	R	V	R	V
Jahr	1948		1949		1950	
I	223	2,3	264	7,4	201	2,3
II	227	0,8	271	6,6	246	4,0
III	276	3,6	307	0,6	258	3,9
IV	217	2,5	265	4,7	254	2,8
V	48	0,5	301	1,2	29	0,3
VI	245	1,1	317	3,8	254	2,8
VII	279	1,5	323	3,5	283	1,4
VIII	273	2,6	276	2,6	207	2,0
IX	267	4,6	166	2,1	250	5,2
X	247	4,6	228	3,9	236	3,5
XI	256	4,4	195	2,8	212	1,5
XII	214	5,2	260	6,8	212	1,6
Jahr	249	2,5	265	3,1	243	2,4

aufweisen, da die tangentielle Schubkraft des Windes und damit der Stauwert von der Stabilität der untersten Luftschichten abhängt, die einen jährlichen Gang zeigt. Es ist auch daran zu denken, daß der „kleine Wasserkreislauf-Effekt“, also Abfluß-Verdunstung-Niederschlag, einen Jahresgang aufweisen kann, der in die dargestellte Beziehung der Abbildung 6 eingeht. Ferner ist zu beachten, daß der Gezeiteneffekt der langperiodischen Tiden ($\frac{1}{2}$ -, 1, und 18,6-jährige Tiden) darin enthalten ist. Einen großen Einfluß auf die Streuung der Monatsmittel dürfte aber die Eigenart des Windfeldes selbst ausmachen. Es sei daran erinnert, daß die resultierenden monatlichen Winde aus den Luftdrücken an den Eckpunkten des Dreiecks Bergen—Utrecht—Kopenhagen bestimmt wurden, also aus einem großen Dreieck, in dem kleinräumige Luftdrucklagen mehrere Tage bestehen können, die nur unzureichend von den Eckpunkten des Dreiecks erfaßt werden. Es ist eigentlich erstaunlich, daß diese inneren Vorgänge im Dreieck und die übrigen unberücksichtigten Einflüsse nicht Anlaß zu größeren Streuungen in Abbildung 6 geben.

Beziehungen zwischen Wind und Stau, wie sie am Beispiel von zwei Oktanten in Abbildung 6 wiedergegeben werden, wurden für alle Oktanten abgeleitet. Die erzielten Ergebnisse lassen sich in einer geschlossenen Darstellung zusammenfassen (Abb. 7). Der Windrose 0—360 Grad sind konzentrische Kreise überlagert, die die Windgeschwindigkeit im Monatsmittel in m/sec darstellen, bezogen auf das Stationsdreieck Bergen—Utrecht—Kopenhagen. Die jeweiligen Stauwerte wurden auf den entsprechenden Mittellinien der Oktanten in Abständen von 5 zu 5 cm aufgetragen. Gleiche Stauwerte sind untereinander verbunden, und zwar ausgezogen dort, wo sie durch Beobachtungen hinreichend belegt sind, gestrichelt, wo die Grundlage lückenhaft erscheint. Man erkennt in dieser Darstellung die Zuordnung von Wind- und Stauwert im Monatsmittel. Westliche Winde erzeugen einen positiven, östliche Winde im Falle von Esbjerg einen negativen Stau. Bei NNW und SSO liegen die kritischen Windrichtungen, bei denen der Wind praktisch keinen Einfluß auf den Wasserstand hat.

Das Staudiagramm in Abbildung 7 ist ein statistisches Ergebnis und gilt nur für Monatsmittel. Diese Einschränkung sei ausdrücklich hervorgehoben. Im Einzelfall treten bei gleichen Windgeschwindigkeiten wesentlich geringere Stauwerte auf. W. F. SCHALKWIJK (28) gibt für

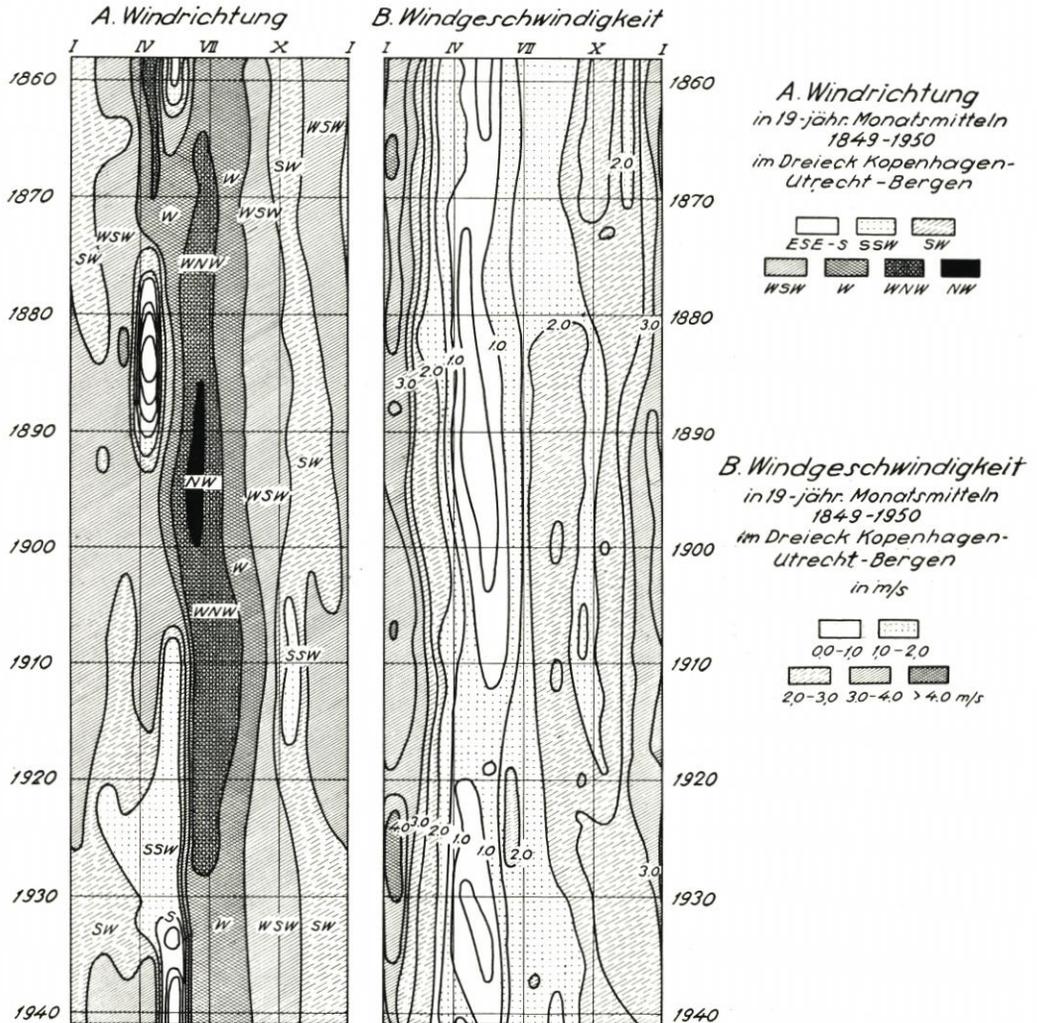


Abb. 5. Richtung und Geschwindigkeit des Windes in übergreifenden 19jährigen Monatsmitteln 1849—1950 im Dreieck Kopenhagen—Utrecht—Bergen

die östliche Nordsee z. B. bei 7 m/sec Windgeschwindigkeit maximal 19 cm Stau an, das Diagramm 7 dagegen 42 cm. Ein Grund für die Abweichungen liegt in den verschiedenen Windverhältnissen, von denen ausgegangen wird. Im Einzelfall wird ein homogenes Windfeld betrachtet, in dem nach SCHALKWIJK der Ausschnitt über der südlichen Nordsee etwa südlich 56° N den Ausschlag gibt. Monatsmittel des Windes für die östliche Nordsee, wie sie hier in der statistischen Betrachtung zugrunde gelegt werden, weichen wenig von denen der westlichen Nordsee, selbst von denen der westschottischen Gewässer ab. Das Einflußgebiet wird also westwärts bis über den schottischen Schelf ausgedehnt. Nur so ist es verständlich, daß z. B. bei den Pegeln von Aberdeen und Dunbar westliche Winde, d. h. ablandige Winde, im Monatsmittel eine Wasserstandserhöhung hervorrufen, die bei Aberdeen nach N. W. ALLISON (2) etwa 50 v. H. der Erhöhung bei Esbjerg beträgt.

Ein anderer Grund für die Abweichungen kann darin gesehen werden, daß in Abbildung 7 das vektorielle Monatsmittel des Windes mit dem skalaren Mittel des Wasserstandes in Beziehung gesetzt wird. Im Einzelfall werden in beiden Fällen skalare Werte verwendet. Da

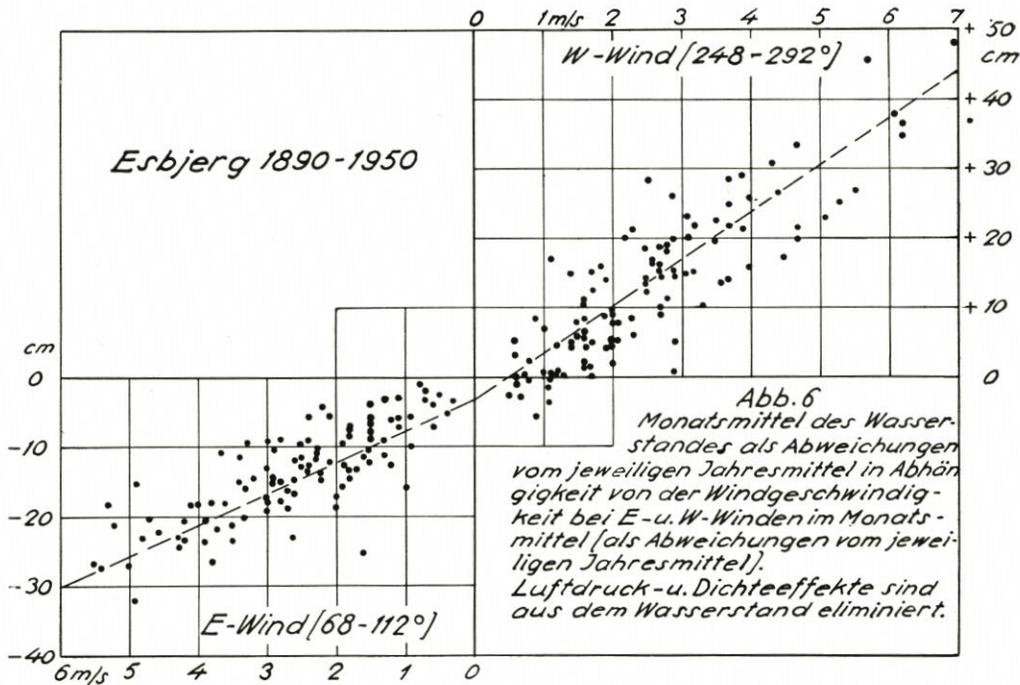


Abb. 6. Monatsmittel des Wasserstandes in Abhängigkeit von den Monatsmitteln der Windgeschwindigkeit bei E- und W-Winden (Beide Mittel als Abweichungen vom jeweiligen Jahresmittel und nach Eliminierung von Luftdruck- und Dichteeffekten auf den Wasserstand verwendet.)

außerdem der Windstau angenähert mit dem Quadrat der Windgeschwindigkeit zunimmt, tragen die Zeiten mit höheren Windgeschwindigkeiten zu sehr hohen Stauwerten bei. Alle diese Gründe deuten darauf, daß die statistische Beziehung zwischen Monatsmitteln des Windes und des Wasserstandes nicht mit der Beziehung bei Einzelfällen vergleichbar ist.

Das Staudiagramm in Abbildung 7 gibt die Möglichkeit, den Windeinfluß aus den Monatsmitteln der Wasserstände zu eliminieren, am einfachsten, wenn man die Wasserstände auf den Wind Null bezieht. Als Beispiel ist der Jahrgang des Wasserstandes von Esbjerg 1948 bis 1950 (Abb. 8) herausgegriffen und der Anteil der verschiedenen Effekte getrennt angegeben. Der Kurvenverlauf A stellt die beobachteten Monatsmittel dar, B den Windeffekt (nach Abb. 6), bezogen auf Wind Null unter Zugrundelegung des resultierenden mittleren Monatswindes im Dreieck Bergen—Utrecht—Kopenhagen, C den Dichteeffekt (nach Abb. 3 c), bezogen auf den mittleren Dichteaufbau des Meerwassers in der Nordsee, und D den Luftdruckeffekt nach dem Luftdruck von Kopenhagen.

Im Jahrgang des Wasserstandes gibt der Stau effekt den Ausschlag. Die absolute Schwankungsbreite des Stau effekt in den Einzeljahren 1851—1950 beträgt 70 cm, gegenüber 15,7 cm des Dichteeffektes und 28,8 cm des Luftdruckeffektes im gleichen Zeitraum. Die mittlere Schwankungsbreite der Einzeljahre beträgt beim Stau effekt 43,9 cm, beim Dichteeffekt 13,4 cm und beim Luftdruckeffekt 15,2 cm. Trotz der beherrschenden Rolle, die der Stau effekt einnimmt, bleiben Luftdruck- und Dichteeffekt größer als der verbleibende Rest E in Abbildung 8. In diesem Rest kommt die Streuung zum Ausdruck, die den Beziehungen für die drei Effekte anhaftet. Sie beträgt für die Monatsmittel insgesamt ± 5 cm, was in Übereinstimmung zur Streuung der Einzeleffekte steht: Stau effekt ± 4 cm, Dichteeffekt $\pm 1,5$ cm, Luftdruckeffekt $< \pm 1$ cm. Wenn die Monatsmittel des Wasserstandes bis auf eine Streuung von ± 5 cm von den ozeanographisch-meteorologischen Effekten befreit werden können, dann verbleibt für Jahresmittel nur noch eine Streuung von $\pm 1,5$ cm.

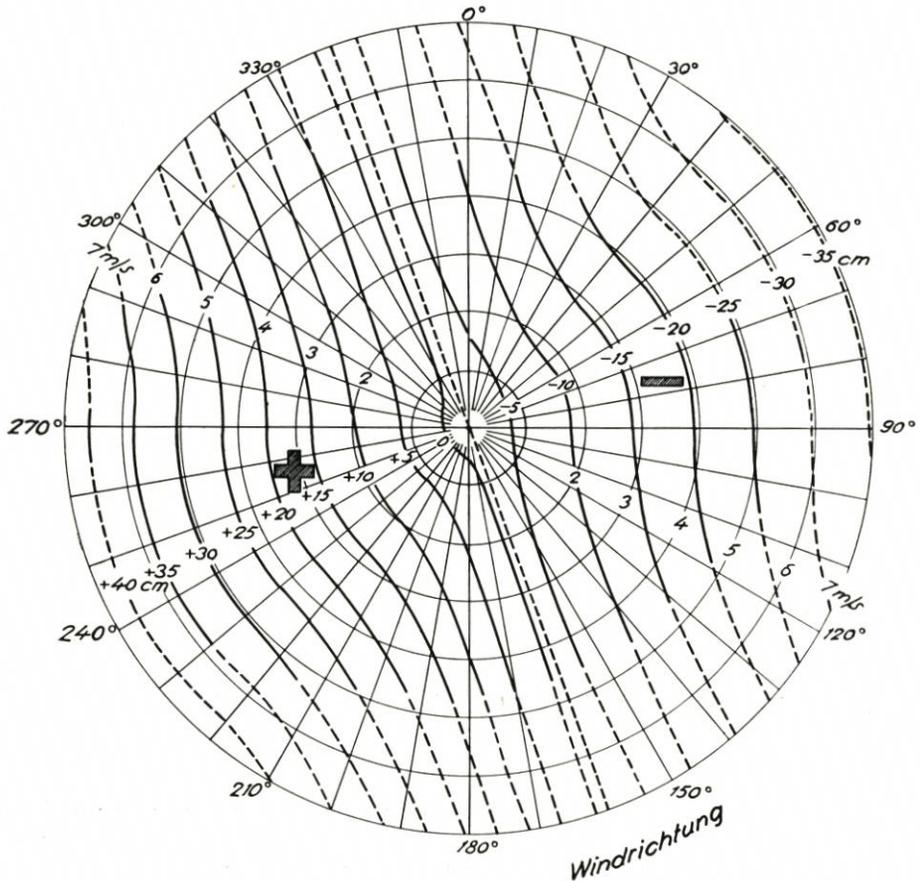


Abb. 7. Monatsmittel des Wasserstandes von Esbjerg in Abhängigkeit von den Monatsmitteln des Windes (Beide Mittel als Abweichungen vom jeweiligen Jahresmittel und nach Eliminierung von Luftdruck- und Dichteeffekt.) Berücksichtigter Zeitraum 1890—1950

d) Ozeanographisch-meteorologische Einflüsse auf langjährige Wasserstandsänderungen und auf den Jahrgang des Wasserstandes

In dieser statistisch-physikalischen Analyse der Wasserstandsänderungen ist die Streuung der einzelnen Effekte besonders zu beachten. In der Streuung kommen die Grenzen der Brauchbarkeit der Analyse zum Ausdruck, in ihr sind auch die Grenzen gegeben, die einer sinnvollen Auslegung der Beobachtungen gesetzt sind. Am Anfang wurde die Streuung der beobachteten Monatsmittel des Wasserstandes von Esbjerg mit ± 16 cm, der Jahresmittel mit $\pm 4,7$ cm angegeben. Nach Eliminierung der ozeanographisch-meteorologischen Effekte bleibt noch eine Streuung von ± 5 cm für die Monatsmittel und $\pm 1,5$ cm für die Jahresmittel. Braucht man bei unreduzierten Jahresmitteln 22jährige Mittel, um ihre Streuung auf ± 1 cm herabzusetzen, so sind es nach der Reduktion nur drei Jahre. Eine Reduktion in der angegebenen Form hat demnach einen doppelten Vorzug. Man setzt die Streuung der Jahresmittel herab und erreicht damit, daß systematische Wasserstandsänderungen, die außerhalb des Einflusses von Luftdruck, Dichte und Wind liegen, in wenigen Jahren erkennbar werden. Außerdem kann man den Anteil von Luftdruck-, Dichte- und Staueffekten einzeln und insgesamt an langjährigen Änderungen des Wasserstandes verfolgen.

Am Beispiel von Esbjerg sind die verschiedenen Anteile an den einzelnen Jahresmitteln 1890 bis 1950 in Tabelle 3 zusammengestellt. Ferner enthält Abbildung 9 die übergreifenden

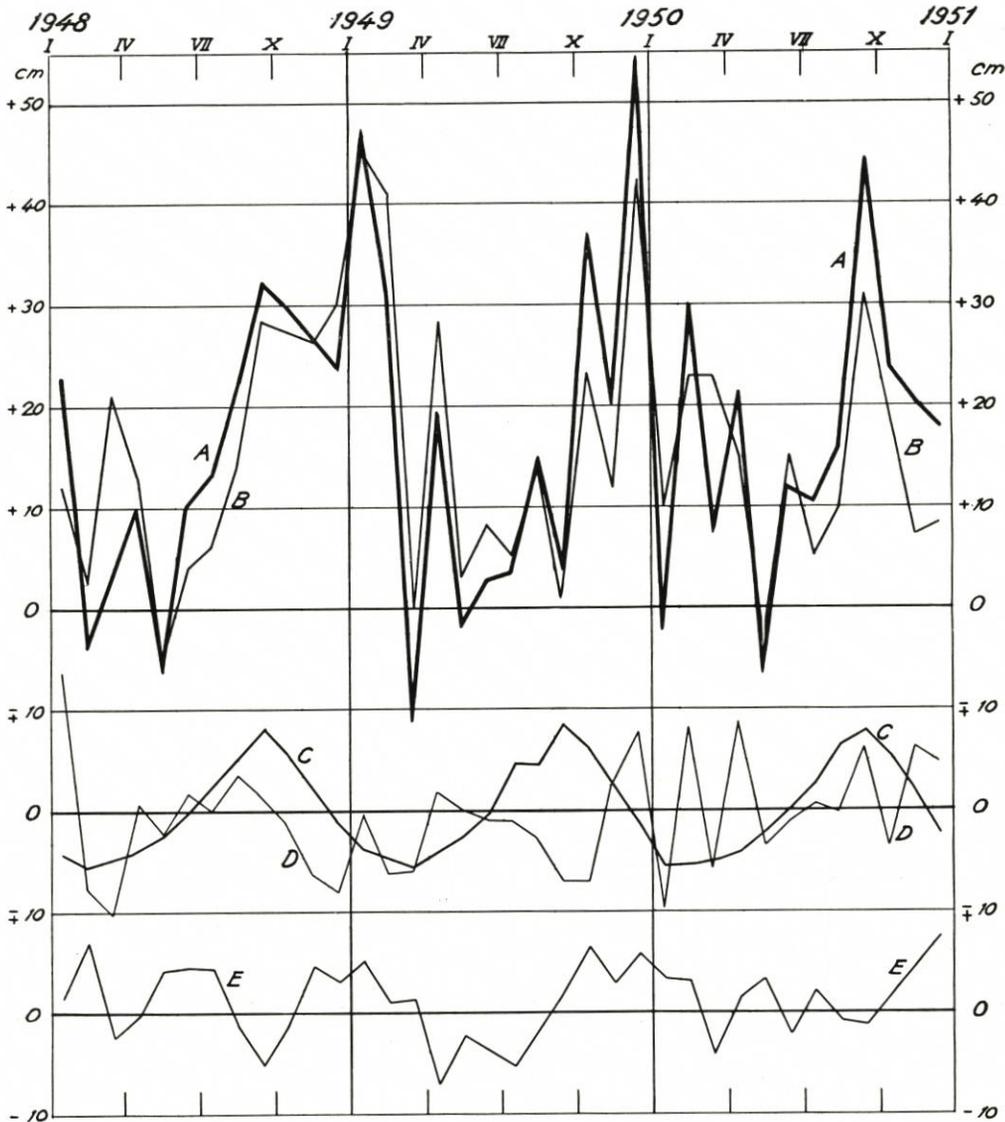


Abb. 8. Beispiel für die ozeanographisch-meteorologischen Anteile am Jahrgang des Wasserstandes von Esbjerg 1948—1950

- A. Monatsmittel des Wasserstandes nach den Pegelbeobachtungen.
- B. Windeffekt, bezogen auf Wind Null.
- C. Dichteeffekt, bezogen auf mittlere Wasserdichte, 1906—1938.
- D. Luftdruckeffekt, bezogen auf 1013,6 mb Normaldruck.
- E. Rest. $E = A - (B + C + D)$.

neunzehnjährigen Jahresmittel des Wasserstandes und der einzelnen Anteile. In der Tabelle wie in der Abbildung wurden die ozeanographisch-meteorologischen Anteile seit 1849 mitaufgenommen. Die Spalte A in Tabelle 3 gibt die beobachteten Jahresmittel an, B zeigt den Anteil des Staueffectes, bezogen auf Wind Null und bestimmt aus den zwölf Monatswerten, C gibt den Anteil des Dichteeffectes an, der ebenfalls aus Monatsmittelwerten bestimmt ist. Spalte D enthält den Luftdruckeffect und E den verbleibenden Rest $A - (B + C + D) = E$. Die Bezeichnungen der neunzehnjährigen Mittel der einzelnen Anteile in Abbildung 9 wurden entsprechend

gewählt. Der Rest E zeigt einen Anstieg von $7,0 \pm 0,2$ cm in der Zeit von 1890 bis 1950, d. h. von $1,14 \pm 0,28$ mm/Jahr. Hierbei handelt es sich um eine systematische Wasserstandsänderung, die auf eine Wirkung der eustatisch-geologischen Effekte zurückgeführt werden muß. Es ist augenscheinlich, daß ohne Reduktion nur wesentlich unsicherere Angaben über systematische Wasserstandsänderungen gemacht werden können.

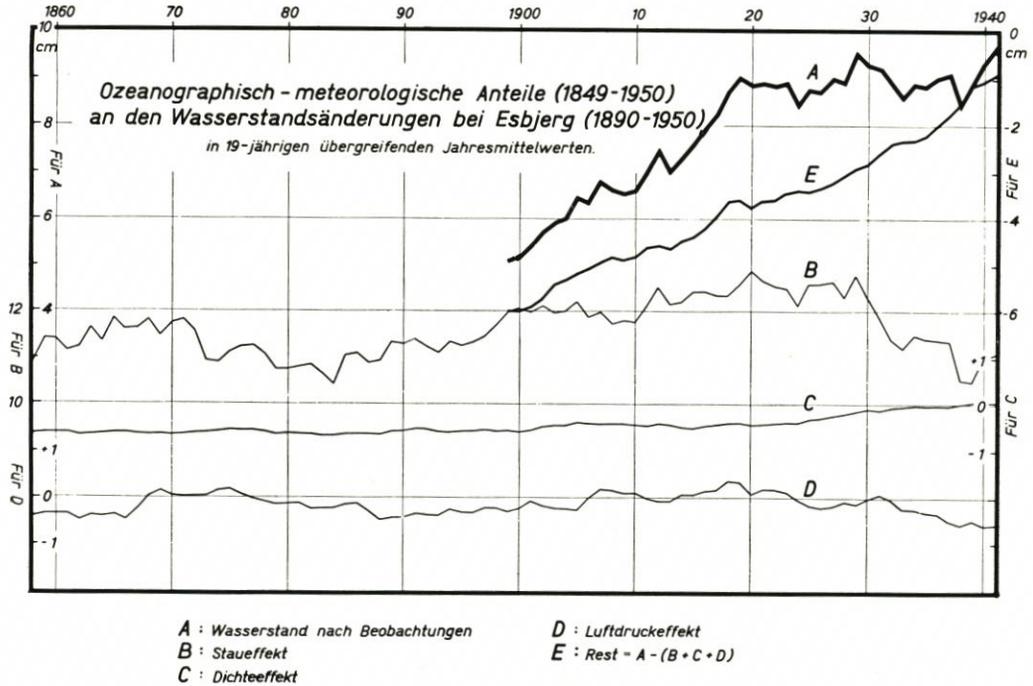


Abb. 9. Ozeanographisch-meteorologische Anteile (1849—1950) an den Wasserstandsänderungen bei Esbjerg (1890—1950) in 19jährigen übergreifenden Jahresmittelwerten

Es hat also gewisse Vorzüge, die systematischen Änderungen der Jahresmittel des Wasserstandes dann zu verfolgen, wenn die ozeanographisch-meteorologischen Einflüsse eliminiert sind. Ähnlich kann man vorgehen, wenn man die systematischen Änderungen im Jahrgang des Wasserstandes betrachtet, wie sie J. GAYE (16) in der Ostsee nachgewiesen hat und die auch bei Esbjerg existieren. Die übergreifenden neunzehnjährigen Monatsmittel in Isoplethendarstellung zeigen deutlich Änderungen im Jahrgang (Abb. 10). Das Jahresminimum ist verhältnismäßig stabil, aber das Maximum unterliegt stärkeren Änderungen. Vor 1920 gab es zwei Maxima, eins im August, das andere im Dezember. Nach 1920 sind beide Maxima zu einem einzigen im Oktober verschmolzen. Es gibt ferner Monate, in denen der Wasserstand langjährig besonders stark gestiegen ist, z. B. im Juli um 10 cm von 1900 bis 1940, im Oktober um 15 cm von 1913 bis 1925. Andererseits gibt es Monate, die einen Abfall zeigen, z. B. der Dezember um 7 cm von 1917 bis 1929.

All diese eigentümlichen Änderungen im Jahrgang lassen sich, abgesehen von dem systematischen Anstieg von $1,14$ mm/Jahr, innerhalb einer bestimmten Streuung auf die Wirkung ozeanographisch-meteorologischer Einflüsse zurückführen. Die Streuung der einzelnen Monatsmittel nach Eliminierung der Luftdruck-, Dichte- und Stauwirkungen betrug ± 5 cm. Im neunzehnjährigen Monatsmittel bleibt die Streuung des Dichteeffektes von $\pm 1,5$ cm voll erhalten, während die Streuung der übrigen Effekte von rund ± 4 cm sich entsprechend des Fehlerfortpflanzungsgesetzes auf rund ± 1 cm vermindert. Dies besagt, daß der Jahrgang mit all seinen eigentümlichen Wandlungen bis auf einen Streuwert von etwa $\pm 2,5$ cm im neunzehn-

jährigen Monatsmittel und bis auf den systematischen Anstieg des Wasserstandes von $1,14 \pm 0,28$ mm/Jahr vollständig aus den ozeanographisch-meteorologischen Einflüssen erklärt werden kann.

Tabelle 3
Ozeanographisch-meteorologische Anteile (1849—1950) an den
Jahresmitteln des Wasserstandes in mm
von Esbjerg (1890—1950)

- A. Jahresmittel des Wasserstandes nach Pegelbeobachtungen, bezogen auf dänisches NN.
B. Stau effekt, bezogen auf Wind Null.
C. Dichteeffekt, bezogen auf mittlere Wasserdichte 1906—1938.
D. Luftdruckeffekt, bezogen auf 1013,6 mb Normaldruck.
E. Rest. $E = A - (B + C + D)$.

Jahr	A	B	C	D	E
1849		+ 73	— 8	— 5	
1850		159	— 8	+ 6	
51		117	— 7	— 6	
52		85	— 1	+ 9	
53		32	— 8	— 4	
54		198	— 7	+ 5	
55		86	— 7	— 6	
56		93	— 10	+ 3	
57		73	— 1	— 42	
58		118	— 5	— 30	
59		162	— 3	— 1	
1860		18	— 10	+ 17	
61		106	— 6	+ 1	
62		123	— 9	— 10	
63		228	— 4	— 2	
64		118	— 10	— 26	
65		87	— 6	— 20	
66		123	— 6	+ 23	
67		82	— 12	+ 11	
68		163	— 1	+ 4	
69		156	— 7	+ 8	
1870		75	— 9	— 9	
71		97	— 11	— 13	
72		107	— 2	+ 14	
73		146	— 4	+ 3	
74		199	— 6	+ 1	
75		30	— 8	— 20	
76		77	— 7	+ 5	
77		151	— 8	+ 20	
78		97	— 2	+ 23	
79		66	— 16	— 2	
1880		121	— 3	— 6	
81		77	— 15	— 10	
82		105	— 1	0	

Jahr	A	B	C	D	E
1883		+ 112	— 2	— 3	
84		130	— 4	— 16	
85		145	— 11	+ 4	
86		86	— 6	— 6	
87		129	— 10	— 11	
88		94	— 17	— 5	
89		74	— 4	— 5	
1890	+ 42	108	— 6	— 8	— 52
91	46	114	— 7	— 11	— 50
92	23	109	— 12	+ 4	— 78
93	82	158	— 6	+ 1	— 71
94	80	146	— 1	— 2	— 63
95	26	86	— 6	+ 8	— 62
96	33	114	— 7	— 14	— 60
97	39	103	— 4	— 11	— 49
98	88	144	— 4	+ 3	— 55
99	78	115	— 4	+ 1	— 34
1900	32	93	— 5	+ 5	— 61
01	— 2	76	— 2	— 6	— 70
02	+ 4	88	— 14	— 6	— 64
03	142	177	— 8	+ 10	— 37
04	50	126	— 3	— 8	— 65
05	46	101	— 5	— 6	— 44
06	77	151	— 3	+ 6	— 77
07	58	144	— 7	— 5	— 74
08	18	120	— 6	— 22	— 74
09	62	122	— 12	+ 7	— 55
1910	92	104	+ 1	+ 19	— 32
11	81	132	+ 2	— 14	— 39
12	119	132	— 2	+ 8	— 19
13	101	151	— 1	— 6	— 43
14	105	127	+ 7	+ 5	— 34
15	12	50	— 9	+ 16	— 45
16	124	125	— 6	+ 26	— 21
17	55	96	— 5	— 2	— 34
18	66	125	— 5	— 10	— 44
19	41	90	— 8	+ 7	— 48
1920	79	140	— 7	— 29	— 25
21	87	165	— 4	— 20	— 54
22	53	107	— 15	+ 11	— 50
23	108	135	— 11	+ 18	— 34
24	102	144	— 7	— 6	— 29
25	143	151	+ 3	+ 19	— 30
26	109	128	+ 1	+ 4	— 24
27	116	120	— 2	+ 13	— 15
28	117	167	— 6	+ 3	— 47
29	64	157	— 10	— 30	— 53

Jahr	A	B	C	D	E
1930	+ 92	+ 91	+ 4	+ 7	- 10
31	104	116	- 3	+ 6	- 15
32	115	141	+ 5	- 17	- 14
33	9	55	+ 6	- 26	- 26
34	83	137	+ 5	- 8	-
35	114	132	+ 1	+ 16	- 35
36	104	105	+ 4	+ 6	- 11
37	53	57	+ 2	+ 7	- 13
38	161	179	+ 4	- 5	- 17
39	34	46	+ 2	- 3	- 11
1940	73	88	- 8	- 5	- 2
41	- 10	19	- 6	- 9	- 14
42	+ 48	97	- 6	- 19	- 24
43	157	195	- 1	- 9	- 28
44	137	139	+ 1	+ 8	- 11
45	141	123	+ 1	- 2	+ 19
46	126	114	- 2	- 13	+ 27
47	11	6	0	- 17	0
48	154	150	0	- 13	+ 17
49	184	187	+ 3	- 13	+ 7
1950	161	135	- 1	+ 11	+ 16

3. Geologisch-eustatisch bedingte Wasserstandsänderungen

Es konnte gezeigt werden, daß in den Wasserständen von Esbjerg nach Ausschaltung der ozeanographisch-meteorologischen Einflüsse ein eindeutiger, relativ gleichförmiger Anstieg von 1,14 mm/Jahr in den letzten 61 Jahren enthalten ist. Bei der Frage nach den Ursachen dieser Erscheinung bleibt es unentschieden, wie weit die Wasserstandsänderungen auf geologische Vorgänge, also auf Senkung des Festlandes oder auf eustatische Vorgänge, d. h. Hebung des Meeresspiegels zurückgeführt werden können. Die Untersuchung eines einzigen Pegels kann diese Frage nicht beantworten. Da aber der eustatische Effekt gleichmäßig auf der ganzen Erde wirkt, können Ergebnisse, die seine Ermittlung betreffen, hier herangezogen werden.

Drei neuere Untersuchungen des eustatischen Effektes sind bekannt. Jede geht methodisch ihren eigenen Weg, aber leider kommen sie zu keinen übereinstimmenden Ergebnissen. S. THORARINSSON (33) bestimmt aus dem allgemeinen Gletscherrückgang in den Jahrzehnten vor 1940 einen Verlust von 37 cm Wassersäule/Jahr in den vergletscherten Gebieten, ohne Berücksichtigung von Grönland und der Antarktis. Diese Schmelzwassermenge müßte zu einem eustatischen Anstieg des Meeresspiegels von 0,5 mm/Jahr beitragen. Hierbei kann es sich nur um einen unteren Grenzwert handeln; denn die in Rechnung gesetzten vergletscherten Gebiete machen mit 0,449 Mill. qkm nur 2,97 v. H. des gesamten vergletscherten Gebietes der Erde mit 15,099 Mill. qkm aus. Wenn das antarktische und grönländische Inlandeis dieselbe Abnahme von 37 cm/Jahr Schmelzwasserhöhe wie die übrigen Gebiete zeigen würde, dann betrüge der eustatische Anstieg des Meeres 15 mm/Jahr. Dieser Wert, gewissermaßen der obere Grenzwert nach Analogieschlüssen aus dem Verhalten der Gletscher außerhalb Grönlands und der Antarktis, wird mit Bestimmtheit gegenwärtig nicht erreicht. Ein solcher schneller Anstieg würde katastrophale Folgen für den Küstenschutz nach sich ziehen. Es sind noch ungelöste Probleme, welche Änderungen im Wasserhaushalt der großen Inlandeismassen vor sich gehen und warum offensichtlich das Inlandeis dem allgemeinen Abschmelzvorgang nicht im gleichen Umfange

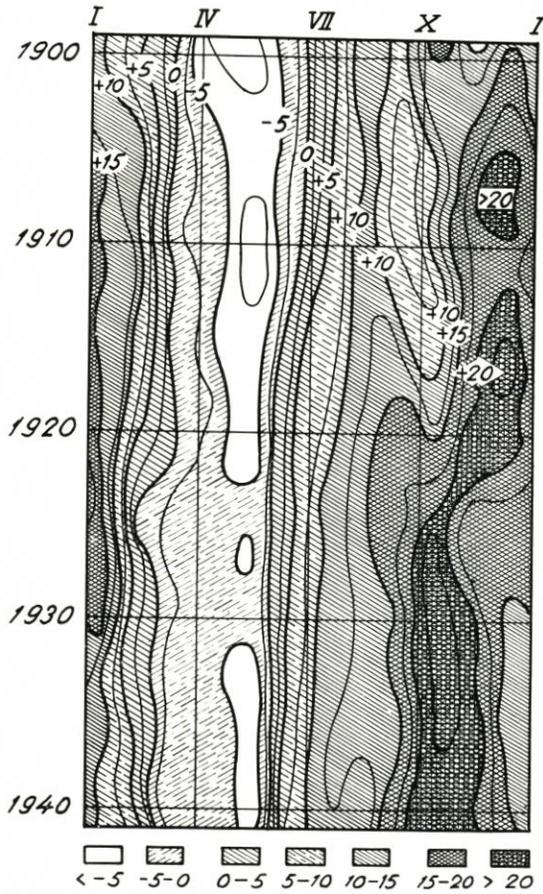


Abb. 10. Wasserstände von Esbjerg in cm (bezogen auf dänisches NN) in übergreifenden 19jährigen Monatsmitteln 1890—1950

europäische Mittelmeer. Auch sonst ist der eustatische Anstieg von 1,1 mm mit manchen Unsicherheiten belastet. 46 der 71 verwendeten Pegel liefern Beobachtungen von weniger als vierzig Jahren. Wir haben aber gesehen (Abb. 1), welche Unsicherheiten in die Angabe langjähriger Wasserstandsänderungen eingehen, wenn die Streuung durch die ozeanographisch-meteorologischen Effekte nicht eliminiert ist. Deshalb darf es nicht verwundern, daß, wenn man die Streuung der einzelnen Regionalwerte von GUTENBERG bestimmt, nur ein so unsicherer Anstiegswert von $1,1 \pm 0,8$ mm/Jahr für das Weltmeer herauskommt, der sich im wesentlichen auf Beobachtungen 1900 bis 1936 stützt.

Ein dritter Wert des eustatischen Anstiegs wird von J. EGEDAL (15) angegeben, nämlich 0,28 mm/Jahr im Zeitraum 1890 bis 1944. Die Untersuchung geht von der isostatischen Hebung Fennoskandiens aus und setzt voraus, daß längs einer Linie vom Kerngebiet der Hebung bei Ratan in Schweden an der Botten Wiek bis zum Außenrand des angenommenen Senkungsgebietes bei Biarritz in Südfrankreich ein subkrustaler Massenausgleich erfolgt. Da die beobachteten Senkungswerte südlich der wahrscheinlichen Kipplinie, die durch Dänemark von Nordwesten nach Südosten verläuft, nicht ausreichen, damit der Massenverlust dieses Gebietes dem Massenzuwachs innerhalb des Hebungsbereiches gleichkommt, wird ein eustatischer Effekt von 0,28 mm/Jahr gefordert. Die Größe dieses Wertes hängt sehr stark von den jewei-

unterliegt wie die übrigen Gletscher. Es läßt sich daher mit Hilfe dieser glaziologischen Methode keine genaue Aussage über den gegenwärtigen eustatischen Effekt machen. Die Angaben müssen sich darauf beschränken, daß der Anstieg des Meeresspiegels wahrscheinlich $> 0,5$ mm/Jahr und < 15 mm/Jahr ist. S. THORARINSSON neigt dazu, den Wert von 0,5 mm/Jahr als den wahrscheinlichen anzusehen, aber ein überzeugender Beweis steht dafür aus.

B. GUTENBERG (17) hat unabhängig und auf anderem Wege 1,1 mm/Jahr als eustatischen Anstieg bestimmt. Er geht von langjährigen Pegelaufzeichnungen aus verschiedenen Teilen der Erde aus, die aber außerhalb der Zonen des postglazialen Anstiegs von Fennoskandien und Nordamerika liegen. 22 Regionen mit insgesamt 71 Pegeln werden herangezogen. Die Methode hat den Vorzug, daß der Anteil der ozeanographisch-meteorologischen Einflüsse auf langjährige Wasserstandsänderungen nahezu herausfällt, indem verschiedene Regionen herangezogen werden. Ähnlich wie die regionalen Klimaänderungen bei Globalbetrachtungen sich aufheben, könnte man es hier hinsichtlich der Wasserstandsänderungen annehmen. Leider erlauben die Pegelbeobachtungen noch keine strengen Globalbetrachtungen, dafür sind sie zu ungleichmäßig verteilt; sieben von den 22 Regionen GUTENBERGS entfallen z. B. auf das euro-

ligen Voraussetzungen über den subkrustalen Massenausgleich ab, die bei dem gegenwärtigen Stand der Kenntnisse notgedrungen spekulativ bleiben müssen.

Eine kritische Betrachtung der verschiedenen Angaben der Größe des eustatischen Anstiegs lehrt, daß dieser Wert mit erheblichen Unsicherheiten behaftet ist. Am zuverlässigsten erscheint der Wert von GUTENBERG mit $1,1 \pm 0,8$ mm/Jahr. Der beobachtete Wasserstandsanstieg bei Esbjerg von $1,14 \pm 0,28$ mm/Jahr, wie er sich nach Ausschaltung der ozeanographisch-meteorologischen Einflüsse ergab, entspricht fast völlig dem eustatischen Anstieg des Weltmeeres nach GUTENBERG. Aber bei den möglichen systematischen Fehlern und der großen Streuung, die diesem eustatischen Anstiegswert anhaftet, ist heute auf Grund der Wasserstandsbeobachtungen eine eindeutige Aussage darüber unmöglich, wie weit Hebung des Meeresspiegels und wie weit Senkung des Festlandes an dem beobachteten Anstieg des Wassers bei Esbjerg beteiligt sind.

In diesem Zusammenhang sei zum Schluß auf die Notwendigkeit hingewiesen, die hinsichtlich einer Verbesserung unserer Kenntnisse über die Größe des eustatischen Effektes besteht. Eine solche Forderung tritt nicht nur für Esbjerg auf, sondern sie betrifft alle Küsten des Weltmeeres, da eustatische Wasserstandsänderungen weltweit wirken. Es dürfte heute möglich sein, nach sorgfältiger Bearbeitung langjähriger Pegelaufzeichnungen, die aus geologisch stabilen Gebieten stammen, wesentlich genauere Angaben über eustatische Änderungen als bisher zu machen, wenn die ozeanographisch-meteorologischen Einflüsse auf den Wasserstand eliminiert sind.

Schriftenverzeichnis

1. Association d'Océanographie Physique: Monthly and annual mean heights of sea-level. Publ. Sc. No. 5, No. 10. Liverpool 1940, 1947.
2. ALLISON, N. W.: An investigation into the causes of the annual variation of mean sea-level in the North-Sea. Month. Not. Roy. Astr. Soc., Geophys. Suppl. 5, 146—157. 1947.
3. BERGSTEN, F.: Metoder för bestämning av videns inflytande på havets vattenstånd och deras tillämpning vid landhöjnings-beräkningen. Meteorol.-Hydr. Anstalt. Medd. Ser. Uppr. Nr. 49. 1—22. 1945.
4. BÖHNECKE, G.: Temperatur, Salzgehalt und Dichte an der Oberfläche des Atlantischen Ozeans. Wiss. Erg. Deutsch. Atlant. Exp. „Meteor“. 5, Berlin 1936.
5. BÖHNECKE, G. u. DIETRICH, G.: Monatskarten der Oberflächentemperatur für die Nord- und Ostsee und die angrenzenden Gewässer. Deutsch. Hydr. Inst. Nr. 2336. 1951.
6. CLAYTON, H. H.: World Weather Records. Smith. Misc. Coll. 79, 90 u. 105. Washington 1927, 1934, 1947.
7. Dansk Meteorologisk Institut: Nautisk-Meteorologisk Aarbog. Kopenhagen 1878 ff.
8. Dansk Meteorologisk Institut: Meteorologisk Aarbog. Kopenhagen 1873 ff.
9. DIETRICH, G.: Das „ozeanische Nivellement“ und seine Anwendung auf die Golfküste und die atlantische Küste der Vereinigten Staaten von Amerika. Zeitschr. f. Geophysik, 12, 287—298. 1936.
10. DIETRICH, G.: Die Lage der Meeresoberfläche im Druckfeld von Ozean und Atmosphäre. Veröff. Inst. f. Meeresk. Berlin H. 33. 1937.
11. DIETRICH, G.: Der jährliche Gang der Temperatur und Salzgehaltsschichtung in den britischen Randmeeren und in der Nord- und Ostsee. Unveröff. Wiss. Ber. d. Deutsch. Hydr. Inst. Hamburg 1948.
12. DIETRICH, G.: Die natürlichen Regionen von Nord- und Ostsee auf hydrographischer Grundlage. Kieler Meerest. 7, 35—69. 1950.
13. DIETRICH, G.: Die anomale Jahresschwankung des Wärmeinhaltes im Englischen Kanal, ihre Ursachen und Auswirkungen. Deutsch. Hydr. Zeitschr. 3, 184—201. 1950.
14. DIETRICH, G., WYRTKI, K., CARRUTHERS, J. N., LAWFORDE, A. L. u. PARMENTER, H. C.: Windverhältnisse über den Meeren um die Britischen Inseln im Zeitraum 1900—1949. Dtsch. Hydrogr. Institut, 1952.
15. EGEDAL, J.: On the variations of the normal height of the sea-level round the Danish coasts. Appendix to the Naut.-Met. Annual 1945. Kopenhagen 1946.

16. GAYE, J.: Wasserstandsänderungen in der Ostsee in den letzten 100 Jahren. Schrift. Naturw. Verein Schleswig-Holstein **25**, 196—203. 1951.
17. GUTENBERG, B.: Changes in sea level, postglacial uplift, and mobility on the earth's interior. Bull. Geolog. Soc. of America. **52**, 721—772. 1941.
18. HELA, J.: A study of the annual fluctuation of the heights of sea-level in the Baltic and in the North-Sea. Soc. Sc. Fenn., Comm. Phys.-Math. **13**, No. 14, 1—51, Helsingfors 1947.
19. HELLAND-HANSEN, B.: The Sognefjord section. James Johnstone Mem. Vol. Liverpool 1934.
20. JACOBSEN, J. P.: The Atlantic Current through the Faroe-Shetland Channel and its influence on the hydrographical conditions in the northern part of the North Sea, the Norwegian Sea, and the Barents Sea. Cons. Perm. Int. p. l'Expl. d. l. Mer. Rapp. et Proc. Verb. **112**, 5—47. 1943.
21. Koninklijk Nederlandsch Meteorologisch Instituut: Annuaire Météorologie. s'Gravenhage 1852 ff.
22. KUENEN, PH. D.: Causes of eustatic movements. 6th Pacific Congr., Proc., **2**, 833—837. 1940.
23. LA FOND, E.: Variations of sea level on the Pacific coasts of the United States. Journ. Mar. Res. **2**, 17—29. 1939.
24. MONTGOMERY, R. B.: Fluctuations in monthly sealevel on eastern U.S. Coast as related to dynamics of western North Atlantic Ocean. Journ. Mar. Res. **1**, 165—185. 1938.
25. MODEL, F.: Gegenwärtige Küstenhebung im Ostseeraum. Mitt. Geogr. Ges. Hamburg. **49**, 64—115. 1950.
26. NOMITSU, T. u. M. OKAMOTO: The causes of the annual variation of the mean sea level along the japanese coast. Coll. of Sc. Kyoto Imp. Univ., Ser. A., **10**, No. 3. Kyoto 1927.
27. Norwegisches Meteorologisches Institut: Jahrbuch. Oslo 1874 ff.
28. SCHALKWIJK, W. F.: A contribution of the study of storm surges on the Dutch coast. Kon. Ned. Met. Inst. No. 125. Med. en Verh. Ser. B. Deel I, No. 7. 1947.
29. SCHOTT, C.: Die Westküste Schleswig-Holsteins. Probleme der Küstensenkung. Schrift. Geogr. Inst. Univ. Kiel **13**, H. 4, 1—34, Kiel 1950.
30. SCHUREMAN, P.: A manual of the harmonic analysis and prediction of tides. Coast a. Geod. Surv. Spec. Publ. 98. Washington 1924.
31. SHIMIZU, T.: On the variation of the monthly mean sea-level. Bull. Geogr. Surv. Inst. **2**, Pt. 1. 1—14, Chiba (Japan) 1950.
32. SVERDRUP, H. U.: Vereinfachtes Verfahren zur Berechnung der Druck- und Massenverteilung im Meere. Geophys. Publ. **10**. 1933.
33. THORARINSSON, S.: Present glacier shrinkage and eustatic changes of sea level. Geogr. Ann. **12**, 131—159. 1940.
34. TOMCZAK, G.: Zur Frage des Luftdruckeinflusses auf den Wasserstand. Deutsch. Hydr. Zeitschr. **2**, 130—133. 1949.
35. TSUBOI, CH.: Deformations of the earth's crust as disclosed by geodetic measurements. Gerlands Beitr. z. Geophysik. 4. Suppl. Bd. Erg. d. kosm. Physik 106—168, Leipzig 1939.

Bemerkenswerte Veränderungen am Großen Vogelsand in der Außenelbe seit der Jahrhundertwende¹⁾

Von W ulff Niebuhr

Abbildung 1 gibt die Form und Lage des Großen Vogelsandes nach einer Peilung aus dem Jahre 1905 (gestrichelt) wieder. Eingetragen sind die 6-m-Tiefenlinien. Die beiden Mündungsarme der Elbe nördlich und südlich des Großen Vogelsandes verliefen damals etwa Nordwest zu Südost. Das Lüchter Loch war damals nicht entwickelt, jedenfalls waren die Wassertiefen

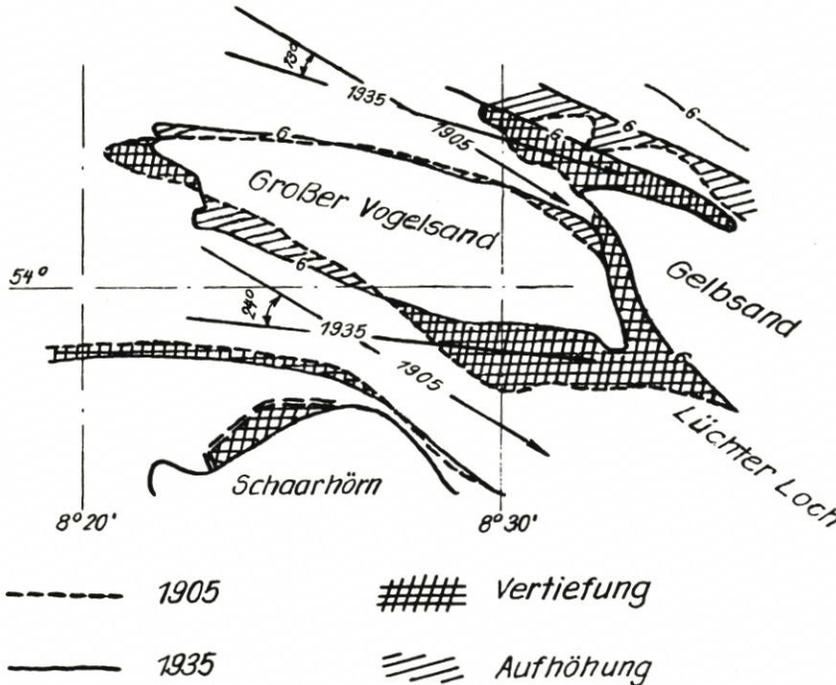


Abb. 1. Die Veränderungen des Großen Vogelsandes in der Zeit von 1905 bis 1935

zwischen dem Großen Vogelsand und dem Gelbsand geringer als 6 m. Vergleichsweise wurde in dieselbe Abbildung auch die 6-m-Tiefenlinie nach der Peilung aus dem Jahre 1935 (ausgezogen) eingetragen. In der Zeit von 1905 bis 1935 sind folgende bemerkenswerte Veränderungen eingetreten.

1. Die nördliche Wattkante vor Schaarhörn ist etwa 300 m nach Süden zurückgewichen. Gleichzeitig weist die Insel Schaarhörn auf der Nordseite entsprechenden Landverlust auf.
2. Der Große Vogelsand hat in seinem südöstlichen Teil einen Gebietsstreifen bis zu 1500 m Breite verloren. In der westlichen Hälfte der Südseite ist dagegen eine Verbreiterung festzustellen, während die Westspitze selbst zurückgegangen ist.
3. Zwischen dem Großen Vogelsand und Gelbsand hat sich eine Spaltrinne (Lüchter Loch genannt) mit Tiefen über 6,00 m unter KN²⁾ und Breiten zwischen 300 bis 800 m gebildet.

¹⁾ Dieser Aufsatz bildet eine Ergänzung zu dem in Heft 1/1952 der „Küste“ erschienenen Aufsatz vom gleichen Verfasser: „Über die neuere Entwicklung der Außenems und ihre vermutlichen Ursachen.“

²⁾ KN = Kartennull.

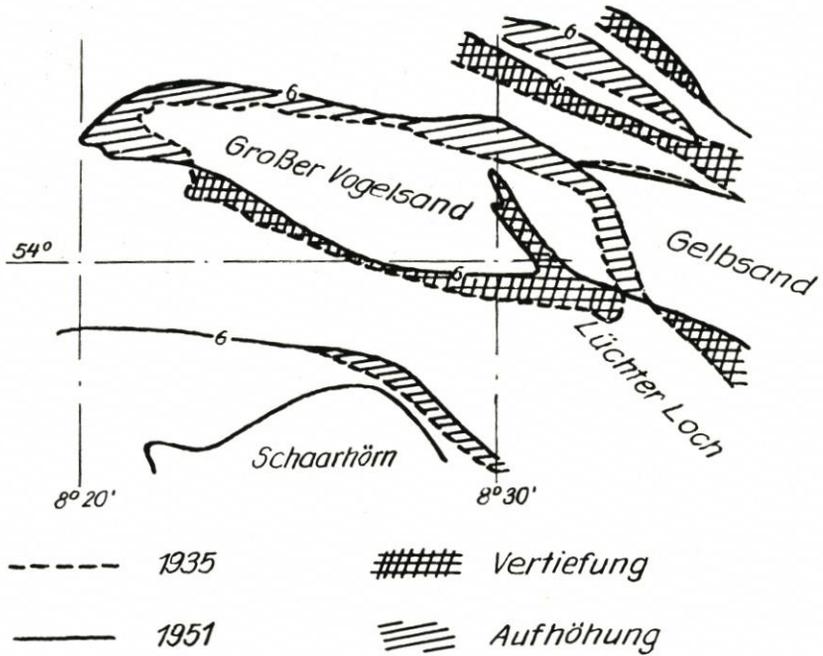


Abb. 2. Die Veränderungen des Großen Vogelsandes in der Zeit von 1935 bis 1951.

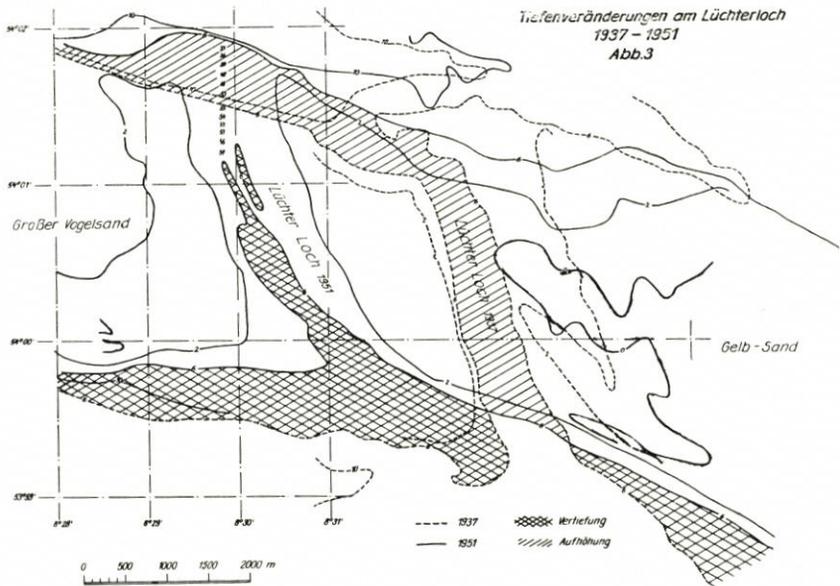


Abb. 3. Die Tiefenveränderungen am Lüchterloch in der Zeit von 1937 bis 1951.

4. Das Flutgat nördlich des Großen Vogelsandes hat sich vertieft und nach Norden verlagert.

Die genannten Veränderungen lassen eine Schwenkung der Mündungsarme um etwa 20 Grad entgegengesetzt dem Uhrzeigersinn in der Zeit von 1905 bis 1935 erkennen. Aus dieser Verlagerung kann auf eine entsprechende Veränderung der Hauptströmungsrichtung geschlossen werden.

In der Zeit von 1935 bis 1951 (vgl. Abb. 2) hat sich die aufgezeigte Entwicklung im Grundsatz fortgesetzt, insbesondere hat der Große Vogelsand an der Südostseite weiter abgenommen, gleichzeitig aber nach Norden zugenommen. Das nördliche Flutgat hat sich noch weiter nach Norden verlagert und auch vertieft. Die Spaltrinne (Lüchter Loch) hat sich beträchtlich nach Westen verlagert und ist gleichzeitig flacher geworden. Die 6-m-Tiefenlinie erreicht nicht mehr das nördliche Gat.

Im einzelnen sind die Veränderungen zwischen dem Großen Vogelsand und Gelbsand seit 1935 auf Abbildung 3 dargestellt. Die Verlagerung des Lüchter Loches nach Westen beträgt in der Mitte mehr als 2 km. Der Gelbsand hat sich entsprechend nach Westen ausgedehnt, während der Vogelsand um das gleiche Maß abgenommen hat. Der Scheitel des zwischen dem Gat nördlich des Vogelsandes und dem jetzigen Lüchter Loch befindlichen Sattels liegt nur noch 3,6 m unter KN.

Im Mündungsgebiet der Ems haben sich seit der Zeit der Jahrhundertwende Hubert-Gat, Wester-Ems und Oster-Ems ebenfalls verlagert. Es wurde dort eine Schwenkung des Hubert-Gats um rund 28 Grad (1900—1948) festgestellt. Weniger ausgeprägt, doch in gleichem Sinne, haben sich auch die Wester-Ems und die Oster-Ems verlagert. Die an der Außenelbe, d. h. im Gebiet des Großen Vogelsandes, eingetretenen Veränderungen sind somit grundsätzlich ähnlich denen der Außenems, zumindest liegen sie in der gleichen Richtung. Die Vermutung, daß die Ursachen für die Veränderungen in den Mündungsgebieten an der deutschen Nordseeküste nicht in den Flußsystemen selber liegen können, sondern übergeordneter Natur sind, scheint sich zu bestätigen. Bei der Ems konnte eine auffällige Parallelität zwischen der Schwenkung der Mündungsarme und der Veränderung der mittleren Windrichtung festgestellt werden.

Eine selbsttätige Pegel-Spüleinrichtung

Von Otto R. Linke

Ein Teil der Schreibpegelanlagen im Nordseebereich leidet unter Verschlickung und Versandung der Schwimmerschächte, wodurch die einwandfreie Wasserstandsaufzeichnung beeinträchtigt wird. Die Schächte müssen von Zeit zu Zeit gereinigt werden, was meistens sehr umständlich ist; auch dann, wenn besondere Schlickfangeimer (LÜDERS 1951) eingebaut sind, bleibt die Reinigung zeitraubend. Der Gedanke, die Gezeiten für einen selbsttätigen Spülvorgang auszunutzen, geht auf Herrn Dr. K. LÜDERS zurück, der auch die Anregung zum Bau der unten beschriebenen Pegelspüleinrichtung gab¹⁾.

A. Der Grundgedanke

Das angewandte Verfahren ist sehr einfach. Bei Flut wird das Wasser in einem neben dem Pegelschacht angeordneten Spülschacht aufgesammelt, ein Sperrventil verhindert den Abfluß des Wassers während der Ebbe, und erst kurz vor Tnw wird das Sperrventil wieder geöffnet. Das aufgestaute Wasser schießt in den Schwimmerschacht, rührt hier abgelagerten Schlick und Sand auf und fließt damit beladen ins Außenwasser ab.

Eine solche selbsttätige Pegelspüleinrichtung muß ohne jede Wartung arbeiten können. Gegenüber Treibgut, wie Algen, Quallen, Holz und anderem, sowie gegenüber Anwuchs von Miesmuscheln und Seepocken, sowie auch gegen leichten Eisgang und schweren Seegang muß die Anlage unempfindlich sein. Da sie im Seewasser bei ständigem Luftzutritt arbeitet, ist die Rost- und Korrosionsgefahr groß. Dazu kommt noch die starke Verschmutzung durch Schlick und Sand. Es scheiden damit von vornherein alle empfindlichen Steuerorgane, wie Schiebe- und Rückschlagventile, Umlaufhähne, Federn, Sperrklinken usw. aus. Es kommen nur einfachste, grobmechanische Steuerorgane in Betracht, im vorliegenden Spülgerät zwei Hebel und eine Sperreinrichtung für das Fallgewicht. Auch das Sperrventil muß den rauen Arbeitsbedingungen angepaßt sein, von ihm wird vor allem Korrosionsfestigkeit und Unempfindlichkeit gegen Verschmutzung gefordert. Das Eindringen des Spülwassers in den Schwimmerschacht muß plötzlich und in voller Stärke einsetzen, um eine möglichst große Spülwirkung zu erreichen. Die nachfolgend beschriebene und in der Praxis ausprobierte Pegelspüleinrichtung erfüllt die angeführten Bedingungen in jeder Hinsicht (Abb. 1).

B. Die technische Ausführung

Neben dem Schwimmerschacht P (vgl. schemat. Zeichnung Abb. 1) wird ein Spülschacht S von 30 bis 40 cm lichter Weite und 3 m Länge angebracht. Der Spülschacht endet unten in ein Spülrohr SR, das tangential und etwas schräg nach unten gerichtet in den Schwimmerschacht mündet. Nach Auslösung des Spülmechanismus wird im Schwimmerschacht eine stark wirbelnde, kreisförmige Wasserbewegung erzielt, die den abgelagerten Schlick und Sand kräftig aufwirbelt und mit dem Wasserausfluß aus dem Schwimmerschacht entfernt.

An der Einmündung des Spülrohres SR in den Spülschacht S befindet sich ein großes Sperrventil V. Kugel- und Tellerventile haben sich beide gut bewährt. Als Kugelventile eignen sich sehr gut die gummiüberzogenen Eisenhohlkugeln, wie sie in Baustellenpumpen verwendet werden. Das Kugelventil hat bei einer lichten Weite des Spülrohres SR von 10 cm einen Durchmesser von 15 cm und drückt gegen einen entsprechend ausgehöhlten Ring, der auf dem konisch ausgearbeiteten Ende des Spülschachtes fest aufsitzt. Durch das Führungsrohr R¹

¹⁾ Herrn Dr. K. LÜDERS und W. DEHARDE danke ich für ihre Anregungen und Mitarbeit.

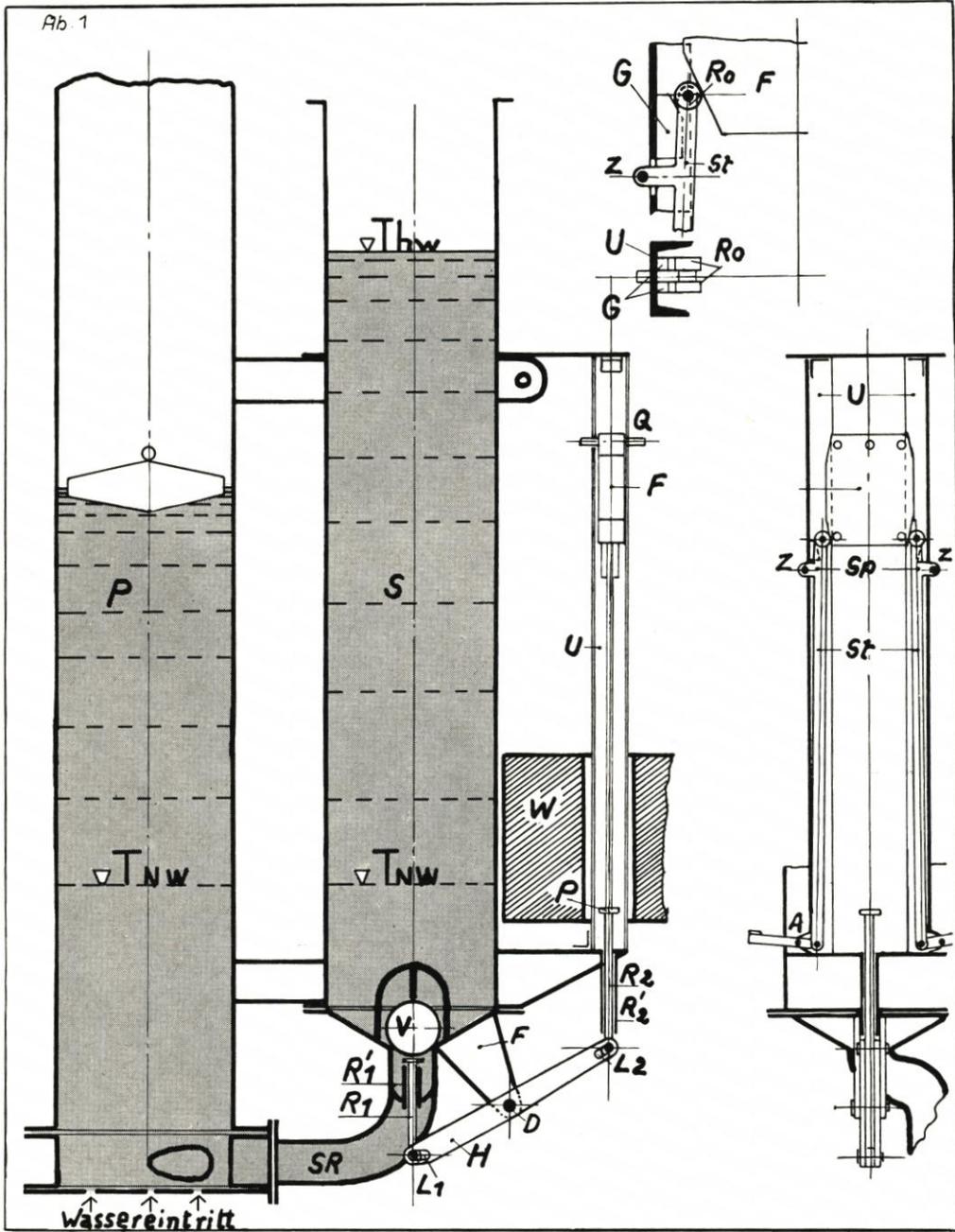


Abb. 1. Die Pegelspüleinrichtung (schematisch)

wird das mit einer Platte oben abgeschlossene Ventilanheberrohr R1 aus dem Spülrohr SR nach unten herausgeführt. R1 läuft mit einem Zapfen in einem Langschlitzloch L1 des Hebels H, der am Halter F bei D drehbar festgemacht ist. Am anderen Ende von H greift mit einem Zapfen in das Langschlitzloch L2 das untere Ende des Stoßrohres R2 ein, dessen oberes Ende

eine kleine Platte P trägt, die den Stoß des Fallgewichtes F aufnimmt. Das Rohr R2 wird in dem etwas weiteren Rohr R'2 geführt.

Außen am Spülschacht sind in etwa 20 bis 25 cm Abstand zwei U-Träger U durch Querstangen am oberen und unteren Ende angebracht. Die U-Träger kehren einander ihre Öffnungen zu. Zwischen den U-Trägern gleitet ein etwa 25 kg schweres eisernes Fallgewicht W, das seine Führung durch die U-Ausführung der Träger erhält. Um die beiden U-Träger herum liegt der Schwimmer W, der seine Führung durch die U-Träger bekommt und mit Flut und Ebbe an diesen auf- und absteigt. Das Fallgewicht trägt oben eine Querstange Q. Steigt der Schwimmer während der Flut nach oben, kommt Q auf den Schwimmer zu liegen, der das Fallgewicht mit nach oben nimmt.

An den U-Trägern ist ferner eine Sperrvorrichtung Sp angebracht. Sie besteht aus der etwa 1,5 m langen Stange St, deren oberes Ende zwischen zwei Gleitbahnen hindurchläuft, die von der Innenwand des U-Trägers vorspringen. Die oberen und unteren Seiten der Gleitbahn G sind abgeschrägt. Die Steuerstange St läuft mit zwei Rollen Ro auf der oberen Schrägseite der Gleitbahn etwa 2 bis 3 cm hin und her. Das Fallgewicht ist an den oberen und unteren Seiten, die in den U-Trägern laufen, leicht abgeschrägt. Steigt das Fallgewicht mit dem Schwimmer nach oben, wird die Steuerstange St auf der oberen Schrägfläche der Gleitbahn gegen die innere Wand des U-Trägers gedrückt, und das Fallgewicht kann die Sperre nach oben frei durchlaufen. Sobald das Fallgewicht an der Sperre vorbei ist, rollt die Steuerstange durch ihr eigenes Gewicht auf den Schrägseiten der Gleitbahn abwärts. Dadurch werden die Steuerstangenrollen an das freie Ende der Gleitbahn gebracht. Die Gleitbahnen ragen aus dem U-Träger gerade so weit hervor, daß das Fallgewicht durchlaufen kann. Bei abwärts gerollten Steuerstangen versperren die über die Gleitbahn hervorstehenden Rollen der Steuerstangen dem Fallgewicht den Weg, sobald dieses mit der Ebbe von oben an die Sperre kommt. Das Fallgewicht bleibt an der Sperre hängen, während der Schwimmer mit dem Fallen des Wassers weiter absinkt. Um zu verhindern, daß die Steuerstange aus den Gleitbahnen heraus schlägt, trägt die Steuerstange einen kleinen seitlichen Ansatz, der in einem Schlitz des U-Trägers läuft und mit dem Querszapfen Z die Steuerstange sichert. Durch entsprechende Abschrägung des oberen Teiles der Gleitbahn und der unteren Seite des Fallgewichtes, die beide miteinander einen sehr spitzen Winkel bilden, ist ein Abdrücken der Steuerstangenrollen nach oben durch das Fallgewicht auch bei starkem Rütteln im Seegang ausgeschlossen.

Die Schwere des Fallgewichtes und des Schwimmers haben den weiteren Vorteil, daß Verschmutzungen, Rostbildungen an den Drehpunkten und in den Rohrführungen sowie tierischer und pflanzlicher Bewuchs die Arbeitsweise der Spüleinrichtung in keiner Weise beeinträchtigen; das wurde durch die praktische Erprobung vollauf bestätigt.

C. Die selbsttätige Auslösung

Gegen Tnw kommt der Schwimmer auf den Hebel A zu liegen. Mit seinem ganzen Gewicht drückt er diesen nach unten. Dadurch wird die Steuerstange gehoben, die obere Gleitrolle gegen die innere U-Wandung des Trägers verschoben und das Fallgewicht freigegeben. Das Fallgewicht drückt R2 nach unten, das über den Hebel H R1 nach oben drückt, so daß das Sperrventil plötzlich voll geöffnet wird und der Spülvorgang mit voller Stärke einsetzt. Das Ventil bleibt zwangsläufig geöffnet, bis die Flut den Schwimmer vom Auslösehebel A wieder abhebt, so daß der Spülvorgang bei ganz geöffnetem Sperrventil bis zu Ende ablaufen kann. Sobald der Schwimmer wieder hochtreibt, schließt das Sperrventil durch sein eigenes Gewicht und das des Rohres R1. Ebenso fallen die Steuerstangen wieder in ihre Sperrstellung zurück, die jedoch bei Aufwärtsbewegung das Fallgewicht durchlassen und nur bei Abwärtsbewegung wirksam sind. Sobald der Wasserstand außen gegenüber dem Boden des Sperrventiles eine gewisse Höhe erreicht hat, wird das Sperrventil durch den Überdruck angehoben, und der Spülschacht füllt sich von neuem mit Seewasser.

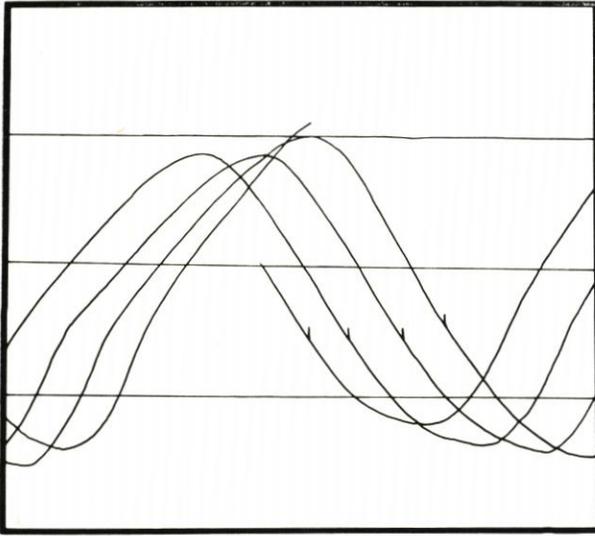


Abb. 2. Die Auslösung des Spülens erscheint als Zacken auf dem Ebbeast der Pegelkurven

D. Spülleistung und Maße

Die Spülwirkung ist naturgemäß von der Höhe und Menge des im Spülschacht aufgestauten Wassers und der Weite des Spülrohres abhängig. Der Spülschacht hatte im ausgeführten Gerät eine Weite von 30 cm bei etwa 3 m Länge, das Spülrohr eine Weite von 10 cm, noch besser wäre 20 cm. Jedoch nimmt bei einer so großen lichten Weite des Spülrohres der Schwimmer schon ziemliche Ausmaße an. Zum Öffnen des Sperrventils muß der auf ihm lastende Wasserdruck überwunden werden. Dieser Druck ist von der Fläche, die das Ventil absperrt, abhängig, die im wesentlichen mit der Weite des Spülrohres zusammenfällt. Bei 20 cm lichter Weite beträgt sie mindestens 314 cm². Bei dem im ostfriesischen Wattenmeer vorhandenen Tidehub von 2,5 m erreicht der Wasserstand im Spülschacht etwas über 2 m Höhe, steigt jedoch bei Sturmfluten auf die volle Länge des Spülschachtes von 3 m an. Schon bei 2 m Wasserstand lastet auf dem Sperrventil ein Wasserdruck von 63 kg, der bei Sturmfluten auf 94 ansteigt. Zu diesem Druck kommt noch das um den Auftrieb verminderte Gewicht des Kugelventiles, des Rohres R1 sowie die Reibung zur Auslösung des Ventiles in der Übertragungseinrichtung von Rohr R2 zu Rohr

Die Spüleinrichtung ist in Eisen ausgeführt, alle Zapfen und Hebel laufen mit viel Luft in den Führungen. Trotz Verschmutzung und starkem Rosten arbeitet die Anlage nunmehr bereits mehrere Monate ohne jede Wartung einwandfrei. Die Spülungen des Pegelschachtes erfolgen regelmäßig mit jeder Ebbe und machen sich auf dem Pegelbogen als kurze Spülzacken von etwa 10 cm Anstieg bemerkbar (Abb. 2). Abbildung 3 zeigt eine Ansicht der Spülanlage, die an einem Spundwandbohlen-Pegelschacht im Wattenmeer angebracht ist, wo sie sehr starkem Seegang bei stürmischem Wetter ausgesetzt ist.

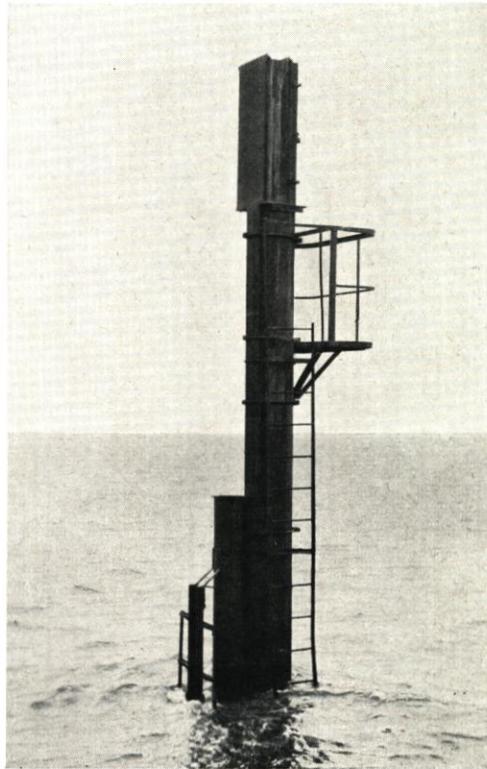


Abb. 3. Pegel im Wattenmeer mit angebrachter Spülanlage

R1, die zusammen etwa 5 bis 10 kg betragen. Das Fallgewicht muß dann bei einem 3 m langen Spülrohrschacht 100 bis 110 kg schwer sein. Das bedeutet aber für den Schwimmer, der ja das Fallgewicht und sein eigenes tragen muß, eine Wasserverdrängung von etwa 125 kg, denn auch der Schwimmer, der ja ungeschützt außen läuft, muß robust gebaut sein und hat dann bei dünnster Ausführung doch noch 10 bis 15 kg Eigengewicht. Bei der ausgeführten Spüleinrichtung mit 10 cm lichter Weite des Spülrohres und 3 m Spülschachtlänge war ein Fallgewicht von 25 kg erforderlich. Der Schwimmer wog etwa 50 kg. Für das Fallgewicht genügt eine Fallhöhe von 1 bis 1,5 m, und auch der Schwimmer braucht nur diese Höhe zu überwinden. Damit werden die U-Träger entsprechend kurz und stabiler. Der Schwimmer taucht dann während des höheren Wasserstandes unter. Die Auffüllung des Spülschachtes läuft davon unabhängig entsprechend dem Tidehub weiter. Es ist vorteilhaft, den Schwimmer breit und flach zu gestalten, so daß der Auslösehebel A möglichst spät ausgelöst wird, da dann im Pegelschacht möglichst wenig Wasser vorhanden ist. Die Anlage setzt nur bei Sturmfluten, an denen der Wasserstand nicht genügend abfällt, vorübergehend aus. Das beeinträchtigt jedoch die später einsetzende Wirksamkeit der Spülvorrichtung nicht.

Von der Wiedergabe einer Bauzeichnung wurde abgesehen. Sie kann von der Forschungsstelle Norderney an Interessenten abgegeben werden.

Schriftenverzeichnis

- K. LÜDERS: Die Verschlickung des Schwimmerrohres von Schreibpegeln im Tidegebiet. — Die Wasserwirtschaft, 41, 279 ff, 1950/51.

