

Die Küste. 8 (1960), 1-159

Die Küste

ARCHIV
FÜR FORSCHUNG UND TECHNIK
AN DER NORD- UND OSTSEE



3950-A-2012-0000080

JAHRGANG 8

1960

Die Küste, 8 (1960), 1-159

Die Küste

ARCHIV
FÜR FORSCHUNG UND TECHNIK
AN DER NORD- UND OSTSEE

HERAUSGEBER:
DER KÜSTENAUSSCHUSS NORD- UND OSTSEE

JAHRGANG 8 - 1960

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

Anschriften der Verfasser dieses Heftes:

BANTELMANN, Albert, Wissenschaftlicher Rat, Dr., Schleswig-Holsteinisches Landesmuseum für Vor- und Frühgeschichte, Schleswig, Schloß Gottorf; BUSCH, Andreas, Bauer, Nordstrand; DITTMER, Ernst, Dr., Marschenbauamt Husum, Nissenhaus; GRONWALD, Walther, Ministerialrat a. D. Dr.-Ing., Hannover, Warmbüchenkamp 2; HORN, Walter, Oberregierungsrat, Deutsches Hydrographisches Institut, Hamburg 4, Bernhard-Nocht-Str. 76, KÖSTER, Rolf, Dr., Geologisch-paläontologisches Institut der Universität Kiel, Kiel, Olshausenstr. 40—60; LORENZEN, Johann M., Präsident der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Kiel, Kiel-Wik, Hindenburgufer 247; SCHIJF, Johannes Barend, Hoofdingenieur-Directeur, Rijkswaterstaat, 's-Gravenhage, Koningskade 25; TRAEGER, Günther, Oberregierungsbaurat, Wasserwirtschaftsamt Bremen, Bremen, Papenstr. 5—13; WEMELSFELDER, Pieter Jacobus, Dipl.-Ing., Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, 's-Gravenhage, Koningskade 25.

Die Verfasser sind für den Inhalt ihrer Aufsätze allein verantwortlich.
Nachdruck aus dem Inhalt nur mit Genehmigung des Herausgebers: Küstenausschuß Nord- und Ostsee, Regierungsbaudirektor i. R. C. HENSEN, Kiel-Wik, Hindenburgufer 247, gestattet.
Schriftleiter: Dr. habil. E. WOHLBERG, Husum, Nissenhaus.



Aufn. E. WOHLBERG

Blick in den Dieksanderkoog mit Neulandhalle und Höfen

Landesbaurat i. R. Richard Brodersen 80 Jahre alt

Am 27. März 1960 vollendete der Landesbaurat i. R. RICHARD BRODERSEN in Struckum sein 80. Lebensjahr. Der Küstenausschuß Nord- und Ostsee hat ebenso wie die Bevölkerung der schleswig-holsteinischen Westküste alle Veranlassung, des Mannes zu gedenken, der aus seiner ganzen Veranlagung heraus zwar wenig nach außen in Erscheinung getreten ist, der sich aber um die Westküste Schleswig-Holsteins große Verdienste erworben hat.

RICHARD BRODERSEN stammt aus Nordfriesland, und die Geschichte seiner Familie — seine Vorfahren lebten bis 1825 auf der Hallig Oland — ist eng mit der Geschichte dieses Raumes verknüpft. Seine Verbundenheit mit der Heimat führte ihn mit seinem Landsmann Geheimrat THOMSEN in den zwanziger Jahren in den Kreis von Männern, die sich zu gemeinsamer Arbeit für die Westküste zusammengefunden hatten. Als Mitglied des Ausschusses Westküste hat RICHARD BRODERSEN zusammen mit Professor FRANZIUS und Geheimrat THOMSEN den weitgehenden Forderungen und Plänen des Marschenverbandes bei den maßgebenden Stellen Gehör verschafft und gewichtigen Anteil an der Inangriffnahme der ersten großen Bedeichungen und der Besiedlung neuer Köge gehabt. Durch sein unerschrockenes und mutiges Eintreten für die Sache der Küste hat er nicht nur die Arbeit für Küstenschutz und Landgewinnung erheblich gefördert, sondern nach 1933 auch viele unsachliche Eingriffe politischer Stellen in die Küstenpläne abgewehrt.



Neulandhalle Dieksanderkoog



Bauernhof im Dieksanderkoog

Aufn. E. WOHLBERG

Hohes Verdienst gebührt BRODERSEN bei der Gestaltung der Siedlungen in den neuen Kögen. Der Grundgedanke und die erste Planung der formschönen, wuchtigen Siedlungen im Dieksander und im Tümmmlauer Koog, denen dann weitere folgten, verdanken wir dem Architekten RICHARD BRODERSEN, der hier seiner an anderer Stelle noch zu würdigenden Lebensarbeit ein bleibendes Denkmal gesetzt hat. Er hat dem Gedanken der Deichverbände, in den neuen Kögen eine Stätte der Selbstverwaltung im Deich- und Wasserwesen zu schaffen, mit dem Bau der Neulandhalle eine eindrucksvolle Form gegeben. Diese Leistungen führten zu seiner Berufung als Landesbaurat für Hochbau in der schleswig-holsteinischen Provinzialverwaltung.

Mit dem Küstenausschuß Nord- und Ostsee gedenken seiner alle diejenigen, die sein schöpferisches Wirken kennen und schätzen lernten, in herzlicher Verehrung und Dankbarkeit.

gez. AGATZ

gez. LORENZEN

Inhaltsverzeichnis

Würdigung Landesbaurat i. R. RICHARD BRODERSEN	
AGATZ, Professor Dr.-Ing. E. h. Dr.-Ing. Eröffnungsansprache anlässlich der 3. Arbeitstagung des Küstenausschusses Nord- und Ostsee am 15. und 16. Oktober 1959 in Bremen	1
BALCKE, Senator der Freien Hansestadt Bremen Begrüßungsansprache	5
LORENZEN, Johann M., Präsident 25 Jahre Forschung im Dienst des Küstenschutzes	7
DITTMER, Ernst, Dr. Neue Beobachtungen und kritische Bemerkungen zur Frage der „Küstensenkung“	29
BANTEMANN, Albert, Dr., Wissenschaftlicher Rat Forschungsergebnisse der Marschenarchäologie zur Frage der Niveauperänderungen an der schleswig-holsteinischen Westküste	45
GRONWALD, Walther, Dr.-Ing., Ministerialrat a. D. Welche Erkenntnisse zur Frage der vermuteten neuzeitlichen Nordseeküstensenkung hat die Wiederholung des Deutschen Nordseeküstennivellements gebracht?	66
HORN, Walter, Oberregierungsrat Zur säkularen Änderung des mittleren Wasserstandes	83
SCHIJF, Johannes Barend, Hoofdingenieur-Directeur Die Bedeutung der relativen Küstensenkung für die Niederlande	85
WEMELSFELDER, Pieter Jacobus, Dipl.-Ing. Meereshöhe, Nivellements Höhe, Pegelnull	89
TRAEGER, Günther, Oberregierungsbaurat Planung und Ausführung von Deicherhöhungen und Flußabdämmungen im Lande Bremen	108
BUSCH, Andreas Eine alte Landoberfläche und Kulturspuren im Nordstrander Watt	124
KÖSTER, Rolf, Dr. Zur Frage der gegenwärtigen Senkung der schleswig-holsteinischen Ostseeküste . .	131

Eröffnungsansprache

anlässlich der 3. Arbeitstagung des Küstenausschusses Nord- und Ostsee
am 15. und 16. Oktober 1959 in Bremen
von Professor Dr.-Ing. E. h. Dr.-Ing. AGATZ

Meine Herren Senatoren,
meine Herren Mitarbeiter vom Küstenausschuß Nord- und Ostsee,
sehr verehrte Gäste!

Ich eröffne die heutige 3. Arbeitstagung des Küstenausschusses hier in Bremen und bitte Sie, unserer seit der letzten Tagung verstorbenen Mitarbeiter zu gedenken:

Ministerialrat i. R. GAYE, Leiter des Arbeitsausschusses des Küstenausschusses Nord- und Ostsee,
Baudirektor Dr.-Ing. KRESSNER, Leiter der Strombauabteilung des Strom- und Hafenaubau
Hamburg,

Ministerialrat LECHNER, Referent im Bundesernährungsministerium,
Oberregierungs- und -baurat LEHRKE, Vorstand des Wasserwirtschaftsamtes Stade.

Ich danke Ihnen, daß Sie sich zu Ehren der Verstorbenen von Ihren Plätzen erhoben haben.

Lassen Sie mich Ihnen, Herr Senator BALCKE, unseren herzlichen Dank sagen für die Unterstützung, die Sie uns für das Zustandekommen dieser Tagung in der Freien Hansestadt Bremen bereitwilligst gewährt haben, und daß Sie zu uns sprechen werden. In unseren Dank schließe ich Herrn Oberseefahrtschuldirektor BERGER ein, der uns die herrlichen Räume seiner Seefahrtschule mit den Einrichtungen zur Verfügung gestellt hat, und die Herren Oberbaurat RIEHL und TRAEGER, die zusammen mit unserem Leiter des Arbeitsausschusses, Herrn Regierungsbaudirektor HENSEN, die Tagung vorbereiteten, und ich hoffe, daß sie einen erfolgreichen Verlauf nehmen wird.

Ihnen, Herr Ministerialdirektor FEYERABEND und Ihnen, Herr Ministerialdirektor SURETH, gilt unser aufrichtiger Dank, daß Sie als Vertreter Ihrer Minister zu uns gekommen sind, und ich hoffe, daß Ihnen die heutigen Vorträge beweisen können, daß wir im Küstenausschuß positive Arbeit leisten.

Daß wir in unserer Mitte Abgeordnete des Bundestages und der bremischen Bürgerschaft begrüßen können, ist uns ein Beweis dafür, daß Sie, meine Herren, die schwierigen Probleme der Küste zu würdigen wissen, und wir hoffen, daß Ihnen die Vorträge den gewünschten Überblick über das Generalthema „Küstensenkung — Wasserstandshebung“ geben werden.

Presse und Rundfunk danken wir gleichfalls für das Interesse, das sie unserer Tagung entgegenbringen.

Wenn man die Chronik nachliest, die in dem Werk von FRIEDRICH MÜLLER und OTTO FISCHER so wunderbar in den Bänden über die Halligen, die Nordfriesischen Inseln und das Festland der schleswig-holsteinischen Westküste zusammengestellt ist, und wenn man das übrige Gebiet der Nordseeküste von Ost- und Westfriesland, das in das Nachbarland Holland weit hinübergreift, hinsichtlich der verheerenden Sturmfluten mit einbezieht, so haben in den letzten sieben Jahrhunderten mehr als vierzehn Sturmfluten die Küstendeiche durchbrochen und schwerste Schäden an Land, Haus, Hof und Menschen in den betroffenen Gebieten zur Folge gehabt. Die heutige Zerrissenheit der Westküste Schleswig-Holsteins, das Land zwischen Weser und Jade, die Emsmündung mit dem Dollart, die so oft heimgesuchte Küste Hollands mit

den schweren Verheerungen im Jahre 1953 lassen die Gewalt dieser Sturmfluten erkennen. Die Menschen jener Zeit haben ihnen Namen verliehen wie

Marcellusfluten,
 Allerheiligenfluten,
 große Sturmflut,
 Weihnachtsflut,
 Februarflut,
 Neujahrsflut,
 die 1. und 2. große Manndränke.

Es sind zwei solcher verheerenden Sturmfluten im großen Durchschnitt gesehen in jedem Jahrhundert eingetreten. Wie stark der Mensch seiner Generation glaubt, durch Deiche gesichert zu sein, zeigt ein Ausschnitt aus der Chronik im Jahre 1634 vor dem Eintritt der zweiten großen Manndränke:

HEIMREICH weiß die Schilderung dieser „landverderblichen Sündflut von 1634“ in folgende lebendige Worte zu kleiden:

Daß Gott der Herr durch Auslassung der Wasser das Land könne umkehren, solches haben diese Nordfresischen Landschaften nebst allen an der Westsee liegenden Marschländern am Tage Burchhardi (so am Sonntage fällig) des 1634sten Jahres besonders müssen erfahren, und zwar dazumal, wie man am sichersten gewesen und die Deiche so wohl gestanden, daß Ocke Levensen in unserem Nordstrande sich vernehmen lassen, daß man nun einen eisernen Deich hätte und Iven Acksen zu Rödemis gesaget, man könne nun sicher hinter den Deichen schlafen, ja man auch wol auf denselben getrotzet, wie der Deichgraf in Risummohr nach verfertigtem Deiche den Spaten auf den Deich gesetzt und vermessenlich gesaget: ‚Trotz nun blanke Hans!‘

Und was war das traurige Ergebnis dieser zweiten großen Manndränke 1634:

6123 Menschen ertrunken und umgekommen	} weggetrieben;
12 Kirchen	
1339 Häuser	
28 Windmühlen	

dazu das Land verwüstet mit allem Getreide, Heu und Vieh.

So gilt es auch in unserer neuesten Zeit für Holland, das Land der klassischen Wasserbaukunst. Trotz seiner neuzeitlichen Deiche und aller Vorsichtsmaßnahmen hatte die große Sturmflut im Jahre 1953 derart verheerende Folgen, daß sie die ganze Welt erschütterten. Die Holländer begannen alsdann in ihrer großzügigen Weise, ihre Küstenlandschaften noch mehr durch Erhöhung der Deiche und durch Abdämmung der weitverzweigten Deltamündungen für die Zukunft zu sichern.

Bei den großen Zeiträumen zwischen den verheerenden Sturmfluten vergißt der Mensch rasch wieder, was an Entsetzlichem geschehen ist, und das möchte ich die Tragik des Trägheitsmomentes der Menschen nennen. Eine weitere Tragik liegt darin, daß bei unserer nur 500 km langen Küste bei einem rund 1000 km tiefen Binnenland die Gefahren des Meeres für die Küstenlandschaft im Binnenland nicht erkannt und nicht genügend gewürdigt werden. Vergleichsweise ist das niederländische Binnenland bei einer rund 400 km langen Küste nur etwa 150 km tief. Schon hieraus läßt sich erkennen, daß der Küstenschutz bei unseren westlichen Nachbarn eine nationale Lebensfrage des ganzen Volkes ist. Sommerferien am Nordseestrand zeigen ein friedliches Bild. Die Zeiten der Herbst-, Winter- und Frühjahrsstürme, wenn der „Blanke Hans“ an die Schutzbauwerke der Menschen brandet und sie gefährdet, sind nicht gefragt.

Nun werden Sie verstehen, warum sich die Männer der Küste, getragen in der Kenntnis der immer nur begrenzten Macht des Menschen und seiner Ingenieurbauwerke gegenüber der

Allgewalt der Natur, zusammengefunden haben und selbstlos ihre Arbeitskraft über das alltägliche Pensum hinaus in den Dienst der Küstenlandschaft mit ihren Strömen und ihren Menschen stellen. Sie wollen versuchen, aus dem Teilmosaik der örtlich begrenzten Erfahrungsbereiche eine umfassende Kenntnis der Notwendigkeiten für die gesamte deutsche Küste zu gewinnen.

Es sind erst 25 Jahre vergangen, seit sich ein kleiner Kreis zusammenfand und sich diesem Gedanken verschwor; beginnend an der Westküste Schleswig-Holsteins und nunmehr seit zehn Jahren auf die gesamte deutsche Nord- und Ostseeküste übergreifend. Und was bestärkt uns in unserem Glauben an die Richtigkeit und Zweckmäßigkeit unserer Arbeit hinter dem Vorhang der Öffentlichkeit? Es ist die Unterstützung der beiden zuständigen Bundesministerien, und zwar des Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten und des Ministeriums für Verkehr, der Regierungen und Senate der vier Küstenländer, die wissen, um was es geht. Darum lassen Sie mich an dieser Stelle noch einmal diesen Zentralstellen unseren Dank aussprechen für die Unterstützung unserer Arbeiten und darum bitten, uns diese auch weiter zu gewähren, da wir sie als das Fundament unserer Forschungen unbedingt benötigen.

Danken möchte ich an dieser Stelle auch den holländischen Kollegen für ihre stets gewährte Unterstützung bei unseren Reisen in ihr Land und für die stets bereitwillig erteilten Auskünfte.

Die nächste Zeit werden wir dazu benutzen, um den gleichen hohen Stand der Zusammenarbeit mit den dänischen Kollegen zu erlangen. Seit der Neuaufnahme unserer Arbeiten im Jahre 1949 haben wir auch in enger Verbindung mit dem Küstenausschuß Ostsee unserer östlichen Heimat gestanden. Freundschaftliche Bande zwischen Herrn Professor REINEKE, ein für die Korrektur der Unterweser sehr bekannter Name, und mir ebneten den Weg für eine kollegiale Verbundenheit und einen laufenden Gedankenaustausch. Sie kamen zu uns und wir zu ihnen, um Erfahrungen auszutauschen, und so danke ich Ihnen, Herr Professor REINHARD, als Nachfolger von Herrn Professor REINEKE in Ihrem Ausschuß, für Ihr Kommen, denn das gibt uns die Gewähr, daß der beschrittene Weg derselbe bleibt.

Wenn man in der Chronik liest, daß im großen Durchschnitt die jährlichen Landabbrüche an der Ostseeküste vom Samland bis Schleswig-Holstein im Mittel 0,25 m bis 0,8 m im Jahr, also 25 m bis 80 m im Jahrhundert betragen haben, und wenn man nur den Küstenabschnitt der Westküste Schleswig-Holsteins nimmt, wo nach FRIEDRICH MÜLLER in den letzten 700 Jahren von 1219 bis 1911 rund 75 Sturmfluten aufgetreten sind, welche die Küstenbewohner in Angst und Schrecken versetzten und teilweise schwerste Schäden, wie ich eingangs erwähnt habe, mit sich brachten, dann werden Sie es verständlich finden, daß wir die diesjährige Arbeitstagung unter das Thema „Küstensenkung — Wasserstandshebung“ gestellt haben. Es ist uns dabei besonders wertvoll, daß Herr Hoofdingenieur-Directeur SCHIJF und Herr Hoofdingenieur WEMELSFELDER den Stand der holländischen Erkenntnisse über dieses Gebiet darlegen werden.

Was in 25 Jahren vom Ausschuß Westküste und vom Küstenausschuß Nord- und Ostsee erarbeitet worden ist, darüber wird uns Herr Präsident LORENZEN, der eifrige und unerschrockene Kämpfer für die auch von uns bejahte Einheit von Seebau, Küstenschutz und Wasserwirtschaft der Küstenlandschaft, berichten. Hieran anschließend werden uns die Herren Dr. DITTMER, Dr. BANTELMANN, Dr. GRONWALD und Dr. HORN einen Einblick in den neuesten Stand der von ihnen seit Jahrzehnten betreuten Forschungsgebiete geben.

Zum Schluß wird uns Herr Oberbaurat TRAEGER ein Referat halten über die Planung und Ausführung von Deicherhöhungen und Flußabdämmungen im Lande Bremen auf Grund von Modellversuchen, die vom Bremer Senat in enger Zusammenarbeit mit der Wasser- und Schiff-

fahrtsdirektion Bremen und dem Land Niedersachsen für den Schutz der gesamten Weserniederung durchgeführt worden sind.

Mögen nun der Verlauf und das Ergebnis der Tagung unseren Mitarbeitern ein Ansporn sein, in der bewährten Form fortzufahren und den zuständigen Ministerien bzw. Senaten von Bund und Küstenländern wiederum die Gewißheit geben, daß der Küstenausschuß Nord- und Ostsee seine Dienste dem allgemeinen Ziel von Bund und Küstenländern für den Schutz unserer Küstenlandschaft und für die Schiffbarkeit ihrer Ströme immer zur Verfügung stellen wird.

Ich möchte nicht schließen, ohne dem Leiter des Arbeitsausschusses, Herrn Regierungsbaudirektor HENSEN, den Vorsitzenden der elf Arbeitsgruppen mit ihren Mitarbeitern und Herrn Dr. WOHLBERG als dem Schriftleiter unserer Schriftenreihe „Die Küste“ im Auftrage des Verwaltungsausschusses unseren aufrichtigen Dank für ihre erfolgreiche Mitarbeit auszusprechen.

Begrüßungsansprache

von Senator Balcke

In Auftrage des Senats der Freien Hansestadt Bremen heiße ich Sie, die Sie nicht nur als Vertreter von Bundesministerien oder aus den benachbarten deutschen Küstenländern, sondern auch aus Holland zu uns gekommen sind, herzlich in Bremen willkommen.

Ich möchte dabei zunächst für die Ehre danken, die ich darin sehe, daß Sie nach zehnjährigem Bestehen des Küstenausschusses, einem für Sie großen Ereignis also, Ihre Jubiläumstagung in unser kleines, ja in das kleinste Land der Bundesrepublik verlegt haben, in eine Stadt, die sogar ziemlich weit vom Meer entfernt liegt, an einem keineswegs repräsentativ oder gar gefahrdrohend dahinfließenden, sehr engbettigen Fluß. Der schmale Küstenstreifen, den wir Ihnen in Bremerhaven vorweisen können, hat sicher ebenfalls nicht den Ausschlag geben können, hier in Bremen zu tagen. Daher gehe ich wohl nicht fehl in der Annahme, daß Bremen die Ehre, daß dieser Ort als Jubiläumstagungsort gewählt wurde, nicht quantitativen Leistungen verdankt, also nicht nach der Kilometerlänge des unserer Hoheit unterstellten Küstenstreifens entschieden wurde, sondern daß es übergeordnete, übergebieliche und überall hin ausstrahlende Beiträge gewesen sind und weiterhin sein werden, daß Bremen im Küstenausschuß einen gleichwertigen Rang wie die anderen großen Küstenländer zugewiesen bekommt.

Als Nichtfachmann bin ich natürlich kaum über die vielen wissenschaftlichen und praktischen Aufgaben des Küstenausschusses Nord- und Ostsee orientiert, noch weniger über die einzelnen Durchführungen all dieser Aufgaben, über die Erfolge und speziell die wissenschaftlichen Resultate, die der Grundlagenforschung und den allgemeinen Anerkenntnissen in der Wechselbeziehung zwischen Meer und Festland dienen. Aber von zwei aktuellen Angelegenheiten weiß ich genau, daß sie Bremen unmittelbar angehen und auch von ihm ausgehen. Einmal eine persönliche, daß nämlich ihr Vorsitzender, Herr Professor Dr.-Ing. AGATZ, in bremischen Diensten stand, noch in Bremen wirkt und in vielfältiger Weise von Bremen aus wirkte, oft sogar weit über die Nord- und Ostseeküsten hinaus bis zu jenen fernen Küsten und Häfen, um die man sich oft nicht weniger als hier in anderen Erdteilen mühen muß. Die zweite Angelegenheit ist eine Sache, für uns in Bremen sogar die Hauptsache, die Weser. Vom Land Bremen aus — darüber wird Ihnen im Laufe des Tages, wie schon angekündigt, der Leiter unseres Wasserwirtschaftsamtes, Herr Oberbaurat TRAEGER, noch berichten — haben wir versucht, uns über jene Gefahren klar zu werden, die uns bei Sturmfluten von der Küste her drohen, wenn die Weser, wie es die Schifffahrt erwartet und fordert, weiter vertieft wird; nicht nur Bremen, sondern — über die Nebenflüsse Wümme, Lesum, Ochtum, Hunte und Geeste — auch den niedersächsischen Gebieten links und rechts der Unterweser. Diese Überlegungen haben unter unserer Federführung zu einem Auftrag, wie das auch bereits von Herrn Professor Dr.-Ing. AGATZ erwähnt wurde, an das Franzius-Institut der Technischen Hochschule in Hannover geführt, um in großzügig angelegten Versuchen an einem Modell der Unterweser mit ihren Nebenflüssen für alle in Zukunft denkbaren Vertiefungs- und Abschleusungsfälle Genaueres über die Wassermengen, Wassergeschwindigkeiten und vor allem über die höchsten Wasserstände zu erfahren, wenn Sturmfluten in die Mündung treiben. Ich habe nach Kenntnis der ausführlich dargestellten Ergebnisse die Überzeugung gewonnen, daß hier nicht nur im Interesse Bremens, sondern im Interesse aller unserer Küstenländer ein maßgeblicher Beitrag gerade auf dem Sektor unserer wasserkundlichen Wissenschaft geleistet wurde, der genau den Zielen des Küstenausschusses entspricht.

Sicherlich haben Sie auf dem Wege zu diesem Gebäude, insbesondere bei der Baustelle der neuen Weserbrücke, den Eindruck gewonnen, daß Bremen mancherlei für das Funktionieren und Florieren seiner Wirtschaft leistet; hier besonders für den Verkehr, der sich über die Brücke und als Binnenschiffsverkehr unter dieser neuen Brücke erst richtig bewegen kann, nachdem die flache und schmale Rinne zwischen den hoch angeschütteten Pfeilern der alten Brücke verschwunden sein wird. Aber Sie werden auf dem Wege hierher kaum den Eindruck von Küstennähe gewonnen haben, bis Sie plötzlich doch zur Linken das Ihnen allen vertraute Zeichen der Gesellschaft zur Rettung Schiffbrüchiger und vielleicht sogar ein zur Reparatur aufgesliptes Seenotrettungsboot gesehen haben und gleich darauf rechts hoch über diesem Vortragsaal eine fast ozeanisch anmutende Kommandobrücke mit Peilgeräten und Radarantenne. An beidem haben Sie sehen können, daß wir doch der Küste und allen ihren Sorgen und Aufgaben sehr nahe sind. Nicht die Entfernung in Kilometern zählt hier, sondern der Geist, der sich seit eh und je der See und der Küste verbunden fühlt, das immer wachbleibende Bewußtsein, daß wir hier in Bremen, solange wir am Welthandel teilhaben wollen, so fühlen und vor allem immer auch so handeln müssen, als ob wir direkt am Meere wären.

Meine verehrten Anwesenden, indem ich hier namens der Bremer Landesregierung dieses Bewußtsein noch einmal nachdrücklich unterstreiche, kann ich Sie, so glaube ich, als ein mit gleichen Sorgen Belasteter, also als einer der Ihren nochmals herzlich begrüßen und Ihrer Tagung einen vollen Erfolg wünschen.

25 Jahre Forschung im Dienst des Küstenschutzes*)

Von Johann M. Lorenzen

Inhalt

I. Einleitung	7
II. Frühere Untersuchungen	
1. Anfänge planmäßiger, großräumiger Untersuchungen	8
2. Einrichtung von Forschungsstellen	10
III. Aufgaben im dithmarscher Bereich	
1. Gefährdung der Halbinsel Friedrichskoog und der Insel Trischen	10
2. Neue Forschungsmethoden und ihre Bedeutung	12
3. Abdämmung der Eider	13
IV. Aufgaben in Nordfriesland	
1. Umbildung der Landschaft	15
2. Ausräumung der Wattströme — Auflandung am Festland und an den Inseln	15
3. Nordfriesisches Wattenmeer	16
4. Stoffbilanz im nordfriesischen Raum	17
5. Bau eines Dammes vom Festland nach Pellworm	18
6. Damm von Eiderstedt bis Sylt	18
7. Entwässerung in Nordfriesland	20
8. Fortführung der Vorarbeiten zum Schutz Nordfrieslands	21
9. Entwicklung und Bedeutung der biologischen Arbeiten	21
V. Sandwanderung in der inneren Deutschen Bucht	22
VI. Voraussetzungen für erfolgreiche Forschungen	22
VII. Neue Forschungsaufgaben	
1. Aufgaben des Küstenschutzes	23
2. Ausbau der Schifffahrtsstraßen	23
3. Notwendigkeit einer Zusammenarbeit von Bund und Ländern auf dem Gebiet der Küstenforschung	24
VIII. Zusammenfassung	26
IX. Schriftenverzeichnis	27

I. Einleitung

Wenn ich über 25 Jahre Forschungsarbeit im Dienste des Küstenschutzes berichte, so bitte ich um Verständnis dafür, daß ich als Schwerpunkt meiner Ausführungen denjenigen Abschnitt der Küstenforschung behandle, der mir aus jahrzehntelanger Kenntnis und Erfahrung am nächsten liegt, nämlich die schleswig-holsteinische Westküste. Mir liegt vor allem daran, beispielhaft den Sinn und die Bedeutung der Küstenforschung an den Problemen klar zu machen, deren Lösung uns gelungen zu sein scheint, vielleicht aber noch mehr an denen, die uns noch zur Lösung aufgegeben sind.

In meinen Ausführungen werde ich mich nicht eng auf die Forschung im Dienste des Küstenschutzes beschränken können, sondern muß wegen des natürlichen inneren Zusammenhanges aller Arbeiten an der See auf die Beziehungen der Forschung zu den anderen wichtigen Aufgaben, dem Verkehr, der Wasserwirtschaft und der Landgewinnung, kurz eingehen.

*) Vortrag auf der 3. Arbeitstagung des Gesamtausschusses im Küstenausschuß Nord- und Ostsee am 15. Oktober 1959 in Bremen.

Eine planmäßige Erforschung der Naturvorgänge, die zur Zerstörung oder zum Aufbau im Bereich der deutschen Nordseeküste geführt haben, ist verhältnismäßig spät in Gang gekommen. Abgesehen von den durch die wachsenden Bedürfnisse der Schifffahrt an der Weser ausgelösten, planmäßigen und erfolgreichen Untersuchungen gegen Ende des letzten und zu Beginn unseres Jahrhunderts, ist ein allgemeines Bedürfnis nach Klärung der Naturvorgänge an den freien Meeresküsten erst in dem Augenblick lebendig geworden, als die gefährdeten Inseln und Halligen in Ost- und Nordfriesland als Stätten der Erholung einen größeren Eigenwert erhielten und ihre Bedeutung als vorgeschobene Schutzbollwerke für das Festland immer klarer erkannt wurde. Daneben lenkte die zunehmende Gefährdung einiger Abschnitte am Festland die Aufmerksamkeit der Fachleute auf bisher nicht bekannte Naturvorgänge. Schließlich lösten zu Anfang dieses Jahrhunderts die sehr unterschiedlichen Erfolge planmäßig betriebener Landgewinnungsarbeiten Überlegungen über die Herkunft, den Wanderweg und den Verbleib der landaufbauenden Stoffe Schlick und Sand im Bereich des Wattenmeeres aus. Ich darf in diesem Zusammenhang auf die Gedanken und Vorschläge von FÜLSCHER (1905) und KREY (1918) hinweisen. Die Untersuchungen von GAYE und WALTHER (1935), KRÜGER und LÜDERS nach dem ersten Weltkriege und auch Hinweise von Heimatforschern, wie SCHÜTTE (1908), LEEGE (1935) und WILDVANG (1924/25) über die Bedeutung der Erhaltung der Ostfriesischen Inseln waren neben anderen die ersten Schritte zur vertiefenden Betrachtung und Deutung der Naturvorgänge im Gefahrenbereich der Küste. Fast alle Untersuchungen der Naturvorgänge blieben aber auf einen jeweils durch die örtliche Gefahr betroffenen Abschnitt beschränkt. Auch der breite Streifen zwischen der Festlandsküste und der offenen See, das Wattenmeer als Ganzes, blieb, soweit es nicht für die Schifffahrt oder für die küstennahe Landgewinnung unmittelbare Bedeutung hatte, bis Ende der zwanziger Jahre ein unbekanntes Gebiet. Als erschwerenden Umstand dafür, daß die damals für den Küstenschutz zuständige preußische Verwaltung nicht früher eine weiträumige Untersuchung der Naturvorgänge einleitete, sehe ich es an, daß der Staat keine gesetzliche Verpflichtung zum Schutz der Küste hatte (und übrigens auch heute nicht hat). Darlehen — und gelegentlich auch Beihilfen — wurden gewährt, wenn große volkswirtschaftliche Werte auf dem Spiel standen und die Träger des Küstenschutzes — Deichverbände oder Eigentümer — gänzlich außerstande waren, durchgreifende Maßnahmen zu treffen.

II. Frühere Untersuchungen

1. Anfänge planmäßiger, großräumiger Untersuchungen

Den äußeren Anstoß zu einer großräumigen Untersuchung des Wattenmeeres gab in Schleswig-Holstein ein Ende der zwanziger Jahre aufgestellter Plan zur umfassenden Sicherung der Westküste. Dieser Plan hatte insbesondere eine dauerhaftere Sicherung der Inseln und Halligen und eine Fortsetzung der Arbeiten zur Landfestmachung unter gleichzeitiger Intensivierung der Landgewinnungsarbeiten als wirksamstes und wirtschaftlichstes Mittel des Küstenschutzes zum Ziel. Er entsprang der Initiative der im Marschenverband Schleswig-Holstein zusammengefaßten Deichverbände, deren Aufwendungen allein für Deich und Uferschutz auf über 1 Mill. RM/Jahr angewachsen und deren wirtschaftliche Leistungsfähigkeit infolge wachsender Entwässerungsschwierigkeiten in den Marschen weitgehend erschöpft waren.

Viele der in dem genannten Plan vorgesehenen Maßnahmen waren nicht neuartig. Bereits seit Mitte des vorigen Jahrhunderts waren zum Schutze der Inseln und Halligen staatliche Maßnahmen durchgeführt worden. Der erste Verbindungsdamm vom Festland nach der Ham-

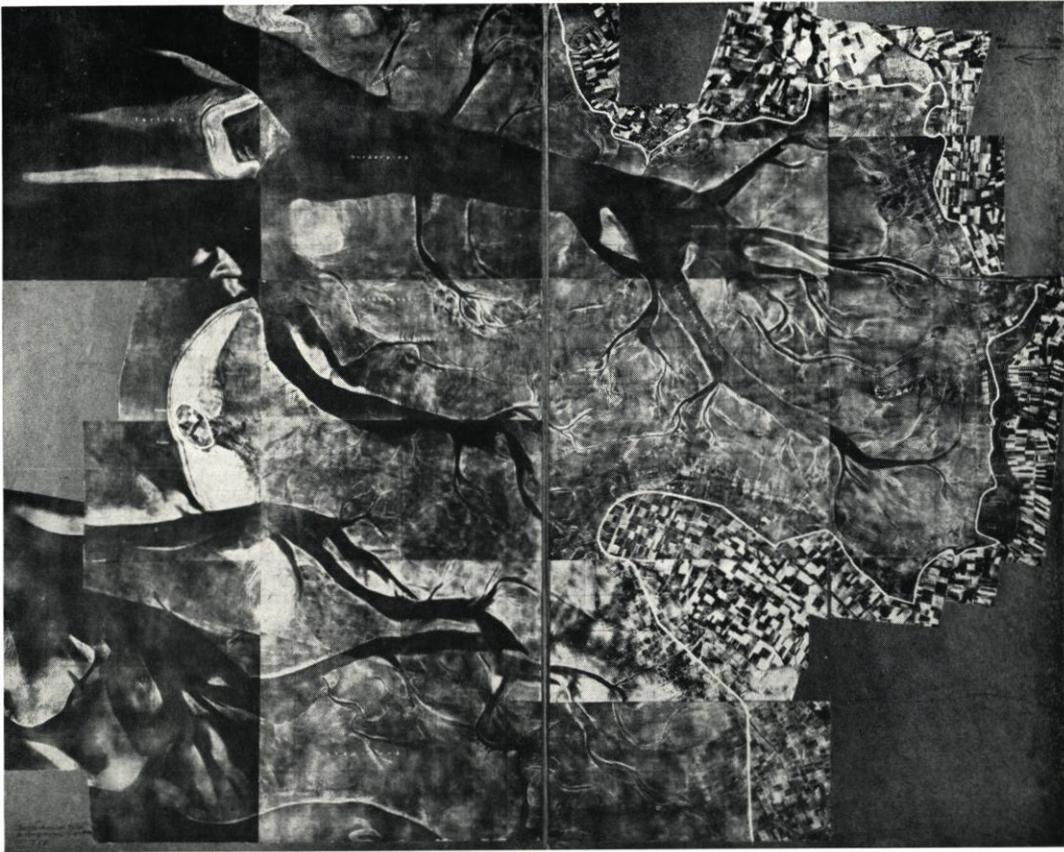


Abb. 2. Das Wattenmeer der Meldorfer Bucht mit der Insel Trischen
(Luftbild 1935, Archiv Marschenbauamt Heide)

burger Hallig bestand seit dem Jahre 1867. Seit 1906 war die Insel Nordstrand und seit 1912 waren die Halligen Oland und Langeneß mit dem Festland verbunden. Schließlich hatte mit dem Hindenburgdamm die Insel Sylt im Jahre 1927 eine Verbindung mit dem Festland erhalten. An verschiedenen Abschnitten der Westküste hatte man ferner nach dem ersten Weltkrieg die natürliche Anlandung durch planmäßige Landgewinnung gefördert. Allen diesen Maßnahmen hatte zwar auch mittelbar der Gedanke des Küstenschutzes, stärker aber doch das fiskalische Ziel der Landgewinnung zugrunde gelegen; beim Hindenburgdamm kam als Beweggrund noch eine Hilfe für die Insel Sylt hinzu, deren Festlandverbindung über Hoyerschleuse durch die Abtretung Nordschleswigs im Jahre 1920 verlorengegangen war.

Diesen Maßnahmen waren mit Ausnahme des Hindenburgdammes (PFEIFFER 1920) keine weitgreifenden Untersuchungen im Wattenmeer vorangegangen. Für viele der im Plan genannten neuen Aufgaben konnten aber die bis dahin gewonnenen Erkenntnisse nicht als ausreichende Grundlage eines Programms gelten, das die umfassende dauerhafte Sicherung der Küste zum Ziele hatte. Während einzelne Aufgaben des Planes, wie die Bedeichung grünen, d. h. deichreifen Vorlandes, nach damaliger Schau keine Probleme aufgaben, erkannte man, daß alle Maßnahmen, die mit stärkeren Eingriffen in das Wattenmeer verbunden waren, einer weit besseren Einsicht in die Naturvorgänge im ganzen Wattengebiet bedurften, als sie zu jener Zeit vorhanden war.

2. Einrichtung von Forschungsstellen

Als die nationalsozialistische Regierung aus Gründen der Arbeitsbeschaffung den Plan im Jahre 1933 übernahm und mit großen Mitteln Arbeiten zum Schutze der Küste und der Landgewinnung einleitete, war es zwingend geworden, das ganze Wattenmeer nach Aufbau und Geschichte, Art, Ursache und Wirkung der darin wirksamen Kräfte einer gründlichen Untersuchung zu unterziehen. Der Preußische Minister für Ernährung und Landwirtschaft verfügte zu diesem Zweck im Jahre 1934 die Einrichtung der sogenannten Forschungsstellen Westküste, zunächst in Büsum für das Gebiet zwischen Eider und Elbe und bald darauf für den nordfriesischen Raum in Husum. Im Bereich der Westküste waren es drei akute Vorgänge, die der Arbeit dieser Forschungsstellen den ersten Weg wiesen (vgl. LORENZEN, 1938).

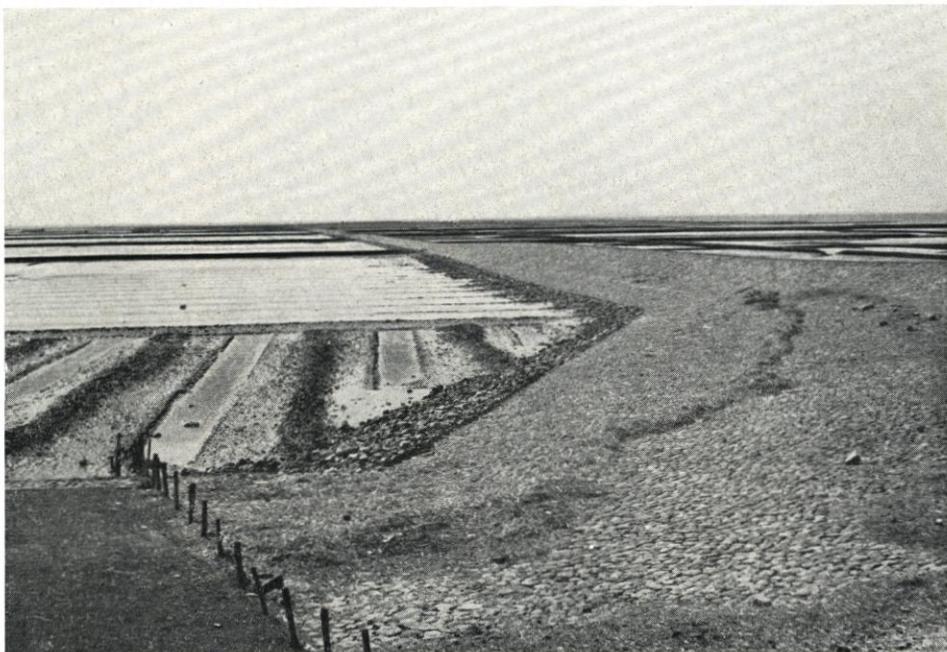
III. Aufgaben im dithmarscher Bereich

1. Gefährdung der Halbinsel Friedrichskoog und der Insel Trischen

Im dithmarscher Bereich war es die gefahrdrohende, durch Bühnen nicht mehr aufzuhaltende Annäherung eines Wattstromes an die vorspringende Halbinsel Friedrichskoog, die zur Entscheidung über Rückzug oder Angriff zwang: „Rückverlegung des Deiches“ oder „Bau eines Dammes“ weit in das Watt hinaus. Beide Möglichkeiten waren in ihrer Wirkung nicht ohne genaue Kenntnis der Kräfteverhältnisse im Raum zwischen den beweglichen Stromsystemen der Elbe und der Piep abzuschätzen, um so weniger, als das Wattenmeer in diesem Raum in der Vergangenheit ständig starken Veränderungen unterworfen gewesen war (HENSEN 1939/40). Besonders traf das für den seeseitigen Kopf des großen Wattrückens, den Buschsand, zu, auf dem sich in wenigen Jahrzehnten eine beträchtliche Düne, die Insel Trischen, gebildet hatte. Nachdem in ihrem Schutz etwa 60 ha grünes, fruchtbares Land aufgewachsen waren, hatte man diese Fläche mit der Düne als seeseitigen Schutz Anfang der zwanziger Jahre bedeckt und somit festgelegt (vgl. LORENZEN 1955 und GAYE 1955). Schon wenige Jahre nach der Bedeckung hatte die See begonnen, die Düne von Westen her abzubauen (WOHLBERG 1950). Der Bestand der Insel stand damit ebenso in Frage wie die feste Gestalt des sie tragenden Sandsockels, des Buschsandes. Die Pläne einer dauerhaften Sicherung der „Bühne“ Friedrichskoog hatten also ebensoviel eine eingehende Untersuchung der Formänderungen im vorgelagerten Wattenmeer in geschichtlicher Zeit wie der in der Gegenwart wirkenden Kräfte zur Voraussetzung. Die Ergebnisse der Untersuchungen, eingehende Strommessung in Verbindung mit einer großräumigen Vermessung des Wattrückens, der angrenzenden Ströme und Sände, geologische und biologische Kartierungen sowie ein eingehendes Studium der Seekarten in geschichtlicher Zeit, führten zu der Feststellung, daß sich der Buschsand in ständigem Wechsel zwischen Auf- und Abbau dem Festland langsam näherte. Ferner wurde durch planmäßige Strommessungen festgestellt, daß im Ablauf der Gezeiten ein überwiegendes Überströmen des 13 km langen Wattrückens zwischen Friedrichskoog und Trischen von Norden nach Süden, also nach der Elbe hin, stattfand (Abb. 2). Die Auswertung aller dieser Feststellungen ließ den ursprünglichen Plan des Dammbaus zwischen Friedrichskoog zur Insel Trischen aus küstenschutz- und landgewinnungstechnischen Gründen nicht ratsam erscheinen. Man kam zu dem Schluß, daß mit dem Bau eines buhnenartigen Dammes von nur etwa 2½ bis 3 km Länge der Friedrichskoog einwandfrei zu sichern sei, ohne daß die überwiegende Nord-Süd-Strömung über die Marner Plate unzulässig behindert werden würde. Durch die Verlängerung der buhnenartig wirkenden Halbinsel Friedrichskoog um 2½ km nach Westen glaubte man sogar, eine verstärkte Anlandung zu beiden Seiten dieser Bühne voraussagen zu können (Abb. 3 und 4).



Abb. 3. Der Altfelder Priel (im Vordergrund) bedroht den Seedeich des Friedrichskooges. Der Sicherungsdamm zur Abriegelung des Tiefs ist im Bau (Luftbild 1935, Archiv Marschenbauamt Heide)



Aufn. BOTHMANN, 1960

Abb. 4. Der 1935 durchdämmte Altfelder Priel ist heute (1960) vollständig verlandet

Da die Insel Trischen als Kopf eines Wattendamms nun nicht mehr in Frage kam und nach eingehender Untersuchung ihre dauernde Erhaltung wirtschaftlich nicht vertretbar erschien, gab man im Jahre 1942 die Absicht, sie mit großem Aufwand zu verteidigen, endgültig auf (WOHLENBERG 1950). Die weitere Entwicklung hat den damals schweren Entschluß gerechtfertigt und den Aufwand beträchtlicher Mittel erspart. Auf dem Boden der zerstörten, früher bedeichten Insel Trischen (Abb. 5 und 6) ist heute wiederum eine Zunahme des Sandes erkennbar; die Landgewinnung am Friedrichskoog hat die erwarteten Fortschritte gemacht. Die Forschung hat auf diese Weise einen unnützen Aufwand von Millionen DM verhindert.



Abb. 5. Die Insel Trischen vor der Zerstörung des Trischen-Kooges (Luftbild 1935, Archiv Marschenbauamt Heide)

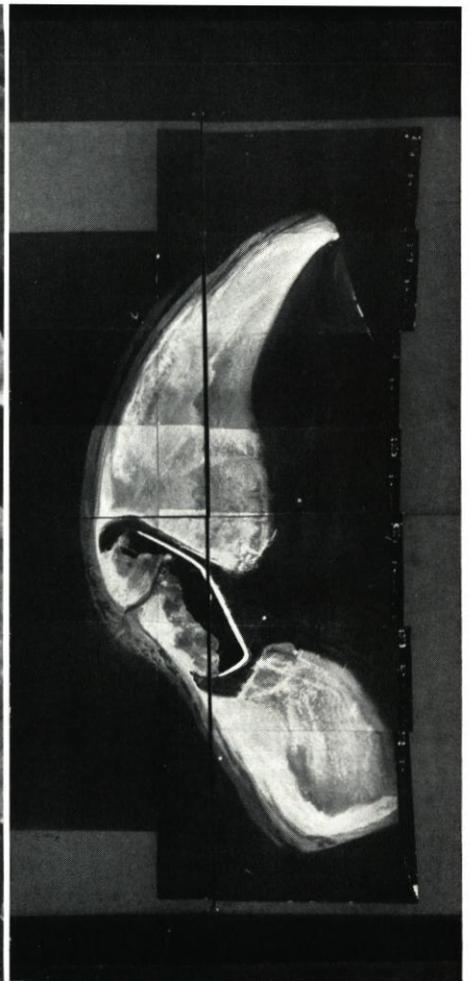


Abb. 6. Die Insel Trischen nach Einbruch des Meeres in den Trischen-Koog (Luftbild 1946, aus WOHLENBERG 1950)

2. Neue Forschungsmethoden und ihre Bedeutung

Bei den geschilderten Untersuchungen im Wattraum zwischen Elbe und Süder-Piep sind erstmalig fast alle Verfahren entwickelt worden, welche die Forschung in der Folge im gesamten Wattenmeer bei Strommessungen, bei Vermessung des trockenfallenden Watts durch Ni-

vellement und Luftbild, bei Peilung der Tiefs ebenso wie bei der geologischen und biologischen Kartierung, angewandt hat. Mit ihrer Hilfe sind u. a. zum ersten Mal einwandfreie, großräumige Karten des Watts und ebenso Tiefenkarten der Rinnen entstanden.

Die geologischen Aufschlüsse, die zunächst im engeren Untersuchungsraum vor dem Friedrichskoog gewonnen waren, wurden von der Forschungsstelle Büsum nach Süden bis zur Elbe und nach Norden bis Eiderstedt ausgedehnt. Sie haben zur Kenntnis der jüngeren erdgeschichtlichen und morphologischen Entwicklung auch im Außenelbegebiet wesentlich beigetragen. Einen wichtigen Beitrag für die Deutung der auf- und abbauenden Gezeitenkräfte in der jüngsten Vergangenheit und in der Gegenwart hat die in der Westküstenforschung entwickelte biologische Kartierung geliefert; sie hat die Umweltbedingungen der im Watt vorhandenen Lebewesen zum Kriterium von Sedimentarten und -formen gemacht und damit einen — heute unentbehrlichen — Beitrag zur Deutung der Veränderungen der Wattoberfläche geliefert.

So hat man — von den Untersuchungen am Beispiel Damm Friedrichskoog ausgehend — vom Wattengebiet vor Dithmarschen, auch in der Meldorfer Bucht, auf verschiedenen Wegen, aber mit dem gleichen Ziel, eine erste umfassende Zustandsaufnahme durchgeführt, die als ein wichtiges Glied der Maßnahmen zur Deutung der zurückliegenden Entwicklung, des gegenwärtigen und des künftigen Geschehens unentbehrlich geworden ist.

Aber auch die exakteste Messung der Formen und Kräfte schafft im besten Falle nur ein Augenblicksbild, das für sich allein keine Schlußfolgerung auf die künftige Entwicklung gestattet. Erst die Wiederholung der Messungen und Untersuchungen in größeren Zeitabständen wird eine Entwicklung erkennen lassen und in gewissen Grenzen eine Voraussage der Tendenz in der Zukunft gestatten. Zu solchen Voraussagen ist auch die Kenntnis aller zurückliegenden Entwicklungen unerlässlich. Einige geschichtlich arbeitende Wissenszweige, wie die Geologie und die Archäologie, ferner Seekarten und Segelhandbücher vermögen in gewissem Umfang einen Einblick in die zurückliegende Zustandsänderung zu geben. Sie sind aber für sich allein außerstande, das gegenwärtige Bild erschöpfend zu erklären oder gar Voraussagen für die Zukunft zu machen.

Die Umformung der Wattoberfläche und der Tiefs geht zwar an einzelnen Punkten schnell vor sich, im allgemeinen aber reicht ein Menschenleben nicht aus, um auch nur eine Entwicklungstendenz aus dem beobachteten Geschehen ableiten zu können. So wurde den mit der Erforschung der Küste beauftragten Ingenieuren und Wissenschaftlern bald klar, daß über die lückenhaften geschichtlich bekannten Daten hinaus nur die statistische Methode, nämlich der Vergleich verschiedener, zeitlich weit genug auseinander liegender, genügend gut erfaßter Zustände, zum Ziel führen würde.

Die Bedeutung der erstmaligen Bestandsaufnahme des ganzen Wattenmeeres liegt also vor allem darin, daß den nach uns kommenden Generationen bei Wiederholung der Bestandsaufnahme ein Schlüssel zur Deutung der Entwicklung, sowohl der Gestalt wie der sie formenden Kräfte, in die Hand gegeben wird, wie ihn so exakt weder Modellversuche noch Berechnungen zu geben vermögen.

3. Abdämmung der Eider

An einem weiteren wichtigen Punkt im dithmarscher Bereich, der Eidermündung, kam die Arbeit der Forschungsstelle Büsum leider nicht mehr zum Tragen. Die Abdämmung der Eider war nach mehrjähriger Untersuchung des Vorarbeitenamtes in Rendsburg im

Jahre 1934 begonnen und 1936 abgeschlossen worden. Trotzdem muß ich hier das Eiderthema kurz streifen.

Allgemein bekannt ist wohl die Entwicklung, die sich nach der im Jahre 1936 erfolgten Eiderabdämmung vollzogen hat. Sie ist auch heute noch nicht abgeschlossen. Nahezu 30 Millionen m³ Sand sind in weniger als zehn Jahren von See her durch die Tide in die Eider verfrachtet und dort abgelagert worden. Hier liegt ein trotz aller Sorgfalt der Voruntersuchungen vor der Abdämmung nicht genügend erkanntes Problem vor, mit dem sich die Forschung vor

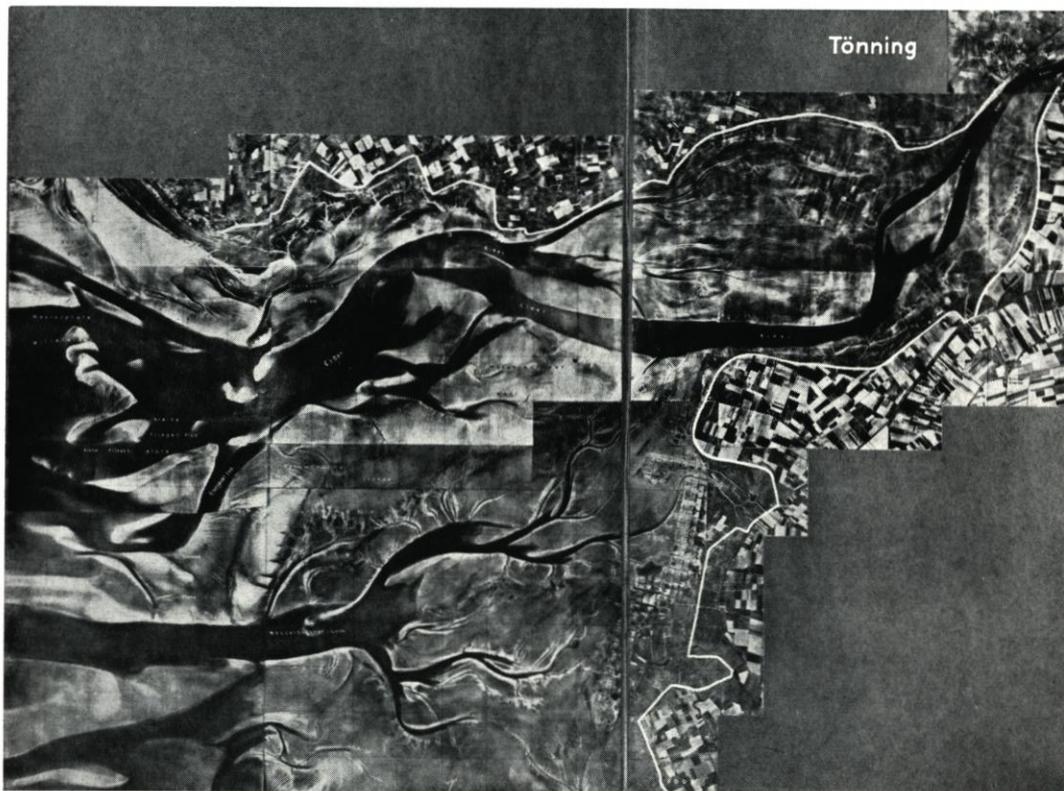


Abb. 7. Das Gebiet der Eidermündung mit den Außensänden
(Luftbild 1935, Archiv Marschenbauamt Heide)

dem Kriege zwar schon befaßt hatte, das sie aber nicht mehr klären konnte. Man glaubte, im Wattengebiet zwischen Eider und Elbe trotz großer Beweglichkeit der einzelnen Wattformen im ganzen eine Stabilität des Wattsockels zu erkennen. Darauf wies auch anscheinend das Jahrhunderte andauernde Vorrücken der Festlandsküste nach See zu hin. Es schien, als ob diese Entwicklung so lange mit der Tidebewegung im Eidermündungsbereich in einem gewissen Gleichgewicht gewesen war, als die Tide frei in die Eider ein- und auslaufen konnte. Ein gewisses Gleichgewicht scheint nicht nur im eigentlichen Eiderfluß, sondern auch im Wattengebiet des Mündungsbereiches vorhanden gewesen zu sein (Abb.7). Die Abdämmung bei Nordfeld hat flußabwärts der Abdämmungsstellen eine völlige Umgestaltung der Strömungs- und damit der Sinkstoffbewegung bis über Tönning hinaus herbeigeführt. Will man in Zukunft der Eider — die Abdämmung mit allen Folgemaßnahmen hat bisher über 40 Millionen RM und DM gekostet — nicht abermals einen Zwang antun, so darf man sich nicht nur auf Maßnahmen zur

sogenannten Anpassung der Flußquerschnitte an die nach der Abdämmung veränderte Wasserführung im Eiderlauf beschränken, sondern muß auch der Frage nachgehen, ob und mit welchen Mitteln es möglich sein wird, die Räumungskraft des Tidestromes im Mündungstrichter der Eider etwa wieder herzustellen. Diese Frage hängt wahrscheinlich — ähnlich wie wir es bei dem Geschehen im Raume Trischen vermuten — mit dem Problem der Sandwanderung an der schleswig-holsteinischen, ja der ganzen Nordseeküste zusammen.

IV. Aufgaben in Nordfriesland

1. Umbildung der Landschaft

In Nordfriesland gab — neben den weitgreifenden Plänen für Küstenschutz und Landgewinnung — ebenfalls eine gefahrendrohende Entwicklung den Anlaß, umfassende Untersuchungen einzuleiten. Diese Entwicklung bedarf einer besonderen Betrachtung.

Im Bereich der deutschen Nordseeküste war Nordfriesland als die in den letzten sechs Jahrhunderten von Naturkatastrophen am stärksten umgebildete Landschaft bekannt. Es mutet auf den ersten Blick widerspruchsvoll an, daß zum mindesten in der Geschichte der letzten vier Jahrhunderte große Landverluste und große Neuauflandungen im nahezu gleichen Raum nebeneinander vor sich gegangen sind. Das Besondere dieses Vorgangs ist, daß die Auflandung auch dann nicht aufhörte, als die Inseln und die eigentliche Küste vor etwa 150 Jahren ihre heutigen Umrisse erhalten hatten und damit eine Anreicherung des Wassers mit Sinkstoffen vom Landabbruch im großen aufgehört hatte.

Die starke natürliche Tendenz zur Anlandung führte schon früh zur Förderung durch künstliche Maßnahmen in Gestalt von Lahnungsbauten und Grüppelarbeiten. Bei den Anlandungen, die zur Gewinnung neuer Köge führten, fällt in Nordfriesland eine fette, d. h. tonige Struktur im Gegensatz zu den überwiegend sandigen Stoffen in den dithmarscher Anlandungsgebieten besonders auf.

2. Ausräumung der Wattströme — Auflandung am Festland und an den Inseln

Über die Herkunft der landbildenden Stoffe machte man sich — leider allzulange — keine ernsthaften Gedanken. Die landläufige Auffassung ging bis in die Zeit nach dem ersten Weltkrieg allgemein dahin, daß die große Nordsee und in ihr vielleicht die Doggerbank der unerschöpfliche Lieferant der fruchtbaren Stoffe sei. Auch die mit der Landgewinnung parallel laufende zunehmende Vertiefung einiger Wattströme und gelegentlich stärkere Angriffe von dort aus auf das Ufer hatten keine sonderlichen Bedenken ausgelöst. Meines Wissens erstmalig hat Anfang der dreißiger Jahre der Heimatforscher Dr. DELFF (1934) in Husum über das Ausmaß der Vertiefung des größten nordfriesischen Wattstromes, der Hever, Betrachtungen angestellt; er verglich die Bodenmasse der Auflandungen im Einzugsbereich der Hever während der letzten 300 Jahre mit der Ausräumungsmenge im Heverbett. DELFF stellte dabei fest, daß allein die in drei Jahrhunderten im Heverstrom ausgeräumten Bodenmassen ein Vielfaches der in der gleichen Zeit am Festland und an den Inseln aufgelandeten Stoffe ausmachten und wies auf die möglichen Beziehungen zwischen Ab- und Auftrag in dem genannten Raum hin. Seine Angaben fanden aber zunächst in der Öffentlichkeit wenig Beachtung. Sie stimmten aber mit meinen eigenen Beobachtungen und den Ergebnissen eines Studiums der Geschichte Alt-Nordstrands überein. Ich hatte mir in erster Linie über die aus dem Mißverhält-

nis zwischen Ab- und Auftrag entstehenden Gefahren für die Inseln und das Festland Gedanken gemacht, und so tauchten im Jahre 1933 angesichts der politischen Forderung nach Intensivierung der Landgewinnung vor der angeblich so landgewinnungsträchtigen Küste Nordfrieslands die entscheidenden Fragen auf: 1. Wo bleibt der erodierte Boden aus den Wattströmen? Da hier eine negative Bilanz festgestellt worden ist, ergibt sich dann die 2. Frage: Welche Mengen bleiben für einen Auftrag noch verfügbar, und wie gelangen sie von den Abtragstellen zu den Auftragstellen? Mit der Forderung nach Beantwortung dieser Fragen war der Forschungsstelle Husum eine ihrer wichtigsten Aufgaben gestellt.

3. Nordfriesisches Wattenmeer

So begann im nordfriesischen Wattenmeer die „Bestandsaufnahme“ in ähnlicher Weise wie in Dithmarschen. Bis zum Beginn des zweiten Weltkrieges hatte die Forschungsstelle die Oberfläche des trockenfallenden Wattenmeeres fast zur Hälfte durch Nivellement und fast vollständig durch Luftbild vermessen und die Tiefs gepeilt. Die daraus gewonnenen und die nach dem Kriege vollendeten Karten sind später an die topographischen Grundkarten des Festlandes angeschlossen worden.

Zur Klarstellung der erdgeschichtlichen Entwicklung an Hand einer sehr großen Zahl alter und neuer Bohrungen kam in Nordfriesland dem Geologen, dessen Arbeit vornehmlich über die ältere Vergangenheit Aufschluß liefern kann, der Archäologe zu Hilfe. Durch Untersuchung zahlreicher, teils bekannter, teils neu entdeckter Siedlungsspuren, hat der Archäologe nicht nur siedlungsgeschichtlich wertvolle Aufschlüsse erzielt, sondern auch wichtige Anhaltspunkte zum Thema der Küstensenkung dieses Gebiets in geschichtlicher Zeit gewonnen (vgl. Aufsatz BANTELMANN in diesem Heft).

Nachdem man den gesamten Raum des Wattenmeeres und seine Substanz kannte, war ein Vergleich der am Festland aufgelandeten Stoffe mit denen möglich, die vom Gezeitenstrom aus den Rinnen und auf dem Watt ausgeräumt wurden. Durch eingehende, unter anderem sedimentpetrographische, Untersuchungen wurde die völlige Gleichheit des ausgeräumten mit dem aufgelandeten Material nachgewiesen. Nachdem man weiter durch eingehende Messungen in den Wattstrommündungen gefunden hatte, daß keine nennenswerten Mengen an Feststoffen aus der See in das Watt gelangten, wurde klar, daß — abgesehen von den durch den Biologen festgestellten organischen Neubildungen im Watt selber — die Auflandung am Festland ganz überwiegend der Ausräumung in den Wattströmen und zum Teil auch der Abräumung auf den Wattoberflächen zu verdanken sei. Dieser Umlagerungsvorgang vollzieht sich, wie auch FISCHER (1955/58) in seinem Werk „Das Wasserwesen an der schleswig-holsteinischen Nordseeküste“ feststellt, schon seit Jahrhunderten mit dem Ergebnis, daß im Gesamtraum des nordfriesischen Wattenmeeres durch Ausräumung der Wattoberfläche und der Wattströme in der Vergangenheit erheblich größere Stoffmengen durch Verfrachtung nach See hin endgültig verlorengegangen sind, als sie zur Neulandbildung an das Festland gelangten. Eine nach dem Kriege wiederholte Aufnahme des Hever-Einzugsgebietes durch die Forschungsstelle Husum und die Vorarbeitenstelle Nordfriesland hat im Vergleich zu der ersten Aufnahme in den dreißiger Jahren den Fortgang der Ausräumung im ganzen bestätigt. Wenngleich diese Feststellung bisher nur für den Raum südlich der Linie Langeneß, Oland, Dagebüll durch Untersuchungen schlüssig nachgewiesen ist, ist anzunehmen, daß sie im Prinzip auch für andere Ströme, so die Einzugsbereiche Norderaue und Hörnumtief, gilt. Auch hier ist die Ausräumung anscheinend wesentlich größer als die Anlandung, die indessen im Gebiet südlich des Hindenburgdammes sehr beachtlich ist.

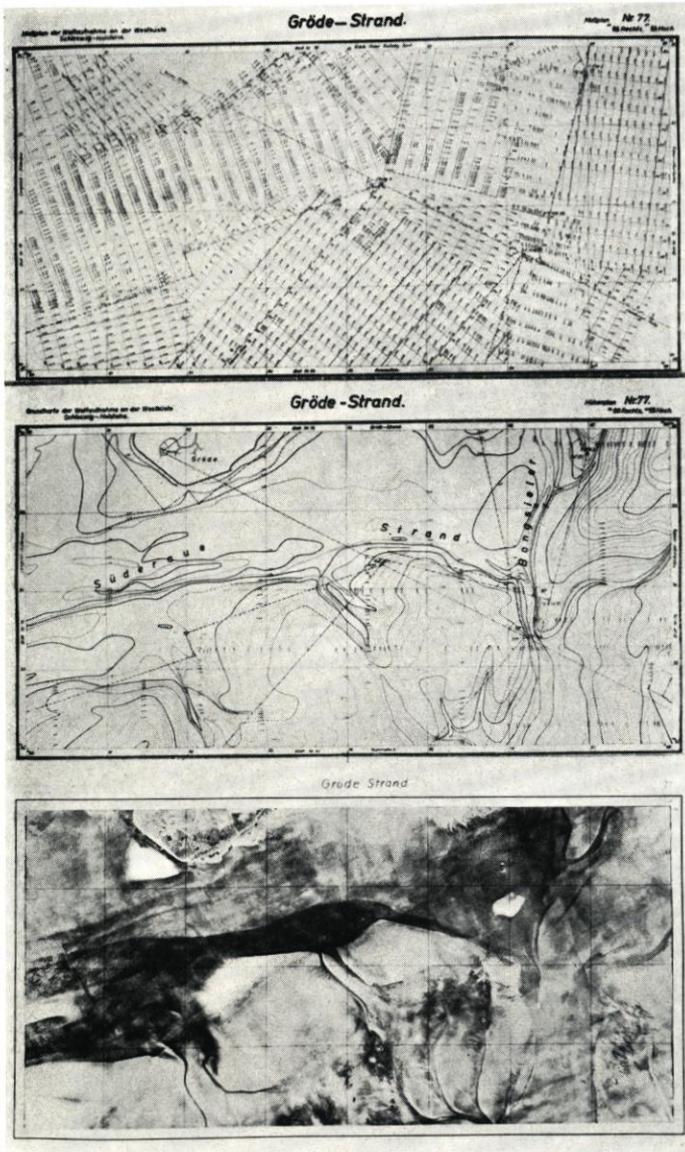


Abb. 8. Die nivellitische und luftbildmäßige Vermessung des Wattenmeeres dargestellt an der Watten-Grundkarte bei Hallig Gröde im Maßstab 1:10000.
 Oben: Meßplan
 Mitte: Höhenlinienplan
 Unten: Luftbildplan

4. Stoffbilanz im nordfriesischen Raum

Wenn von der negativen Stoffbilanz im nordfriesischen Raum gesprochen wurde, so ist einschränkend zu bemerken, daß diese Bilanz bisher eindeutig nur für das innere Wattenmeer gezogen werden konnte. Die Seekarte zeigt, daß der seeseitige Rand des inneren Wattenmeeres von Eiderstedt bis Hörnum ein von Strömen unterbrochener Sandgürtel ist. Dieser ist in seiner Masse, seinem Aufbau und seinen Formänderungen noch nicht näher untersucht worden. Sicherlich stehen diese Sände und die Lage und Form der sie durchschneidenden Ströme in Beziehung zur Gestalt und Gestaltänderung des inneren Wattenraumes, dem die Sände

zur Zeit einen beachtlichen Schutz gewähren. Erst ihre nähere Untersuchung im Zusammenhang mit der Sandwanderung an der Küste wird unter anderem auch Aufschluß über die Beziehung zwischen den Außensänden und den Vorgängen im inneren Wattenmeer Nordfrieslands geben.

5. Bau eines Dammes vom Festland nach Pellworm

Mit der erstmalig in grundlegenden Untersuchungen gewonnenen Erkenntnis der durch die Wattumformung und das Vordringen der größeren Tiefen zum Festland hin entstehenden Gefahren ergab sich für die Forschungsstelle Husum die weitere entscheidende Aufgabe, nach Wegen zu suchen, um diese Gefahr zu bannen. Als die wirksamste Lösung wurde, aufbauend auf den geschilderten Untersuchungen und ihrer Auswertung und unterstützt durch einen Modellversuch für den südlichen Teil des nordfriesischen Wattenmeeres, die Trennung der Stromgebiete Süderau und Norderhever durch einen Damm vom Festland nach der Insel Pellworm vorgeschlagen (Abb. 10). Durch die Begrenzung der Einzugsgebiete und eine anschließend erwartete Aufladung wollte man zunächst der fortschreitenden Erosion und Umlagerung Einhalt gebieten. Die Wiederholung der Untersuchungen und ihre Vertiefung nach einer erneuten Bestandsaufnahme nach dem zweiten Weltkrieg hat den im Jahre 1939 aufgestellten Plan als richtig und damit seine Ausführung im Interesse eines dauerhaften Küstenschutzes in Nordfriesland als besonders dringlich bestätigt. Zu ähnlichen Untersuchungen im nördlichen Teil des nordfriesischen Wattenmeeres im Raum hinter Amrum, Sylt und Föhr ist es vor dem Kriege nicht mehr gekommen. In diesem Bereich haben die mit der Fortführung der Vorkriegsuntersuchungen vom Lande Schleswig-Holstein betrauten Dienststellen, die Vorarbeitenstelle Nordfriesland und die Forschungsstelle Westküste für Geologie, Bodenkunde und Biologie, in den letzten Jahren wertvolle Arbeit geleistet.

Ich halte Untersuchungen in diesem Raum deshalb für so wichtig, weil auch der Bau des Hindenburgdammes zwei Stromsysteme östlich der Insel Sylt — das Lister Tief und das Hörnum Tief — voneinander getrennt hat. Die Anlandung ist nicht nur im Anschluß an den Dammbau, sondern auch nach Bedeichung des Friedrich-Wilhelm-Lübke-Kooges (1954) unvermindert stark im Fortschreiten begriffen. Dieser Erscheinung muß, wenn die Verhältnisse denen an der Hever ähnlich sind, eine sehr starke, nicht ungefährliche Ausräumung im Watt zwischen dem Festland und den Inseln Föhr, Amrum und Sylt gegenüberstehen. Man wird aus übergeordneten küstenschutztechnischen Gründen hieraus Folgerungen ziehen müssen.

6. Damm von Eiderstedt bis Sylt

Eine wesentliche Vertiefung und Befruchtung der geschilderten Untersuchungen und Arbeitsmethoden bedeutete für die Ingenieure und Wissenschaftler ein im Jahre 1936 erteilter, zunächst abseits der bisherigen Arbeit liegender Auftrag, der in geradezu idealer Weise gestattete, die neuen Forschungsverfahren an einem praktischen großen Beispiel anzuwenden. Maßgebliche Persönlichkeiten hatten den schon oft vorgetragenen, in Fachkreisen abgelehnten Plan wieder aufgegriffen, das gesamte nordfriesische Wattengebiet von rund 100 000 ha durch einen Damm von Eiderstedt bis Sylt mit einem Schlage einzudeichen, große Flächen neuen Siedlungslandes zu gewinnen und die ganze nordfriesische Küste zu schützen. So verlockend dieser Gedanke im Interesse des Küstenschutzes auch von jeher erschienen war, so standen ihm — von den Kosten abgesehen — doch schwere technische Bedenken entgegen, auf die ich hier nicht einzugehen brauche. Abgesehen davon äußerten die verantwortlichen Wissenschaftler aus der Landwirtschaft und der Bodenkunde Bedenken gegen die Verwendbarkeit der eingedeich-

ten Flächen für landwirtschaftliche Zwecke. Die Fachressorts im Reichs- und Preußischen Ernährungsministerium teilten diese Bedenken und erwirkten die Bereitstellung erheblicher Mittel für eine eingehende technisch-wissenschaftliche Untersuchung des Bedeichungsplanes. Unter Zusammenfassung aller Hilfskräfte und -mittel wurde daraufhin innerhalb eines Sommers die



Abb. 9. Der projektierte Damm zwischen der Insel Sylt und Eiderstedt (Dix-Plan)

Bodengüte des gesamten trockenfallenden Watts untersucht. Um mit dieser Untersuchung bei der knappen verfügbaren Zeit grobe Irrtümer zu vermeiden und möglichst zutreffende Ergebnisse zu erzielen, wurden unabhängig voneinander drei verschiedene Verfahren angewandt, nämlich die sinnlich den Boden ansprechende bodenkundliche Methode von STREMMER und OSTENDORF (1943), die klassische mineralogisch-bodenkundliche und schließlich die von WOHLENBERG entwickelte und von PLATH durchgeführte biologische Kartierung. Die Kartierung

stützte sich auf ein nicht zu weitmaschiges Netz von Bohr- bzw. Schürfpunkten, deren Lage- und höhenmäßige Einmessung gleichzeitig eine Verdichtung und Kontrolle des Watthöhenplanes, der geologischen und der biologischen Bestandsaufnahme ermöglichte. Die vergleichende Auswertung dieser Kartierungen, deren Durchführung an sich schon eine erstaunliche Leistung in der Feldarbeit erforderte, ergab, daß von rund 80 000 ha trockenfallendem Watt höchstens 17 000 ha festlandnahen Watts landwirtschaftlich nutzbar sein würden. Die übrige Fläche stellte sich im wesentlichen als landwirtschaftlich völlig wertlos heraus. Mit Hilfe dieser Untersuchung konnte der Plan einer Bedeichung des gesamten Wattenmeeres, die zudem schätzungsweise mindestens 50 000 RM/ha gekostet haben würde, als abgetan gelten (OSTENDORFF 1943, IWERSEN 1943, PLATH 1943 und HERRMANN 1943).

Die umfangreiche Untersuchung hatte jedoch für den Küstenschutz beachtliche Erkenntnisse von weitgehender praktischer Bedeutung geliefert. IWERSEN (1953) und WOHLLENBERG (1953) hatten schon vorher am Beispiel des Deichbaues Finkhaushallig eingehende Untersuchungen und Versuche über die Nutzbarmachung nicht reifer Wattböden angestellt. Die Ergebnisse hatten nun erstmals praktische Möglichkeiten einer Einbeziehung von Wattsedimenten in die Bedeichung und landwirtschaftliche Nutzung gezeigt und den Plan der Wattedeichung am Hindenburgdamm entstehen lassen, der 1939 unmittelbar vor seiner Inangriffnahme stand, aber infolge des Krieges nicht mehr zur Ausführung gelangte. Die bisherigen Erfolge in dem 1955 fertiggestellten 1 300 ha großen Friedrich-Wilhelm-Lübke-Koog haben die Untersuchungen und Versuche IWERSENS und WOHLLENBERGS vollauf bestätigt.

Diese Erfolge haben aber im Sinne des Küstenschutzes noch eine weitere Möglichkeit eröffnet. Die Bedeichung eines Kooges am Hindenburgdamm sollte nach den Ergebnissen der geschilderten Gesamtwattkartierung als erstes großes Beispiel einer Wattbedeichung gelten; seine Bewährung sollte den Auftakt zu weiteren ähnlichen Maßnahmen geben, mit deren Hilfe der Schutz der Küste durchgreifend verbessert werden sollte. Ich erwähnte bereits, daß die Untersuchungen über die fortdauernde Umlagerung im Wattenmeer am Beispiel der Hever zu dem Vorschlag einer Begrenzung der Einzugsgebiete der Wattströme geführt habe. Nachdem die geschilderte Kartierung vornehmlich im südlichen Teil des Wattenmeeres in Verbindung mit dem hier vorhandenen grünen Vorland in Küstennähe landwirtschaftlich nutzbare Wattgebiete dargetan hatte, lag der Gedanke nahe, im Anschluß an die Trennung der Stromgebiete, durch schrittweise Bedeichung solcher Flächen ein allmähliches Aufhören der Ausräumung zu erreichen.

7. Entwässerung in Nordfriesland

Der Plan einer Wattbedeichung ließ den Gedanken aufkommen, damit zugleich eine durchgreifende Verbesserung der Entwässerung der großen Marsch- und Niederungsgebiete Nordfrieslands zu verbinden. Die Entwässerungsschwierigkeiten lagen, wie überall in den Marschen, darin, daß zu Zeiten großer Niederschläge und starker Westwinde weder die Geesttäler noch die Marschen die Niederschlagsmengen gefahrlos aufnehmen konnten, ohne große Marschflächen ganz oder zeitweise ihrer Nutzung zu entziehen. Mit der Eindeichung auch tiefliegender Wattflächen sollte die schon vor dem Kriege als notwendig erkannte und in Aussicht genommene Verstärkung alter Seedeiche streckenweise entbehrlich gemacht werden. Ferner sollte ein genügend großer Auffang- und Stauraum geschaffen werden, in dem die Niederschlagswasser gespeichert werden, bis sie später zur See hin abgeführt werden können. Mit dem gespeicherten Wasser sollte auch in Trockenzeiten Süßwasser zur Versorgung der Marschen zur Verfügung stehen und der schädliche Einfluß des Salzwassers auf das Grundwasser der Marschen weiter abgedrängt werden. Diese dem Schutz der Küste, der Landgewinnung

GENERALPLAN NORDFRIESLAND

Dammbauten und Wateindeichungen (STAND 1941)

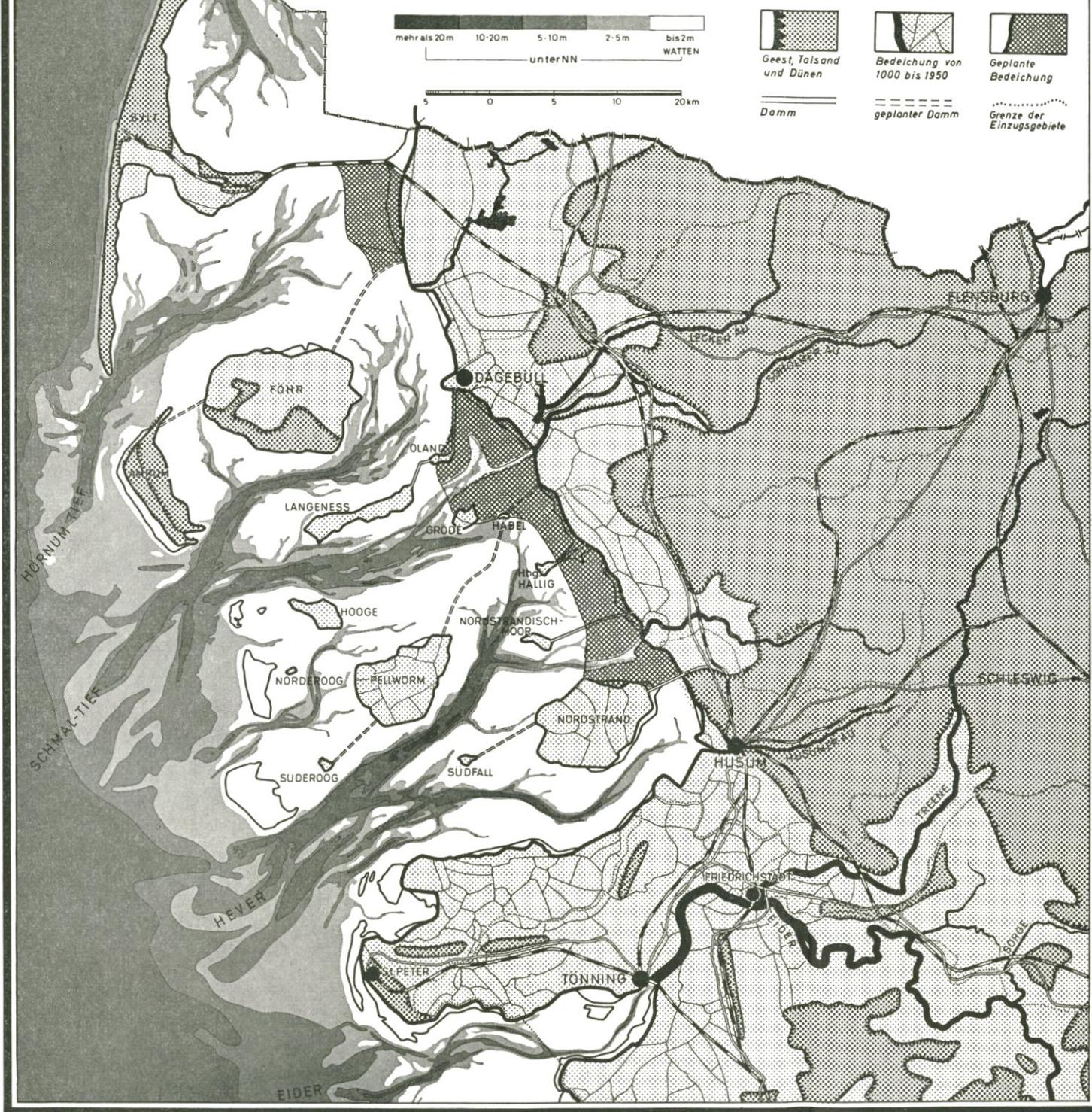


Abb. 10

(aus LORENZEN 1956)

und der Wasserwirtschaft der Marschen gleichermaßen zugewandten Gedanken führten dann zu dem im Jahre 1941 fertiggestellten sogenannten „Generalplan zum Schutze Nordfrieslands“, nach welchem eine etwa 12 000 ha große Vorland- und Wattfläche durch Beideichung dem Einzugsbereich der Tide nach und nach entzogen werden sollte (LORENZEN 1956 und Abb. 10). Im Verfolg dieses Gedankens ist jetzt vom Lande Schleswig-Holstein ein erster Schritt mit der Eindeichung eines Grünland- und Wattgebietes vor Bongsiel in Größe von insgesamt 1200 ha getan worden. Damit wird die künstliche Entwässerung eines 75 000 ha großen Niederschlagsgebietes durch ein Großschöpfwerk bei Bongsiel vermieden. An dem Erfolg dieses Vorhabens ist nicht zu zweifeln, vorausgesetzt, daß man den Stauraum in vollem Umfange für seine Aufgaben — Ent- und Bewässerung — ständig bereithält.

8. Fortführung der Vorarbeiten zum Schutz Nordfrieslands

Weitere schon vor dem zweiten Weltkriege überlegte Maßnahmen, die der Zerstörung im Wattenmeer Einhalt gebieten und damit zur Sicherung Nordfrieslands führen sollten, wie z. B. der Bau der Dämme nach Föhr und Amrum, Süderoog und Südfall, bedürfen, da die Voruntersuchungen seit Kriegsbeginn geruht hatten, noch sehr eingehender Vorarbeiten. Diese sind seit 1950 von den Dienststellen der Wasserwirtschaftsverwaltung Schleswig-Holsteins tatkräftig wieder aufgenommen und gefördert worden. Trotz beschränkter Mittel haben nach dem Kriege zunächst die Forschungsstelle Husum und die Pegelaußenstelle Büsum, beide ab 1945, später die Vorarbeitenstelle Nordfriesland des Marschenbauamts in Husum sämtliche bei Kriegsausbruch verbliebenen Lücken in der Wattvermessung ausgefüllt. Die Vorarbeitenstelle Nordfriesland in Husum hat nicht nur für den Dammbau Pellworm, sondern auch im nördlichen Teil des Wattenmeeres durch Wiederholung der Wattvermessung und der Peilungen die Erkenntnisse vertieft und ihre Planungen danach aufgebaut.

Ich kann es mir versagen, auf die Ergebnisse jener Untersuchungen hinzuweisen, die im Interesse des Schutzes der Insel Sylt ausgeführt worden sind. Sie sind in der Schriftenreihe „Die Küste“ durch Aufsätze von HUNDT (1957) und LAMPRECHT (1957) beschrieben.

9. Entwicklung und Bedeutung der biologischen Arbeiten

Ich konnte die Arbeit der Küstenforschung vor der schleswig-holsteinischen Westküste hier nur in großen Zügen wiedergeben, wobei ich mich bemüht habe, den eigentlichen Hauptgedanken „Forschung im Interesse des Küstenschutzes“ herauszuschälen. In diesem Zusammenhang muß ich aber noch einen Forschungszweig hervorheben, der dem Küstenschutz in besonderem Maße praktisch dienstbar gemacht worden ist. Es ist die Arbeit des Biologen, dessen Tätigkeit ich bei der Wattkartierung schon erwähnte. Im Wattenmeer vor der Westküste hat der Biologe erstmalig die Welt der Lebewesen nicht nur zu einem entscheidenden Kriterium der Auf- und Abbauvorgänge gemacht, sondern hier sind erstmalig auch Lebewesen unter Beachtung ihrer Lebensweise und Umwelt planmäßig in die praktische Arbeit des Wasserbaues eingeschaltet worden. So gelang es Dr. WOHLBERG, den Queller (*Salicornia herbacea*) als Pionier der Landgewinnung auf weiten Wattflächen neu anzusiedeln und damit den Vorgang der Anlandung und den Küstenschutz auch dort zu fördern, wo die Natur selbst nicht ohne weiteres dazu bereit war. WOHLBERG's und seiner Mitarbeiter grundlegende Forschung auf dem Gebiet der Lebensgemeinschaften am und im Meer hat nicht nur im Watt, sondern auch im grünen Vorland und an den Deichen zur Stärkung des natürlichen Schutzes wesentlich beigetragen.

V. Sandwanderung in der inneren Deutschen Bucht

In meinen bisherigen Ausführungen habe ich verschiedentlich die Abhängigkeit der Küstenschutzmaßnahmen und der Küstenforschung von der Sandwanderung angesprochen. Fast alle bisherigen Einzelergebnisse in der Küstenforschung zeigen den Zusammenhang mit der Sandwanderung. Trotz sehr beachtlicher Einzeluntersuchungen über dieses Thema, vor allem im Raum der Ostfriesischen Inseln, ist bis heute weder die Herkunft des Sandes noch seiner Bewegung und seines Verbleibs am Rande des Wattenmeeres in der Deutschen Bucht und in den großen Strommündungen geklärt. Bisher war, wenigstens in Deutschland, die Meinung vorherrschend, daß der Sand von Westen aus dem englischen Kanal stammend, vor der west- und ostfriesischen Inselkette entlang die Ems, Jade, Weser und Elbe durchwandert und sich irgendwo im Inneren der Deutschen Bucht, etwa im Raume der Außenelbe und der dithmarscher Küste, anlegt. Ein Beweis hierfür, und ob eine solche Tendenz heute noch anhält, fehlt bis jetzt. Holländische Beobachtungen über die Bewegung von Großriffeln in großer Tiefe in Richtung auf die Küste haben gezeigt, daß sich der Sand auch aus größeren Tiefen in Richtung auf die Küste zu bewegt. Diese Feststellung regt zu ähnlichen Untersuchungen vor den deutschen Küsten an. Wir sehen also, daß hier für den Schutz der Küste, für die Seewasserstraßen und die Wasserwirtschaft noch eine große Forschungsaufgabe vorliegt, von deren Lösung diejenige der meisten Untersuchungen im Küstenbereich schließlich abhängen wird. Wir sollten uns angesichts dieser neuen Forschungsaufgaben darüber klar sein, daß der Untersuchungsraum nicht zu eng gefaßt werden darf. Wir müssen uns lösen vom engen Bereich des Wattenmeeres, denn dessen Haushalt hinsichtlich Substanz und Dynamik liegt nicht im Vorfeld unserer Seedeiche, sondern im marinen Seebereich draußen vor dem Wattenmeer. Dort hinaus haben wir die analytische Fragestellung in Zukunft zu richten.

VI. Voraussetzungen für erfolgreiche Forschungen

Die Ausführungen über die bisherigen Untersuchungen und die Notwendigkeit weiterer Forschungen an der deutschen Küste wären unvollständig, wenn nicht aus der Erfahrung die wichtigsten Voraussetzungen genannt würden, die vor dem Kriege die ganze Forschungsarbeit ermöglicht und befruchtet haben. Untersuchungen an der Seeküste erfordern immer erhebliche Geldbeträge, ohne daß der Wert solcher Arbeit gleich in Geld ausgedrückt werden kann. Es muß für die Forschungsarbeit als ein ungewöhnlich günstiger Umstand betrachtet werden, daß es gelang, für die Untersuchungen an der schleswig-holsteinischen Westküste in den fünf Jahren vor dem Kriege aus Haushaltsmitteln des Reiches und Preußens einen Betrag von 3 Mill. RM zu erhalten. Auch wenn die Vorkriegsarbeit unvollendet blieb, glaube ich, den Nutzen dieses Aufwandes in meinen Ausführungen deutlich gemacht zu haben, denn nur auf der Grundlage und den Ergebnissen jener Arbeiten konnte man trotz der schmerzlichen Zeit- und Arbeitslücke von 1940 bis 1950 weiterbauen, die Gefahren und die Grenzen des Möglichen erkennen und große Maßnahmen in Angriff nehmen.

Noch entscheidender als die finanziellen waren und sind für das Gelingen einer solchen Arbeit die menschlich-fachlichen Voraussetzungen. Hier darf ich sagen, daß die mühevollen geistigen und teilweise auch körperlichen Leistungen nur vollbracht worden sind, weil sich eine Gruppe von Menschen und zugleich Fachleuten in ihr zusammenfand, die in geradezu idealer Einmütigkeit zwischen Technik und Wissenschaft ganz in der Aufgabe aufgingen. Sie fanden ebenso die verständnisvolle Förderung und Anerkennung durch die vorgesetzte Fachbehörde wie durch den im Jahre 1934 berufenen „Ausschuß Westküste“. Der Ausschuß West-

küste, in ihm vor allem Professor Dr.-Ing. AGATZ und Professor KÖRNER, und eine Reihe wissenschaftlicher Institute haben die Arbeit der Forschung ständig beraten und gefördert. Den Anregungen des Ausschusses Westküste ist es im besonderen Maße zu danken, daß sich das Reichs- und Preußische Ernährungsministerium entschloß, im Jahre 1938 auch für den Bereich der Ostfriesischen Inseln auf Norderney zur Klärung der Abbruchsursachen eine Forschungsstelle einzurichten. Bevor diese Forschungsstelle Norderney die auch im ostfriesischen Raum vorgesehene Bestandsaufnahme abschließen und zu Folgerungen gelangen konnte, brach der Krieg aus.

VII. Neue Forschungsaufgaben

1. Aufgaben des Küstenschutzes

Nach dem Kriege stand die Forschung auch politisch vor einer völlig neuen Lage. Die Aufgaben des Küstenschutzes, die bisher für die ganze Nord- und Ostseeküste in einer Hand, nämlich bei Preußen bzw. dem Reich, gelegen hatten, gingen im Bereich der Nordsee auf die neugebildeten Länder, insbesondere Schleswig-Holstein und Niedersachsen, über. In einer Hand blieben lediglich die früher vom Reich, nunmehr vom Bund wahrgenommenen Aufgaben an den Wasserstraßen und in Verbindung damit einige Küstenschutzaufgaben, wie auf den Inseln Borkum und Wangerooge. Damit war auch die große Klammer für eine einheitliche Küstenforschung weggefallen. Die finanziellen Sorgen ließen die neuen Träger des Küstenschutzes verständlicherweise zunächst an andere Dinge als an die Küstenforschung denken. Da eine große Anzahl der eingearbeiteten Kräfte entweder gefallen war oder nicht an ihren alten Arbeitsplatz zurückkehren konnte, bedurfte es einer längeren Zeit, bis sich der Gedanke der Küstenforschung wieder durchsetzte. Man darf auch nicht vergessen, daß das Bedürfnis nach einer umfassenden und einheitlichen Arbeit zur Klärung der Naturvorgänge in der Deutschen Bucht auch vor dem Kriege und erst recht nachher von verhältnismäßig wenigen Menschen — auch unter den Wasserbauern — erkannt wurde. Nach dem Kriege, als die Länder Niedersachsen und Schleswig-Holstein Träger des staatlichen Küstenschutzes geworden waren, bestand also zunächst die Gefahr, daß die Küstenforschung nicht wieder in Gang gekommen und damit ein großer Teil der vor dem Kriege geleisteten Vorarbeiten nutzlos sein würde.

Aber auch jetzt kamen der Wiederaufnahme von Untersuchungen einige Ereignisse zugute, die zur Fortführung der vor dem Kriege begonnenen Untersuchungen zwangen: In Niedersachsen waren es vor allem die starken Zerstörungen am Westende von Norderney, in Schleswig-Holstein die fortschreitenden Zerstörungen am Westufer der Insel Sylt. Dazu kam die schon erwähnte Entwicklung der Eider, die Ende der vierziger Jahre angesichts der drohenden Katastrophe wieder zwangsläufig zu eingehenden Untersuchungen drängte. Alle drei Aufgaben mußten sich folgerichtig mit dem immer noch nicht geklärten Problem der Sandwanderung auseinandersetzen. In Verbindung mit anderen notwendigen baulichen Aufgaben, vor allem aber aus Anlaß der schweren Sturmflutkatastrophe in Holland, wurde der Gedanke an die gemeinsame Gefahr an der ganzen deutschen Küste wieder lebendig; denn die gefährdeten Deiche vor der deutschen Nordseeküste standen alle unter der gleichen Gefahr wie im benachbarten Holland.

2. Ausbau der Schiffahrtsstraßen

Auch die Wasserbauverwaltung des Bundes stand nach dem Kriege an der Küste vor neuen Aufgaben. Im Zuge des schnellen Anwachsens der Schiffsgrößen begannen auf den See-

schiffahrtsstraßen Engpässe zu entstehen, die zu der Forderung nach größeren Fahrwassertiefen führten, ein Problem, an dessen Lösung man nicht ohne gründliche Voruntersuchungen herangehen konnte. Diese wurden zunächst für die Ems eingeleitet und in der Folge durch den Auftrag des Herrn Bundesministers für Verkehr, die technischen und wirtschaftlichen Grenzen einer Vertiefung der Seewasserstraßen zu ermitteln, auf Jade, Weser und Elbe ausgedehnt. Da die Vertiefung, die sich auch auf den Bereich des Wattenmeeres und damit der Sandwanderung ausdehnt, nicht ohne Einfluß auf die Bedürfnisse des Küstenschutzes sein kann, ergab sich für die Untersuchungen an den Seewasserstraßen eine enge Verbindung zu ähnlichen Aufgaben im Dienste des Küstenschutzes.

3. Notwendigkeit einer Zusammenarbeit von Bund und Ländern auf dem Gebiet der Küstenforschung

Leider ist nach dem Kriege eine sehr störende Aufspaltung in der Forschungsarbeit eingetreten. Die neue staatsrechtliche Gliederung und die Aufteilung der Verwaltungszuständigkeit haben dazu geführt, daß sich Anfang der fünfziger Jahre ohne eine wünschenswerte Fühlungnahme miteinander folgende Dienststellen mit Küstenforschung beschäftigten:

In Nordfriesland:

Forschungsstelle Westküste für Biologie, Bodenkunde und Geologie,
Vorarbeitenstelle Nordfriesland,
zunächst mit dem Thema Sylt, später mit der Aufgabe Dammbau Pellworm.

Im Eidergebiet:

das Wasser- und Schiffsamt Tönning
mit den Folgen der Eiderabdämmung.

In Dithmarschen:

die Pegelaußenstelle Büsum
mit den Problemen des Dithmarscher Watts.

Im Elbegebiet:

die Wasser- und Schiffsdirektion Hamburg.

Im Bereich der Unterweser:

die Wasser- und Schiffsdirektion Bremen.

In der Jademündung:

das Wasser- und Schiffsamt Wilhelmshaven und
das Wasserwirtschaftsamt in Wilhelmshaven.

Auf den Ostfriesischen Inseln:

die Forschungsstelle Norderney
mit dem ostfriesischen und Oldenburger Watt- und Inselgebiet.

Im Emsgebiet:

das Wasser und Schiffsamt Emden.

Da im allgemeinen Bund und Länder nur verhältnismäßig geringe Mittel bereitstellten, auch nicht überall geeignete Kräfte verfügbar waren, gingen die Untersuchungen in den ersten Jahren nur sehr langsam vorwärts. Trotzdem sind, wie die wesentlichen, bekannten Berichte über Untersuchungsergebnisse auf Sylt, an der Eider, auf Norderney und an der Ems beweisen, recht beachtliche Ergebnisse zu verzeichnen.

Die Erkenntnis, daß die nach dem Kriege eingetretene sehr starke Aufspaltung der Verwaltungszuständigkeit an der Küste unter keinen Umständen eine gleich starke, dauernde Aufspaltung der Forschungsarbeit zur Folge haben dürfte, hat dann Ende Oktober 1949 den Bund

und die genannten Küstenländer, zu denen nun auch Hamburg und Bremen traten, zu einer gemeinsamen Entschließung über die Bildung eines Küstenausschusses Nord- und Ostsee geführt. Die Hineinnahme der der Bundesrepublik verbliebenen kurzen Ostseeküstenstrecke in Schleswig-Holstein erschien angesichts vieler vorliegender ähnlicher Probleme geboten. Bund und Länder vereinbarten über die Grenzen ihrer Verwaltungszuständigkeit hinaus eine Zusammenarbeit in der Küstenforschung. Die seit der Gründung des Küstenausschusses gewachsene und durch die Erfahrungen der Sturmflutkatastrophe in Holland verstärkte Zusammenarbeit, sei es in den Arbeitsgruppen, die sich der Erarbeitung von Empfehlungen für übergeordnete Fragen widmeten, sei es in dem Gedankenaustausch der zahlreichen Untersuchungsstellen, hat die Küstenforschung selbst stark belebt. So wurden die Untersuchungen der möglichen Sturmfluthöhen, technische Empfehlungen für Küstenschutzbauten u. a. m. im Einvernehmen zwischen allen verantwortlichen Stellen bearbeitet. Auch wurden Untersuchungsmethoden auf verschiedenen Gebieten und die Entwicklung von Meßgeräten im ganzen Küstenbereich abgestimmt. Nach dem Vorbild Hollands soll auch die bei uns nicht entbehrliche Berechnung der Gezeitenbewegung in flachen Gewässern und Strommündungen möglichst einheitlich entwickelt und angewandt werden. Die Gezeitenberechnung, die nach älteren Verfahren zuerst für die Weser, nach neuerem Verfahren für die Ems durchgeführt wurde und jetzt auch in der Eider zur Anwendung kommen soll, wird in erster Linie der Bund für seine Seewasserstraßen einsetzen. Sie wird aber auch im Dienste des Küstenschutzes nicht entbehrlich sein.

Zu einer, vielleicht der schwierigsten, Frage möchte ich eine Anregung geben, nämlich zur Frage einer großräumigen Untersuchung der Sandwanderung. Mit Teiluntersuchungen ist die Frage nicht zu lösen, hier kann nur eine Zusammenarbeit aller Stellen in Bund und Ländern sowie der Nachbarländer Holland und Dänemark zu einer Lösung des Problems führen. Im Sinne eines einheitlichen Arbeitens an der Küste wird die Formänderung der Sände und Rinnen am Rande des Wattenmeeres von Texel bis Blaavandshuk im Laufe der letzten drei bis vier Jahrhunderte zur Zeit in einer geschichtlichen Arbeit von Dr.-Ing. BAHN untersucht, der damit bereits einen Beitrag zur Klärung der Sandwanderung liefern wird.

Zum Abschluß des Berichtes wenden wir unsern Blick noch einmal kurz zurück auf die Leistungen der vor uns lebenden Küstenbewohner, um das innere und äußere Maß der Verpflichtung erkennbar werden zu lassen (vgl. auch LORENZEN 1955).

In unserer Zeit, in der die Naturwissenschaften Hand in Hand mit der Technik dem Menschen weitere und neue Erkenntnisse liefern und ihn zu größeren Leistungen auf vielen Gebieten, auch denen des Landschafts, befähigen, hört man gelegentlich wieder das vermessene Wort eines nordfriesischen Deichgrafen, der vor der Sturmflut von 1634, auf seinem neuen Deiche stehend, gerufen haben soll: „Trutz nu, Blanke Hans!“. Die Hollandkatastrophe vom 1. Februar 1953 hat wieder einmal die Grenzen menschlicher Einsicht und technischen Könnens gegenüber den Kräften des Meeres ganz deutlich gemacht. Jahrhundertlang boten — trotz Fehlens wissenschaftlicher Erkenntnisse unserer Zeit — auch bei uns in Deutschland die Wachsamkeit der Menschen an der See, deren Verbundenheit mit dem Element und die durch Tradition gefestigte Erfahrung die beste Gewähr für die Verteidigung gegen die Angriffe des Meeres. Diese Voraussetzungen sind leider kaum mehr vorhanden. Sie wurden ersetzt durch staatliche Organisationen, moderne Technik und größere Geldmittel. Man kann diese Entwicklung nicht rückgängig machen. Die neuen Träger der Aufgaben sollten sich aber trotz der großen ihnen zur Verfügung stehenden technischen Mittel immer dessen bewußt sein, daß sie die Leistungen unserer Vorfahren nur dann erreichen werden und einen dauerhaften Erfolg nur dann erwarten dürfen, wenn sie besser über Ursachen und Wirkungen im Geschehen an

unserer Küste unterrichtet sind, als es unsere Vorfahren waren und wir es heute noch sind. Aus dieser Einsicht aber erwachsen Aufgaben für unsere und die nach uns kommenden Generationen, die in der folgenden Zusammenfassung noch einmal herausgestellt werden dürfen. Ihr programmatischer Charakter ist unmißverständlich und im Grunde unausweichbar wie das Geschehen an unserer Küste selbst.

VIII. Zusammenfassung

Nach diesem sehr knappen Rückblick auf 25 Jahre Küstenforschung möchte ich das, was mir nach dreißigjähriger Arbeit an der Küste, in der Forschung und in der Praxis, als wesentlich erscheint, kurz zusammenfassen:

1. Bund und Länder setzen für Verkehrsaufgaben und Küstenschutz (wozu auch die Landgewinnung zu rechnen ist) einschließlich der eng damit verbundenen wasserwirtschaftlichen Maßnahmen hinter den Seedeichen in steigendem Maße öffentliche Mittel ein. Demgegenüber treten die zwar noch immer erheblichen Aufwendungen der Selbstverwaltung, der Deich- und Sielverbände mehr und mehr zurück, weil sich diese fast ausschließlich der Entwässerung und Verbesserung ihrer Böden widmen müssen. Die Gesamtausgaben der öffentlichen Hand für Küstenschutz und Verkehr allein haben, soweit sie von den übergeordneten Naturvorgängen Tide, Sturmfluten, Sandwanderungen usw. abhängen, in den letzten Jahren an laufenden und einmaligen Ausgaben mehr als 100 Mill. DM/Jahr erfordert. Weder für den Küstenschutz noch für Verkehr und Wasserwirtschaft ist mit einer nennenswerten Verringerung der Ausgaben in Zukunft zu rechnen, vor allem dann nicht, wenn man danach streben will, ein Höchstmaß an dauerhafter Sicherung und erträglichen Unterhaltungskosten zu erreichen. Wenn die deutschen Seehäfen wettbewerbsfähig bleiben wollen, werden auch ihre Zufahrten, ihre Vertiefung und vor allem die Tiefhaltung noch steigende Mittel erfordern.
2. Für das Gelingen der erstrebten Maßnahmen mit wirtschaftlich vertretbaren Mitteln ist eine Beständigkeit in der Durchführung derjenigen Forschungen und Vorarbeiten unerlässlich, die dazu dienen können, im Wattenmeer die dauernde Veränderlichkeit und ihre Ursachen soweit kennenzulernen, daß große und kostspielige Fehlschläge vermieden werden. Daß eine planmäßige Forschung in der Lage ist, Fehlschläge zu vermeiden und dauerhafte, technisch und wirtschaftlich brauchbare Lösungen zu finden, glaube ich, an den vorher beschriebenen Beispielen dargelegt zu haben.
3. Für solche Untersuchungen sind besonders im letzten Jahrzehnt in den Niederlanden und in Deutschland moderne Verfahren und neue Methoden entwickelt worden oder stehen in der Entwicklung. Mit ihrer Hilfe wird man den mit der Gezeitenerscheinung zusammenhängenden Vorgängen der Sandwanderung soweit nahekommen, daß man auch auf diesem Gebiet praktisch brauchbare Angaben über die Wirkung geplanter baulicher Maßnahmen machen kann. Man wird dieses Problem allerdings nur mit einer das ganze Wattenmeer und teilweise auch das nähere Seegebiet umfassenden Untersuchung klären können. Das gilt ebenso für den Schutz der Nord- und Ostfriesischen Inseln und der dazugehörigen Watten wie für die Mündungsgebiete von Ems, Jade, Weser, Elbe und Eider.
4. Örtliche Untersuchungen der geschilderten Art sind und bleiben trotzdem wichtig. Die gewonnenen Einzelerkenntnisse sind aber letzten Endes erst dann beweiskräftig und allgemeingültig, wenn ihre Beziehung zum Geschehen im größeren Raum in den überhaupt möglichen Grenzen hergestellt ist. Das Meer kümmert sich nicht um die wechselhaften staatsrechtlichen Gegebenheiten und Verwaltungsgrenzen. Es ist gewiß schon als ein Fortschritt anzusehen, daß sich der Küstenausschuß bemüht, eine übergeordnete Schau der Grundlagen

für Küstenschutz, Seewasserstraßen und Wasserwirtschaft anzuregen und herbeizuführen. Angesichts dessen, was wir anstreben und anstreben müssen, nämlich mit wirtschaftlichen Mitteln einen dauerhaften Schutz der Küste, ausreichend tiefe Wasserstraßen und eine geordnete Wasserwirtschaft im Tidebereich, aber auch angesichts der immer bleibenden großen jährlichen Aufwendungen für diese Aufgaben sollten sich der Bund, der auch an seiner Grenze gegen das Meer den weitaus größten Teil der Last zu tragen hat, und die Länder zusammenfinden, um eine einheitliche Küstenforschung zu schaffen und durchzuführen.

IX. Schriftenverzeichnis

- BUSCH, A.: Taucht unser Land auch in der Gegenwart noch unter? Nordfries. Jahrb. 17, 1930.
- DELFF, CHR.: Woher stammt der neuauflandende Boden im Wattenmeer? Kieler Neueste Nachrichten, 1. 8. 1933.
- DELFF, CHR.: Nordfrieslands Werden und Vergehen. Nordelbingen 10, 1934.
- DITTMER, E.: Die geologischen Verhältnisse im Dammbaugebiet Friedrichskoogspitze vor und nach der Abdämmung des Nordfelder Prieles. Arbeitsbericht, 1937 (1937 a).
- DITTMER, E.: Untersuchungen in Dithmarschen und Eiderstedt. Geologischer Arbeitsbericht. Büsum 1937 (1937 b).
- DITTMER, E.: Schichtenaufbau und Entwicklungsgeschichte des Dithmarscher Alluviums. Westküste 1, H. 2, 1938.
- DITTMER, E.: Übersicht über den geologischen Aufbau und die Entwicklungsgeschichte des nordfriesischen Halliggebietes. Unveröffentlichter Arbeitsbericht, 1939.
- DITTMER, E.: Die Küstensenkung an der schleswig-holsteinischen Westküste. Forschungen und Fortschritte 24, H. 17/18, 1948.
- DITTMER, E.: Die Versalzung des Grundwassers an der schleswig-holsteinischen Westküste. Die Küste 5, 1956.
- FISCHER, O., 1955 bis 1958: Das Wasserwesen an der schleswig-holsteinischen Nordseeküste. Teil III: Das Festland. 7 Bände mit einer Kartenmappe. Verlag: Dietrich Reimer, Berlin. 1. Folge: Sonderprobleme und Einzelfragen des Küstenraumes. 1955. 7. Folge: Hydrographie des Küstengebietes. 1955.
- FRANZIUS, O.: Landgewinnung und Küstenströmung. 1. Denkschr. Marschenverband Schlesw.-Holst., 1932.
- FÜLSCHER: Über Uferschutzbauten zur Erhaltung der Ost- und Nordfriesischen Inseln. Zeitschr. f. Bauwesen, 1905.
- GAYE, J. und WALTHER, F.: Die Wanderung der Sandriffe vor den Ostfriesischen Inseln. Die Bautechnik 13, H. 41, 1935.
- GAYE, J.: Die deutsche Küstenforschung und der Seewasserbau. Die Küste 3, H. 1/2, 1955.
- HABERSTROH, E. G.: Forschungsarbeiten im Dithmarscher Wattenmeer. Westküste 1, H. 2, 1938.
- HENSEN, W.: Die Entwicklung der Fahrwasserverhältnisse in der Außenelbe. Jahrbuch Hafentechn. Ges., Bd. 18, 1939/40.
- HUNDT, C.: Die Abbruchsursachen an der Nordwestküste des Ellenbogens auf Sylt. Die Küste 6, H. 2, 1957.
- IWERSEN, J.: Stellungnahme zum Deichbau und Versuchskoog im Wattengebiet von Klanxbüll. Marschenbauamt Husum, Forschung Westküste, Husum 1936.
- IWERSEN, J.: Vorschläge zur Linienführung eines neuen Deiches für den geplanten Wattenversuchskoog Hindenburgdamm. Unveröffentlichter Arbeitsbericht, 1937 (1937 a).
- IWERSEN, J.: Kultivierung des Hindenburgwattkoogs. Arbeitsbericht, 1938.
- IWERSEN, J.: Zur bodenkundlichen Kartierung des nordfriesischen Wattengebietes. Westküste, 1943.
- IWERSEN, J.: Das Problem der Kultivierung eingedeichter Watten. Die Küste 2, H. 1, 1953.
- IWERSEN, J. u. WOHLBERG, E.: Versuchskoog am Hindenburgdamm. Marschenbauamt Husum, Forschungsstelle Westküste, Husum 1937.
- KÖNIG, D.: Spartina Townsendii an der Westküste von Schleswig-Holstein. Planta 36, 1948.
- KÖRNER, B.: Die Sinkstoffe der Küstengewässer. Die Küste 4, 1955.
- KREY, H.: Das Wattengebiet, die Marschen und Halligen an der schleswig-holsteinischen Nordseeküste. Zentralbl. d. Bauverw. 38, H. 89, H. 93, H. 95/96, 1918.

- KREY, H.: Die Eiderabdämmung. Gutachtliche Äußerung. Berlin 1926.
- „KÜSTENAUSSCHUSS NORD- UND OSTSEE“: Anpassung der Warfen auf den nordfriesischen Halligen an die heute möglichen Sturmfluten. Die Küste 6, H. 1, 1957.
- LAMPRECHT, H.-O.: Uferveränderungen und Küstenschutz auf Sylt. Die Küste 6, H. 2, 1957.
- LEEGE, O.: Der Memmert. Eine entstehende Insel und ihre Besiedlung durch Pflanzenwuchs. 1910.
- LEEGE, O.: Werdendes Land in der Nordsee. Oehringen 1935.
- LORENZEN, J. M.: Landeskultur-Aufgaben an der schleswig-holsteinischen Westküste. VDI-Zeitschrift 81, 26, 1937.
- LORENZEN, J. M.: Planung und Forschung im Gebiet der schleswig-holsteinischen Westküste. Westküste 1, H. 1, 1938.
- LORENZEN, J. M.: Hundert Jahre Küstenschutz an der Nordsee. Die Küste 3, H. 1/2, 1955.
- LORENZEN, J. M.: Gedanken zur Generalplanung im nordfriesischen Wattenmeer. Die Küste 5, 1956.
- MARSCHENVERBAND SCHLESWIG-HOLSTEIN: 10-Jahresplan zur umfassenden Sicherheit der schleswig-holsteinischen Westküste. 1931. (Unveröffentlicht.)
- OSTENDORFF, E.: Die Grund- und Bodenverhältnisse der Watten zwischen Sylt und Eiderstedt. Westküste 1943.
- PETERSEN, M.: Sinkstoffgruppenmessung in der Norder-Hever 1937. Unveröff. Bericht Forschungsstelle Westküste. Husum 1941.
- PFEIFFER, H.: Untersuchungen über den Einfluß des geplanten Dammbaus zwischen dem Festland und der Insel Sylt auf die Wasserverhältnisse am Damm und der anschließenden Festlandsküste. Dissert. 1920.
- PLATH, M.: Die biologische Bestandsaufnahme als Verfahren zur Kennzeichnung der Wattsedimente und die Kartierung der nordfriesischen Watten. Westküste 1943.
- SCHELLING, H.: Die Sturmfluten an der Westküste von Schleswig-Holstein unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse am Pegel Husum. Die Küste 1, H. 1, 1952.
- SCHÜTTE, H.: Neuzeitliche Senkungserscheinungen an unserer Nordseeküste. Jahrb. Oldenb. Ver. Altert. u. Landesgesch., Oldenburg 1908.
- SCHÜTTE, H.: Krustenbewegungen an der deutschen Nordseeküste. Aus der Heimat 40, H. 11, 1927.
- SCHÜTTE, H.: Küstensenkungsmessungen. Heimatkunde — Heimatschutz, Oldenburg 1928.
- SCHÜTTE, H.: Geologische und hydrographische Veränderungen im Jade-Weser-Gebiet seit 8000 Jahren. Dtsch. Geogr. Bl., H. 4, 1938.
- SCHÜTTE, H.: Die Senkung der deutschen Nordseeküste. Geogr. Anzeiger, H. 10, 1935.
- WILDVANG, D.: Zur Frage der Küstensenkung im Gebiete der Emsmündung, Upstalsboom. Blätter f. ostfries. Geschichte, 1924/25.
- WOHLENBERG, E.: Die Grüne Insel in der Eidermündung. Arch. Dt. Seewarte 50, H. 2, 1931.
- WOHLENBERG, E.: Biologische Landgewinnungsarbeiten im Wattenmeer. Der Biologe 3, H. 7, 1934.
- WOHLENBERG, E.: Biologische Forschung und Praxis an der Westküste. Jahrb. Nordfriesland 23, 1936.
- WOHLENBERG, E.: Zusammenstellung einiger Punkte zur Begründung der Frühbedeichung des Verlandungsgebietes am Hindenburgdamm. Unveröff. Bericht der Forschungsstelle Westküste, Husum 1936.
- WOHLENBERG, E.: Biologische Kulturmaßnahmen mit dem Queller (*Salicornia herbacea* L.) zur Landgewinnung im Wattenmeer. Westküste 1, H. 2, 1938.
- WOHLENBERG, E.: Unsere jungen Köge. Meyn's Schl.-Holst. Hauskalender, Heide 1939.
- WOHLENBERG, E.: Entstehung und Untergang der Insel Trischen. Mitt. Geogr. Ges. Hamburg 49, 1950.
- WOHLENBERG, E. und PLATH, M.: Produktionsbiologische Untersuchungen auf eingedeichten Wattflächen. Die Küste 2, H. 1, 1953.
- WOHLENBERG, E.: Sinkstoff, Sediment und Anwachs am Hindenburgdamm. Die Küste 2, H. 2, 1953.
- WOHLENBERG, E.: Das Watt schreibt unsere Geschichte. Zeitschr. Ostfriesland 3, 1955.
- WOHLENBERG, E.: Die Versalzung im Gotteskoog (Nordfriesland) nach biologischen und chemischen Untersuchungen. Die Küste 5, 1956.
- WOHLENBERG, E. u. J. IWERSEN: Versuchskoog am Hindenburgdamm. Unveröff. Bericht d. Forschungsstelle Westküste, Husum 1937.

Neue Beobachtungen und kritische Bemerkungen zur Frage der „Küstensenkung“*)

Von Ernst Dittmer

Inhalt

I. Einleitung	29
II. Krustenbewegungen in älteren Formationen	30
III. Entwicklungsgeschichte und Niveauveränderungen in der Nacheiszeit	
A. Die wirksamen Faktoren	31
B. Die Typen der Sedimentationsräume	32
C. Der Mensch als geologischer Faktor, Besiedlung und Bedeichung, ihre Folgen und Bedeutung für die Senkungsfrage	34
IV. Folgerungen für die Frage der „Küstensenkung“	40
V. Niveauveränderungen durch Ansteigen des Wasserspiegels	41
VI. Zusammenfassung	41
VII. Schriftenverzeichnis	42

I. Einleitung

Vor mehr als fünfzig Jahren begann SCHÜTTE seine bekannte Theorie der Küstensenkung aufzubauen. Durch eine große Anzahl von Veröffentlichungen, auch in der Tagespresse, ist SCHÜTTE's Lehre schnell volkstümlich geworden, während sich die wissenschaftlichen Stellungnahmen weder in der breiten Öffentlichkeit noch überall in Fachkreisen durchsetzen konnten. DIENEMANN und SCHARF (1931) unterzogen alle bis dahin vorliegenden Ansichten und Berechnungen einer eingehenden Kritik, kamen aber letztthin nicht zu einer endgültigen Klärung und einer gemeinsamen Auffassung. SCHÜTTE versuchte seine Theorie in einer umfangreichen Arbeit (1935), die eine Fülle sorgfältig gesammelter Beobachtungen enthält, weiter zu untermauern. Seine Auffassungen werden insbesondere von Heimatforschern meist ohne eingehende Kritik übernommen. Das führte schließlich dazu, neue Beobachtungen der Senkungskurve von SCHÜTTE anzupassen. Der Einfluß SCHÜTTE's auch auf die geologische Forschung ist unverkennbar.

Neuen Auftrieb erhielt die Senkungstheorie vorübergehend, besonders in Nordfriesland, durch die Arbeiten von HECK (1936), der die Ursachen und Erscheinungen der Küstensenkung über größere geologische Zeiträume zurückverfolgen zu können glaubte. HECK kam zu dem Schluß, Nordfriesland sei zur Senkung prädestiniert, Landgewinnung in diesem Küstengebiet sei daher sinnlos. Dieser Auffassung trat der Verfasser schon 1941 und 1948 mit inzwischen erarbeiteten besseren Grundlagen entgegen.

Seit der Errichtung der Forschungsstelle Westküste im Jahre 1934 sind in der Erforschung der Küsten- und Marschengeologie in Schleswig-Holstein bedeutende Fortschritte erzielt worden. In den letzten Jahren wurden die Untersuchungen im Zusammenhang mit der Trinkwasserversorgung der Marschen auch auf das Jungtertiär ausgedehnt. Die Geophysik (WEBER 1958) brachte einen guten Einblick in die Lagerungsverhältnisse des tieferen Untergrundes. Frühere Ansichten über die tektonische Stellung unserer Küstengebiete wurden in-

*) Nach einem Vortrag auf der 3. Arbeitstagung des Küstenausschusses Nord- und Ostsee am 15. Oktober 1959 in Bremen.

zwischen weitgehend revidiert. Schließlich haben die Fortschritte auf dem Gebiete der Pollenanalyse und der Marschenarchäologie der Marschengeologie wertvolle Hilfe geleistet. Es sei vor allem auf die Arbeiten von BANTELMANN, HAARNAGEL und GROHNE hingewiesen. Außerdem führten bisher nicht veröffentlichte Untersuchungen des Verfassers über die Zuverlässigkeit älterer schriftlicher Überlieferungen zu einer bedeutsamen Revision der bisherigen Anschauungen hinsichtlich der Bedeichungs- und Besiedlungsgeschichte unserer Marschen.

Die Bedeutung des Menschen als geologischer Faktor in der jüngeren Entwicklungsgeschichte der Marschen ist zwar schon früh, vor allem von WEGNER (1931), aber doch nicht in ihrem vollen Ausmaß gewürdigt worden.

II. Krustenbewegungen in älteren Formationen

Das norddeutsche Küstengebiet mit seinen mächtigen mesozoischen, tertiären und quartären Ablagerungen schwimmt sozusagen auf den plastischen Salz- und Tonabsätzen des Rotliegenden und Zechsteins. Sedimentation und tektonische Ursachen haben zur Bildung von Salzdomen und langgestreckten Salinarstrukturen geführt, wobei ähnlich wie bei Grundbrüchen die jüngeren Absätze in die Tiefe sanken und das Salz teilweise bis an die Oberfläche aufgequetscht wurde. Relativ starre Blöcke und Schwellen mit nur schwachen Aufwölbungen und Mulden wechseln mit sehr labilen Zonen ab, in denen noch in jüngerer Zeit (Tertiär) ungewöhnlich mächtige Absätze das Salz im Untergrund verdrängten.

An einem Beispiel soll jedoch gezeigt werden, wie gering im Ausmaß diese Absenkungen sind, sobald man nicht mit geologischen Zeiträumen, sondern mit Jahren und Jahrhunderten rechnet. Zwischen dem westholsteinischen Abbruch, einer SW-NO verlaufenden Störungslinie, und der Salinarstruktur von Heide—Süderstapel liegt der tiefe Untereidertrog, der allein 3000 m mächtige tertiäre Sedimente aufgenommen hat. Vorausgesetzt, daß das gesamte Tertiär entwickelt und die Absenkung gleichmäßig erfolgt ist, so würde sich ein Senkungsbetrag von nur 5 mm im Jahrhundert errechnen. Selbst wenn man annimmt, daß Zeiten der Ruhe mit solchen stärkerer Bewegung gewechselt hätten, würden sich höchstens Beträge von einigen Zentimetern ergeben. Für andere Gebiete, in denen schon untermiozäne Absätze ungestört nur wenig unter der heutigen Oberfläche liegen, ist die Veränderung des heutigen Wasserspiegels gegenüber dem vor vielen Millionen Jahren nur gering. Immerhin zeigen alle Untersuchungen, daß die Veränderungen selbstverständlich und das Normale im erdgeschichtlichen Geschehen sind.

Die neueren Untersuchungen über die Lagerungsverhältnisse des Jungtertiärs in Schleswig-Holstein (DITTMER 1957, 1959) haben zwar den Nachweis erbracht, daß bis zu seinem Ausgang noch Beziehungen zwischen Salztektonik und Entwicklungsgeschichte der Vorgängerin der heutigen Nordsee bestanden haben, aber die miozänen Trans- und Regressionen lassen nicht darauf schließen, daß die Hebungs- und Senkungsbeträge auch nur annähernd das erreichen, was wir unter säkularer Küstensenkung verstehen.

GRIPP (1952), ILLIES (1953) und PICARD (1958) haben Beziehungen zwischen Salzbewegung und Eismechanik während des Pleistozäns festgestellt. Für die erheblichen Lagerungsstörungen, die HECK (1936) für die letzteiszeitlichen Schmelzwassersande und die junginterglazialen Eemabsätze konstruierte, konnte vom Verfasser (DITTMER 1941) nachgewiesen werden, daß sie durch Erosionsvorgänge und die unbrauchbare Anwendung der Pollenanalyse bei marinen Sedimenten vorgetäuscht sind. In neuerer Zeit konnten erstmalig an mehreren Stellen die die eemzeitliche Transgression abschließende Marschkleidecke und darüber liegendes Moor aufgezeigt werden. Die höchsten Absätze des damaligen Strandes liegen heute in der Nähe von Leck

bei etwa -7 m NN (DITTMER 1954), der Marschklei in der Mitte der Nordfriesischen Rinne infolge der großen Mächtigkeit toniger Absätze wegen der eingetretenen Setzungen um rund 2 m tiefer. Da die letzte Zwischeneiszeit allgemein ein wärmeres Klima hatte als die Nacheiszeit selbst während des Atlantikums, hätte der Meeresspiegel eigentlich höher gelegen haben müssen als der heutige. Es scheint demnach, als ob seit dem Höhepunkt der letzten Zwischeneiszeit eine positive Niveaushiftung und echte Senkung von wahrscheinlich mehr als 7 m eingetreten ist. Da seit dem Ende der Eemzeit mindestens 60 000—80 000 Jahre vergangen sind und die Niveauperänderung wohl im Zusammenhang mit der letzten Vereisung stattfand, also an deren Ende abgeschlossen war, ist auch diese Beobachtung für die aktuelle Frage der Küstensenkung nicht von wesentlicher Bedeutung. Wichtig ist jedoch die Feststellung, daß der Meeresspiegel in der letzten Zwischeneiszeit ohne größere Schwankungen bis zu einem Höhepunkt beim Klimaoptimum anstieg und danach wieder bis zum Maximum der nächsten Vereisung fiel.

III. Entwicklungsgeschichte und Niveauperänderungen in der Nacheiszeit

A. Die wirksamen Faktoren

Die seit 25 Jahren planmäßig betriebenen und intensiv geförderten Forschungsarbeiten zur Geologie der Küstengebiete haben aufgezeigt, daß folgende Faktoren die nacheiszeitliche Entwicklungsgeschichte entscheidend beeinflussen haben:

1. die Oberflächengestaltung am Ende des Spätglazials,
2. Verlauf und Ausmaß der eustatisch bedingten Niveauperänderungen,
3. der Mensch.

Am Ende der letzten Vereisung befanden sich im Bereich des heutigen Marschen- und Küstengebietes folgende Formen: a. die breiten und tiefen Schmelzwassertäler der Elbe, Eider und Treene, b. die fast ebenso tiefen aber schmalen Schmelzwasserrinnen in Nordfriesland

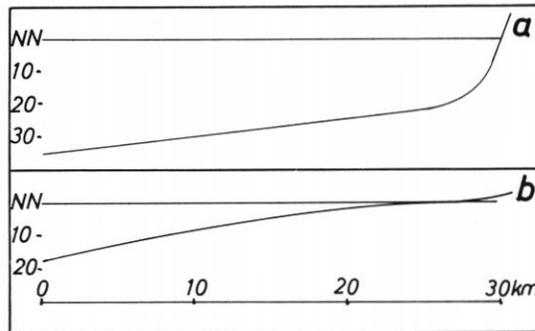


Abb. 1. Spätglaziale Oberflächen;
a) im Elbmündungsgebiet; b) in Nordfriesland

und die ähnlich gestalteten Flußtäler in Ostfriesland, c. die hochliegenden Sanderflächen Nordfrieslands und die ähnlich hochgelegenen Flugsanddecken und Moränen Ostfrieslands (Abb. 1).

Verlauf und Ausmaß der Niveauperänderungen werden heute von den meisten Forschern als Auswirkungen des Abschmelzens des Gletschereises angesehen. Die Form der Kurve des Wasserspiegelanstiegs ist erstmalig in einer Zusammenfassung der Ergebnisse pollenanalytischer Arbeiten von NILSSON (1948) recht zutreffend gezeichnet worden. Unter Berücksichtigung des gegenwärtigen Standes der Untersuchungen, auf die weiter unten noch eingegangen wird, verläuft die Kurve etwa folgendermaßen: von 6000 bis 3000 v. Chr. erfolgt der Anstieg sehr schnell, von da an verlangsamt er sich, von 2000 v. Chr. bis kurz vor Chr. G., zu welchem Zeitpunkt ein offenbar bisher nicht wieder erreichter Höchststand eintrat, war der Anstieg nur noch sehr gering. In den letzten 2000 Jahren hat es offenbar in Abständen von 300 bis 500 Jahren im Zusammenhang mit Klimaschwankungen geringe Ausschläge nach oben und unten um einen

Wasserstand gegeben, der vom heutigen nicht wesentlich abweicht. Differenzen zwischen niedrigstem und höchstem Wasserstand in dieser Zeit erreichen dabei zweifellos nicht die Meter-Grenze (vgl. BENNEMA 1954).

B. Die Typen der Sedimentationsräume

Die oben aufgezeigten Faktoren haben in dem ersten längeren Zeitraum der Nacheiszeit, der noch die ganz natürliche Entwicklung umfaßt, zur Bildung zweier sehr unterschiedlicher Faziesbereiche geführt, nämlich dem stärker marin beeinflussten Elb- und Eidermündungsgebiet und den überwiegend brackisch ausgebildeten übrigen Bezirken der Nordseeküste.

Je breiter eine Hohlform ist und je schneller der Wasserspiegelanstieg erfolgt, um so stärker ist der marine Einfluß, desto weiter flußaufwärts erstreckt sich der brackische Bereich. So führte die Flandrische Transgression, die gegen 6000 v. Chr. die heutige Deutsche Bucht erreichte, zur Ablagerung von echten Nordseesedimenten mit *Corbula gibba*, *Nucula nitida* u. a. in Dithmarschen und Eiderstedt, da der Wasserspiegelanstieg bald das Ausmaß der Sedimentation überschritt (DITTMER 1938, 1952). Schon früh wurde in Dithmarschen der auf — 20 m NN steil abfallende Geestrand erreicht. Im weiteren Verlauf folgen Abrasion an Geestvorsprüngen und die Bildung einer Hakenküste (DITTMER 1938). In diesem Zeitraum wurden in Geestrandnähe grobe, wenig setzungsfähige Sande abgelagert. Gleichzeitig oder nur wenig später setzte die Sandwanderung in die Deutsche Bucht ein, welche die tonige Fazies des Altholozäns ablöste. Da ein großer Raum von ungeheuren Mengen Sand aufzufüllen war, dauerte es verhältnismäßig lange, bis aus der offenen See die Anfänge eines Wattenmeeres wurden. Eine Verlandungstendenz läßt sich für diese Zeit nur in den von den Haken und Nehrungen weitgehend abgeschnürten Buchten erkennen.

Bis zum Beginn der frühen Bronzezeit, als sich in einem schmalen Streifen entlang dem Geestrand die ersten Marschen bildeten, verlief die Entwicklung unter der Einwirkung kräftiger Gezeiten, Seegang und Brandung, so daß der Gesamtaufbau des Holozäns in Dithmarschen und im südlichen Eiderstedt verhältnismäßig stabil wurde. Nirgends finden sich Moore und weiche brackische Ablagerungen eingeschaltet. Einen ziemlich ähnlichen Aufbau gibt es nur noch im äußersten Norden in einem Gebiet, das sich von Nord-Sylt bis zur äußeren Wiedingharde erstreckt und von dem ziemlich breiten und tiefen Wiedautal vorgezeichnet ist. Hier wurde in den 6—8 m tiefen Entnahmestellen für die Aufspülung des Deichkerns des Friedrich-Wilhelm-Lübke-Kooges die Schnecke *Bittium reticulatum* und die Muschel *Cardium exiguum* beobachtet, was darauf hindeutet, daß dort noch im jüngeren Holozän eine offene Meereshöhe lag.

Sowohl im südlichen Eiderstedt als auch in Dithmarschen sind bis in die Zeit um Chr. G. hochgelegene Marschen entstanden, die heute noch eine Höhe von 1 bis 2 m über NN besitzen. Sie sind in den letzten 2000 Jahren höchstens gelegentlich überflutet worden. Zur Bildung einer jungen Marsch über der alten ist es ebensowenig gekommen wie zu größeren Landverlusten. Einige Veränderungen hat es nur an der mäandrierenden Untereider gegeben.

Infolge der marin beeinflussten Entwicklung sind die nachträglich eingetretenen Setzungen trotz der oft erheblichen Mächtigkeit des Holozäns verhältnismäßig gering geblieben. So ist der bei der Erörterung der Senkungsfrage störende Faktor der Setzung weitgehend ausgeschaltet.

In den übrigen Gebieten der deutschen Küste verlief die Entwicklung wesentlich anders. Sowohl in den tiefen, aber schmalen Tälern, in welche die Nordsee früh und schnell eindrang, als auch über den höher liegenden und flach ansteigenden Sandern und Flugsanddecken Nord- und

Ostfrieslands, selbstverständlich auch in allen von der offenen See weit entfernten Niederungen, nahm die Brackwasserfazies von vornherein einen breiten Raum ein. Im Mündungsgebiet der Flüsse und am Außenrand des heutigen Wattenmeeres, wo die Gesamtmächtigkeit des Holozäns 10 bis 12 m überschreitet, läßt sich zwar noch ein gewisser mariner Einfluß nachweisen. Er verliert sich jedoch immer mehr zugunsten der Sedimente, die vom sehr weichen Brackwasserton, Fein- und Grobdetritusgyttjen über den Darg (Ton mit wechselndem Schilfanteil) bis zum nahezu reinen Schilftorf reichen. Während die äußeren Teile der überfluteten Gebiete sehr bald den Charakter eines Wattenmeeres annahmen, bildeten sich in einem viele Kilometer breiten Streifen vom Geestrand und in den Flußniederungen ausschließlich brackische Sedimente. Nirgends erreichte die Nordsee den Geestrand. Die Gezeitenerscheinungen nahmen von der See landwärts ab, Seegang und Brandung waren zumindest in den ausgedehnten Schilfsümpfen weitgehend ohne Einfluß (Abb. 2).

Im Gegensatz zum Elb- und Eidermündungsgebiet setzte die Verlandung früh und großräumig ein. An der Gren-



Abb. 2. Zustand der Westküste Schleswig-Holsteins vor der Entstehung der Alten Marsch (2500 v. Chr.)

ze Jüngere Steinzeit/Bronzezeit zeigten Marsch und Moore an den deutschen Küsten eine Ausdehnung, die seitdem auch nicht annähernd wieder erreicht wurde. Im Norden lag damals die Küste auf der Linie Sylt—Eiderstedt, in Ostfriesland im allgemeinen wohl außerhalb der heutigen Inseln.

Da es weder vorher noch während der Verlandung breite und tiefe Wattströme im heutigen Sinne gegeben hat (Andeutungen finden sich nur in den äußersten Gebieten), waren die natürlichen Entwässerungsverhältnisse ausgesprochen schlecht. Der Tidehub sank in den geestrannnahen Gebieten, in denen sich das von der Geest abfließende Niederschlagswasser staute, zu einem kleinen, nicht näher bestimmbareren Wert ab. Die Folge war, daß sich mit fortschreitender Verlandung die Schilfsumpffazies des Geestrandes über die eben entstandenen Kleimarschen ausdehnten. Es kam zu einer allgemeinen Vermoorung, die bis in die Zeit der planmäßigen Besiedlung und Erschließung andauerte. Dies gilt sicher für den ganzen nordfriesischen Raum. In Ostfriesland dagegen scheint die Moorbildung stellenweise schon durch vorchristliche Meereseinbrüche unterbrochen worden zu sein.

In all diesen Gebieten läßt sich das Mittelidehochwasser für keinen Zeitabschnitt ermitteln. Die Unterschiede im Tidehub zwischen Außenküste und dem äußersten Bereich der ausklingenden Tidewelle waren zweifellos weitaus größer als im heutigen Wattenmeer. Sicher nahm der auch an der Außenküste unbekanntere Tidehub im Gegensatz zu heute landwärts ab.

Entsprechend läßt sich die einstige Höhenlage der während dieser Zeit entstandenen Ablagerungen zum jeweiligen MThw und zu NN nicht genauer bestimmen, zumal auch die Bedingungen für das Anwachsen über MThw hinaus damals andere waren als heute.

Da nun außerdem im größten Teil dieser Gebiete zu verschiedenen Zeiten und in ganz unterschiedlichem Ausmaß noch Setzungen aufgetreten sind, deren Ausgangspunkt nicht mehr zu ermitteln ist, sich außerdem die Gebiete, in denen die Vermoorung bis zum Moos- und Heidetorf weiterging, unabhängig vom Meeresspiegel entwickeln konnten, kommen wir zu dem zwingenden Schluß, daß sie für die Beantwortung der Frage der „Küstensenkung“ ausscheiden. Jeder frühere oder spätere Versuch einer Senkungsberechnung ist oder wäre ein Versuch am untauglichen Objekt.

C. Der Mensch als geologischer Faktor, Besiedlung und Bedeichung, ihre Folgen und Bedeutung für die Senkungsfrage

In den zahlreichen Funden aus der ausgehenden Jungsteinzeit und frühen Bronzezeit lassen sich keine Anzeichen einer eigentlichen Besiedlung der Alten Marsch erblicken. Erst in der römischen Kaiserzeit waren die hochliegenden Uferländer bewohnt. Doch wird man auch zu dieser Zeit kaum von einem wesentlichen Eingriff des Menschen in das natürliche Geschehen sprechen können.

Erst die planmäßige Besiedlung vom 11. Jahrhundert an und die Aufschließung der Marsch- und Mooregebiete, mit der umfangreiche landeskulturelle, insbesondere wasserwirtschaftliche Maßnahmen verbunden waren, sind der Beginn tiefer und folgenschwerer Eingriffe in die natürliche Landschaft.

Es ist unmöglich, von der Gegenwart ausgehend und, befangen in den heutigen Begriffen von Landgewinnung und Marschkultivierung, in die Vergangenheit zurückzugehen, um auf diesem Wege an den Ausgangspunkt zu gelangen. Es gab im 11. Jahrhundert keine Landgewinnung, keine Sommerköge, keine Köge. Die Marsch, die in Besitz genommen wurde, war z. T. seit Jahrtausenden vorhanden. Sie wurde, soweit sie von Mooren bedeckt war, freigelegt. Die Landnahme, soweit sie durch Holländer und Friesen erfolgte, ging nicht

von der Geest, sondern von den an der See hochgelegenen Marschen aus. Die Erschließung weitete sich von den küstennahen Gebieten langsam auf die sumpfigen Niederungen aus. Gegen die See mußte sich der Mensch durch eine Deichlinie schützen. Weitere Deiche in Richtung Geest zu errichten und das in Kultur genommene Land in Köge aufzuteilen, dazu bestand kein Anlaß. Zwar meldet das *Chronicon eiderostadense* die Bedeichung zahlreicher Köge im nördlichen Eiderstedt schon um das Jahr 1000 n. Chr. — und diese Berichte sind bis in die Gegenwart von zahlreichen Forschern übernommen worden —, aber gegen was hätte man z. B. die Deiche des Kirchenkoogs und Junkernkoogs und anderer errichten sollen? Es gab kein Wattenmeer, keine Nordsee im Norden! Die nordfriesischen Marschmoore reichten von Sylt herunter

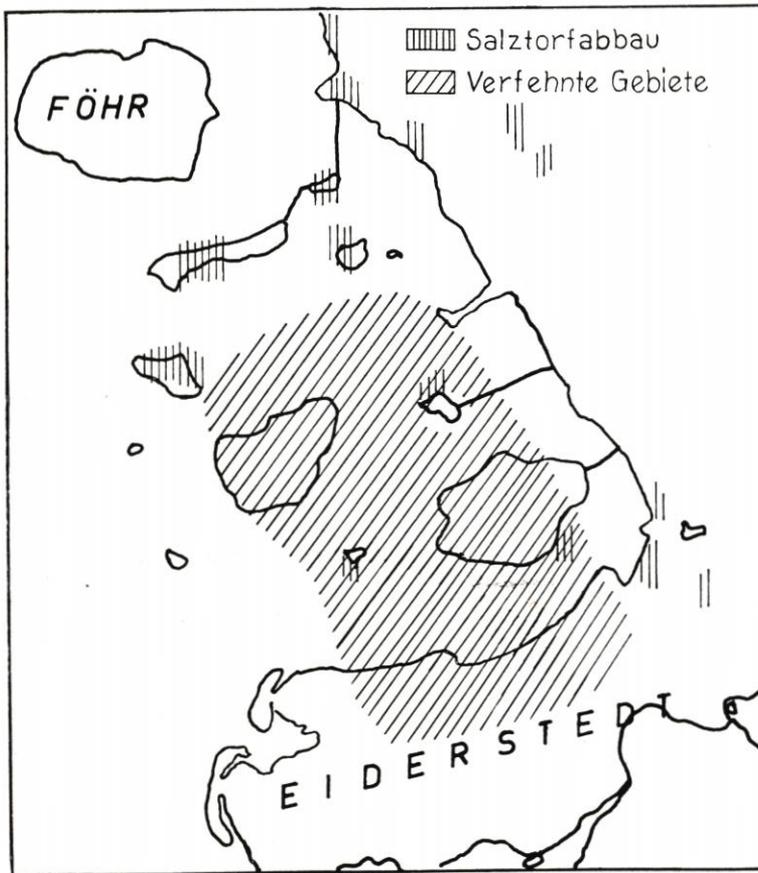


Abb. 3. Torfabbauggebiete in Nordfriesland

nach Süden bis an die alte Nehrung Ordning-Garding und bis nach Oldenswort. Die geologischen Untersuchungen des Verfassers haben ergeben, daß der ursprüngliche Siedlungshorizont in diesen angeblich so früh bedachten Gebieten genau wie auf Pellworm und Nordstrand auf der steinbronzezeitlichen Landoberfläche liegt, daß auch hier die Torfdecke abgegraben wurde und daß sich nach einer Katastrophe Junge Marsch abgelagerte, auf der die Deiche stehen. Die Köge des nördlichen Eiderstedt müssen also viel jünger sein. Auch hat sich bisher weder in Eiderstedt noch in Nordfriesland ein einziger Deich nachweisen lassen, der mit seinem Kern in die

Frühzeit der Bedeichung zurückgeht. Als einzige alte Reste sind die bei Südfall und südlich Nordstrand aufgefundenen Spuren einer Bedeichung gegen die Hever bzw. Arlau anzusehen.

Die frühe Bedeichung sehr großer Flächen — eine davon erkennen wir im südlichen Eiderstedt — hat sich zweifellos zunächst auf die Gezeitenverhältnisse nicht oder nur unwesentlich ausgewirkt. Marschen und Moore waren auch vorher selbst bei Sturmfluten nicht überflutet worden. Denn die in den alten Warfen enthaltenen vollständigen Torfprofile zeigen nicht die geringsten Anzeichen einer Überflutung.

Diese Erkenntnisse schließen damit schon jede Möglichkeit aus, bisher für richtig oder annähernd zutreffend gehaltene Daten für die Deutungs- und Berechnungsversuche in der Senkungsfrage zu verwenden, da wir von ganz anderen Voraussetzungen ausgehen müssen.

Der erste entscheidende Eingriff in die natürlichen Verhältnisse war der mit der Erweiterung des Lebensraums einhergehende Torfabbau. Die Salztorfgewinnung war an der ganzen deutschen und holländischen Nordseeküste verbreitet und wurde an zahlreichen Stellen nachgewiesen. Der Torfabbau ist vermutlich in Ost- und Westfriesland älter als im Norden, wo er erst nach den ersten mittelalterlichen Einbrüchen möglich wurde. Die Salztorfgewinnung hat zwar auch größere Flächen erfaßt, aber sie reicht über sehr lange Zeiträume bis in das 18. Jahrhundert, und sie wurde nur in nicht bedeichten Gebieten betrieben (Abb. 3).

Einen viel größeren Umfang hat jedoch die mittelalterliche Verfehnung angenommen, d. h. der systematische Abbau des Torfs, der über der steinbronzezeitlichen Marsch lag (DITTMER 1954).

Im schleswigschen Küstengebiet sind nachweislich mehr als 40 000 ha Moor abgebaut worden, davon ein sehr großer Teil bereits bis zum Jahre 1362. Es steht fest, daß dieser Torfabbau nicht der Salzgewinnung diente und der Torf nicht auf freiem Feld verbrannt worden

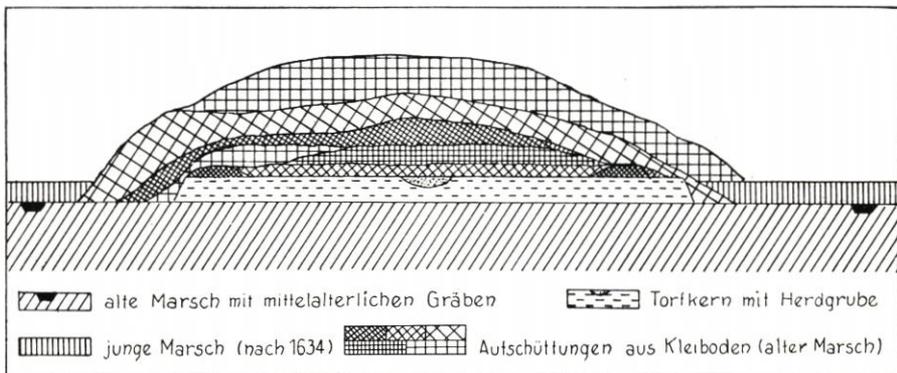


Abb. 4. Querschnitte durch eine Warf (Nordstrand)

ist. Ein geringer Teil wurde zum Hausbau (Torfsodenwände) verwandt, das meiste jedoch als Brenntorf. Bis zu Beginn des 17. Jahrhunderts sind nachweislich auch große Mengen ausgeführt worden (MÜLLER 1936).

Alle Warfen, die vor der Verfehnung angelegt wurden, enthalten einen Torfkern (Abb. 4). Im Jahre 1634 war das riesige Mooregebiet bis auf einen kleinen Rest abgetorft, auf dem sich später die Hallig Nordstrandischmoor bildete. Das Weiße Moor in Dithmarschen ist ebenfalls der Rest eines ehemals weit größeren Moores.

Wenn SCHOTT (1950) die Verfehnung bestreitet und behauptet, die mittelalterlichen Siedlungen Nordfrieslands hätten auf junger Marsch über Moor gelegen, die Kleidecke und der Torf wären später nach den Sturmflutkatastrophen der Erosion zum Opfer gefallen, so ist das

eine durch nichts begründete Anschauung, die alle objektiven Befunde verleugnet. Es hätten dann doch auch alle Kulturspuren vernichtet sein müssen! Tatsächlich aber sind sie noch heute im Wattenmeer sichtbar, die Acker mit Pflugspuren, Weiden mit Andeutungen der ehemaligen Vegetation und Trockenrissen aus dem letzten Sommer vor der Überflutung, Gräben und Sielzüge, Schleusenreste, Hausgrundrisse, Zäune und Wege, Torfreste, in denen man noch die Spateneinstiche erkennt. Und alle diese Spuren liegen an der Oberfläche der Alten Marsch.

Durch die Abtorfung wurde die steinbronzezeitliche Marsch freigelegt, entwässert und kultiviert. Ihre Oberfläche, deren Höhenlage zu NN und zum MThw wir schon zur Zeit ihrer Entstehung nicht einmal kennen, hatte aber im 11. bis 14. Jahrhundert überhaupt keine Beziehungen mehr zum MThw, weil in der Bronze- und frühen Eisenzeit der Wasserspiegel noch angestiegen war, noch nachchristliche Wasserstandsänderungen eingetreten sein können, weil aber vor allem in der Zwischenzeit von rund 3 000 Jahren Setzungen eingetreten waren, die je nach dem Aufbau des Untergrundes sehr unterschiedlich gewesen sein können. Lag die Marschoberfläche schon primär sehr verschieden hoch, so ergaben sich nun noch größere Unterschiede. Denn die Flächen, die in größerer Entfernung von der See verlandet waren und tief lagen, kamen durch die wegen des weicheren Untergrundes stärkere Setzung in eine noch tiefere Lage.

Da die höchsten neolithischen Marschen heute bis zu + 0,5 bis 0,8 m NN erreichen, ein großer Teil aber viel tiefer liegt, muß angenommen werden, daß die meisten der bis 1362 abgetorften Gebiete der Alten Marsch schon damals unter MThw lagen. Um wieviel, ist nicht zu ermitteln.

Es ergibt sich also, daß wir aus der Höhenlage des mittelalterlichen Siedlungshorizonts auf genetisch älterem Boden weder Schlüsse auf die damaligen Wasserstände noch für die Senkungsfrage ziehen können. Wir finden jedoch den Schlüssel zum Verständnis der größten Katastrophe, welche die Nordseeküste je betroffen hat. Im Jahre 1362 ist, abgesehen von einigen noch nicht verfehnten Gebieten — dazu gehören z. B. noch Teile von Nordstrand — des südlichen Eiderstedts und den höheren Teilen Dithmarschens, alles überflutet worden und verloren gegangen. Im nordfriesischen Marschengebiet ist mit Sicherheit nur ein Gebäude erhalten geblieben: die Alte Kirche auf Pellworm (ohne den später errichteten gotischen Turm).

Die Ursachen dieser Katastrophe, die in ihrem Ausmaß bisher unterschätzt wurde, sind einfach zu deuten. Große steinbronzezeitliche Marschflächen waren ihrer sturmflutkehrenden Moordecke beraubt, das landwirtschaftlich genutzte Gebiet lag viel zu tief, unterteilende Köge und Deiche waren nicht vorhanden, nicht abgetorfte Moore waren durch Entwässerung zusammengesunken, die Seedeiche waren schwach und niedrig. Sicherlich hat es sich auch um eine außergewöhnliche Sturmflut gehandelt, sicher ist auch nicht alles in einer einzigen Nacht untergegangen. Aber die ungeheuren Folgen hätten niemals so tiefgreifend werden können, wenn nicht die oben genannten Verhältnisse vorgelegen hätten. Mit der „neuzeitlichen Küsten-senkung“ aber hat die Katastrophe nichts zu tun.

Wie manche Gebiete wirklich ausgesehen haben müssen, zeigt das östliche Eiderstedt zwischen Husum, Witzwort und Treene. Nach WOEBCKEN (1928) war es ein blühendes Land, übersät mit Dörfern. Nach KOOP (1936) sollen zahlreiche Köge in der Umgebung von Koldenbüttel lange vor 1362 eingedeicht worden sein. Eine sorgfältige Nachprüfung ergab, daß nahezu alle angeführten Orts- und Flurnamen erst viel später auftauchen. Das sagenhafte Dorf Dornebüll südlich Schwabstedt in der Treeneniederung hat sich als armselige Moorsiedlung auf ein paar das Holozän durchragenden kleinen Dünenkuppen erwiesen. Tatsächlich war das ganze Gebiet eine sumpfige, fast unzugängliche Landschaft. Kultur- und Nutzungsspuren haben sich noch nirgends gefunden. Siedlungen wie Koldenbüttel lagen auf der höheren schmalen Uferzone der Treene, die damals weder bei Friedrichstadt noch westlich von Seeth-Drage (BUSCH 1936),

sondern bei Reimersbude in die Eider mündete (Abb. 5) Die mäandrierenden Schlingen sind besonders von Büttel an durch unterschiedliche Setzungen wieder deutlich sichtbar geworden. Bohrer und Spaten des Verfassers haben eindeutig nachgewiesen, daß die angeblichen Bedeichungen vor 1362 tatsächlich — wie auch im nördlichen Eiderstedt — viel jünger sind. In allen Kögen ist die alte meist moorige Landoberfläche von junger Marsch in wechselnder Stärke bedeckt und damit auch die wenigen fraglichen Siedlungsplätze. Es ist also kein Wunder, daß von den älteren Anlagen wie etwa der „Mildeburg“ und dem „Mildterdamm“ jede Spur fehlt. Teile dieses Gebiets sind nach 1362 sogar zu Watt geworden. Im Riesbüll-Koog sind die jungen Ablagerungen bis zu 1,70 m stark; im unteren Teil, sandigen Wattabsätzen, finden sich massenhaft ausgewachsene Exemplare von *Macome balthica* und *Cardium edule* in Lebensstellung. Die Verlandung und Bedeichung des Riesbüll-Kooges schon im Jahre 1371, also nur neun Jahre nach der Sturmflut, ist daher unmöglich. So ist auch diese Datierung sicher falsch. Die angeblich alten Deiche aber liegen ausnahmslos auf der Jungen Marsch, sie bestehen selbst aus diesem Boden, der sich natürlich ohne weiteres von dem Darg des Untergrundes unterscheiden läßt.



Abb. 5. Zustand der „Südermarsch“ vor dem Jahre 1362

Rekonstruktionen, oder sie geben viel spätere Zustände wieder. In der bekannten Karte von PETER SAX, der *Clades Rungholtina*, ist außer der vielleicht zutreffenden Lage von Rungholt alles unrichtig. Der Kartograph hat nachweislich viel später entstandene Anlagen in die Zeichnung hineinkomponiert. Damit entfallen weitere bisher für glaubhaft gehaltene Unterlagen der jüngeren Marschengeschichte.

Die Katastrophe von 1362 und ihre Folgeerscheinungen ließen die Nordsee zum ersten Mal in Nordfriesland bis zur Geest vordringen. Ähnliche Auswirkungen hatte die Flut auch in den ost- und westfriesischen Küstengebieten. Die ersten großen Wattströme entstanden, große Gebiete gerieten erstmalig in den Gezeitenbereich. Ungeheure Mengen sandiger und toniger Sedimente wurden in den entstehenden Wattströmen aufgearbeitet und über den untergegangenen Kulturflächen und zusammengesunkenen Mooren abgelagert. Die natürliche Wiederverlandung wurde vermutlich von den Überlebenden gefördert. 1362 ist das Geburtsjahr der „Landgewinnung“, d. h. der Beginn der Bedeichung von Einzelkögen. Von den ersten Koogbedeichungen wissen wir nichts, zahlreiche Köge im nördlichen und östlichen Eiderstedt, der Alte und Große Koog auf Pellworm werden dazugehören. Die sogenannte Nordereider wird

sondern bei Reimersbude in die Eider mündete (Abb. 5) Die mäandrierenden Schlingen sind besonders von Büttel an durch unterschiedliche Setzungen wieder deutlich sichtbar geworden. Bohrer und Spaten des Verfassers haben eindeutig nachgewiesen, daß die angeblichen Bedeichungen vor 1362 tatsächlich — wie auch im nördlichen Eiderstedt — viel jünger sind. In allen Kögen ist die alte meist moorige Landoberfläche von junger Marsch in wechselnder Stärke bedeckt und damit auch die wenigen fraglichen Siedlungsplätze. Es ist also kein Wunder, daß von den älteren Anlagen wie etwa der „Mildeburg“ und dem „Mildterdamm“ jede Spur fehlt. Teile dieses Gebiets sind nach 1362 sogar zu Watt geworden. Im Riesbüll-Koog sind die jungen Ablagerungen bis zu 1,70 m stark; im unteren Teil, sandigen Wattabsätzen, finden sich massenhaft ausgewachsene Exemplare von *Macome balthica* und *Cardium edule* in Lebensstellung. Die Verlandung und Bedeichung des Riesbüll-Kooges schon im Jahre 1371, also nur neun Jahre nach der Sturmflut, ist daher unmöglich. So ist auch diese Datierung sicher falsch. Die angeblich alten Deiche aber liegen ausnahmslos auf der Jungen Marsch, sie bestehen selbst aus diesem Boden, der sich natürlich ohne weiteres von dem Darg des Untergrundes unterscheiden läßt.

Über den Zustand der Küstengebiete in den Jahrzehnten nach 1362 ist nichts bekannt. Alle Darstellungen sind entweder fantasievolle

durchdämmt, im 16. Jahrhundert Pellworm mit Nordstrand zu jener bekannten hufeisenförmigen Insel verbunden, die kein Überrest der Katastrophe, sondern in ihrem ganzen Bestand eine Neubildung auf altem Sockel ist (Abb. 6).

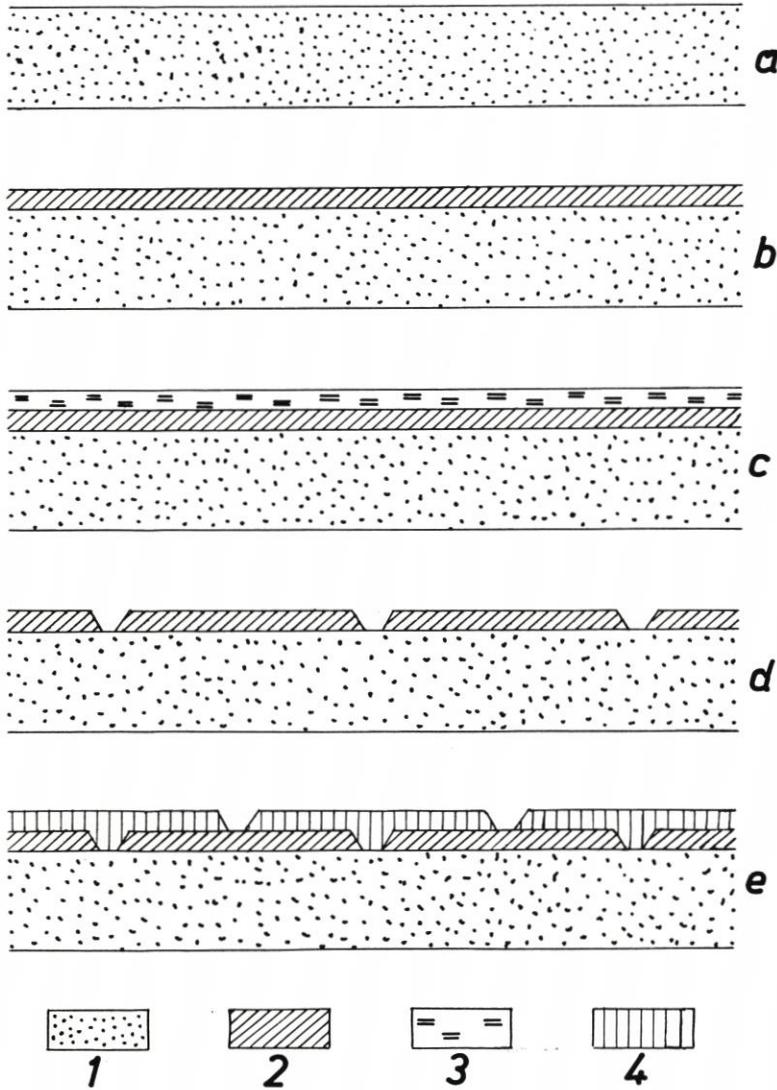


Abb. 6. Vorgang der Verlandung, Vermoorung, Verfehnung und Wiederverlandung im Halligen-Gebiet. 1. Wattensand; 2. Alte Marsch; 3. Torf; 4. Junge Marsch

Mit der Wiedergewinnung umfangreicher Gebiete erfolgen neue Eingriffe in die hydrographischen Verhältnisse. Bei Sturmfluten stehen zwar immer noch riesige Flächen zur Verfügung, welche die Stauwirkung mildern. Wir wissen jedoch nichts Genaueres über den Tidehub, über die Höhe des MThw, wenig über die Höhenlage neubedeichter Köge. Manche sind sicher zu früh, z. T. sogar als Watt, eingedeicht worden. Erstmalig wurden nicht verfehnte Mooregebiete

bedeicht, über denen sich eine junge Marschdecke abgelagert hatte (z. B. in den Niederungen der Arlau, Soholmerau, Eider und Treene). In diesen Kögen traten alsbald Setzungserscheinungen auf. In anderen nicht verfehnten Gebieten, die nicht überflutet worden waren, wurde die Verfehnung fortgesetzt. So ist es zu erklären, daß auch nach 1362 entstandene Siedlungen noch auf freigelegter steinbronzezeitlicher Marsch liegen konnten und später dasselbe Schicksal erlitten wie die älteren.

Bis 1634 war wieder eine einigermaßen geschlossene Küstenlinie erreicht. Aber es waren wesentliche Veränderungen gegenüber dem alten Zustand eingetreten, z. B. in den wiedergewonnenen Gebieten, soweit sie nicht einen sehr weichen Untergrund hatten, eine gewisse Konsolidierung. Die zunehmenden Bedeichungen und die Abriegelung großer Niederungsgebiete konnten nicht ohne Auswirkungen auf die Tideverhältnisse bleiben. Die Entwässerung war wesentlich erleichtert, während vorher die geestrandnahen Niederungen doch fast ganz ohne Vorflut waren. Setzungen waren erneut eingetreten, viele Köge lagen wiederum zu tief, sei es durch Abtorfung oder weil sie zu früh bedeicht wurden oder weil das MThw angestiegen war. Jedenfalls ist die Sturmflut des Jahres 1634 letzten Endes auch nicht die alleinige Ursache, sondern vielmehr ein Anlaß für die erneute Zerstückelung Nordfrieslands.

Neue tiefe und breite Wattströme entstehen. Ihre bis heute nicht abgeschlossene Ausweitung und Vertiefung gehen einher mit der Wiedergewinnung verlorener Gebiete, so daß ursächliche Zusammenhänge anzunehmen sind. Die Tidewelle, die in der unberührten Alten Marsch in den Schilfsümpfen und Niederungen verebte, prallt jetzt gegen die starre Wand der Deiche. Noch stärker zeigt sich die Stauwirkung bei Sturmfluten. Der Vorlandstreifen ist so schmal, daß seine Überflutung keine Entlastung bringt. Die Verbindungen zur offenen See sind größer, die Erosionskräfte stärker geworden. Das natürliche Gleichgewicht ist weitgehend gestört. Für Tidehub, MThw, MTnw, für die Höhe des Vorlandes über MThw und zu NN gelten heute andere Werte als zur Bronzezeit und vor 1000 Jahren.

Die Ausführungen zeigen, in welchem Umfange der Mensch seinen Lebensraum an der Küste gestaltet und zu seiner unbeabsichtigten Umgestaltung beigetragen hat. Sie zeigen zugleich, wie mangelhaft und unbrauchbar Maße und Zahlen jener Grundlagen sind, mit denen man eine säkulare Küstensenkung mit erheblichen Senkungsbeträgen hat beweisen wollen.

IV. Folgerungen für die Frage der „Küstensenkung“

Es hätte nicht aller Beweise bedurft, um zu erkennen, daß ausschließlich hochliegende und alte Marschen mit relativ festem Untergrund für die Klärung und Beantwortung der Senkungsfrage in Betracht kommen. An 2000 Jahre alten Marschen, die bis zu ihrer Bedeichung kaum überflutet wurden, jedenfalls nicht mehr höher aufwuchsen, die heute noch teilweise höher liegen als unsere jüngsten Köge, läßt sich jedoch auch nicht das Mindestmaß einer Senkung nachweisen. Da diese vorkaiserzeitlichen Marschen höher liegen als die steinbronzezeitlichen, sie also bei höheren Wasserständen entstanden sind, ist auch die Annahme einer vorchristlichen beträchtlichen Hebung ausgeschaltet, durch die ihre hohe Lage vielleicht noch hätte erklärt werden können.

Aber auch bei der etwas niedrigeren steinbronzezeitlichen Marsch von Altnordstrand usw., die heute noch bei + 0,5 m NN und höher liegt, würde schon ein Senkungsbetrag von 10 cm im Jahrhundert für die letzten 2000 Jahre zu einer Höhe von mindestens 2,5 m NN um Chr. G. führen. Würde man für dasselbe Gebiet den SCHÜTTESchen Betrag von 30 bis 35 cm/Jahrh. nur für die letzten 500 Jahre annehmen, so ergäben sich Höhen, die alle Katastrophen von 1362 bis 1825 unmöglich gemacht hätten. Es gibt daher nur eine Schlußfolgerung: Die Nord-

seeküste senkt sich nicht! Bei allen bisherigen Senkungsberechnungen sind die Entwicklungsgeschichte, die Stellung im Küstenraum, die Setzungen, nicht genügend berücksichtigt worden; falsche Datierungen und unrichtig angenommene Maße sind für die täuschenden Ergebnisse mitverantwortlich. An dieser Feststellung ändert auch der neuerliche Versuch des Nachweises ganz junger und erheblicher tektonischer Bewegungen in Ostfriesland nichts. Wenn „spätsubboreale“ Torfe in Rinnen noch in einer Tiefe von — 15 m NN entstanden oder durch Absenkung in diese Lage gekommen sein sollen, ohne daß die liegenden Schichten die gleiche Bewegung mitgemacht haben, so dürfte das doch eine groteske Fehldeutung sein (SINDOWSKI 1957, Anl. 4).

V. Niveauveränderungen durch Ansteigen des Wasserspiegels

Wenn auch die Untersuchungen nicht abgeschlossen und die Zusammenhänge nicht restlos geklärt sind, so gilt es doch als ziemlich sicher, daß in den letzten achtzig Jahren ein weltweites Ansteigen des Wasserspiegels und gleichzeitig eine Erwärmung auf der ganzen Erde eingetreten ist (GAYE 1951). Der ständige Rückgang der Gletscher ist nicht zu übersehen. Eine Erhöhung des Wasserstandes um rund 20 cm im Jahrhundert ist zwar nicht gerade besorgniserregend für die Sicherheit unserer Deiche, zumal sie nicht mit ähnlichen Beträgen unbedingt in den nächsten Jahrhunderten anhalten muß. Weit bedenklicher erscheint dagegen die erhebliche Vergrößerung des Wasserraums im Wattenmeer, die unweigerlich zu einem negativen Sedimenthaushalt führen muß. Um das Gleichgewicht zu erhalten, müßten immerhin für je 100 km² Watt 200 Millionen m³ Sand und Schlick aus der freien Nordsee herangeführt werden.

Für die Hubhöhen der Schöpfwerke, wie überhaupt für die Entwässerungsmaßnahmen in den Niederungen, kann eine anhaltende Erhöhung des Wasserspiegels zwar nicht vernachlässigt werden, sie ist gegenüber den ständig fortschreitenden Setzungen, die weit höhere Beträge erreichen, aber von untergeordneter Bedeutung.

Sollen nun unter der Annahme, daß die eustatisch bedingte Wasserstandsänderung anhält, die auf die heutigen Wasserstände eingestellten Deichhöhen einen um die zu erwartende Änderung bemessenen Zuschlag erhalten? Es ist zunächst zu bemerken, daß eine Erhöhung des Mittel-tidehochwassers nicht eine entsprechende Erhöhung der Sturmfluten zur Folge hat. Außerdem wird nach fünfzig Jahren ohnehin kein Deich seine Sollhöhe behalten haben, auch dann nicht, wenn er noch um 10 cm erhöht würde. Durch Eigensetzungen und Zusammendrückung des Untergrundes bedingt, werden irgendwann einmal wieder Deicherhöhungen und -verstärkungen notwendig sein. Dieser Zeitpunkt ließe sich durch einen höheren Zuschlag in Gebieten mit schlechtem Untergrund etwas hinauszögern. Aber gerade in diesem Fall ist heute schon die Tragfähigkeit bis zum äußersten ausgelastet. (DITTMER 1955). Einer Sicherheit durch ausreichende Höhen auch für die fernere Zukunft ist aber die augenblickliche Standsicherheit vorzuziehen.

VI. Zusammenfassung

Die Untersuchungen zur Geologie der Nordseeküste während der letzten 25 Jahre haben es ermöglicht, der jahrzehntelang in der breiten Öffentlichkeit und in Fachkreisen lebendig gebliebenen Küstensenkungstheorie von SCHÜTTE ihre wesentlichen Grundlagen zu entziehen. Niveauveränderungen sind zwar der normale Fall in der Erdgeschichte, selbst die größten Absenkungen im Tertiär zeigen jedoch, auf ein Jahrhundert berechnet, nur äußerst kleine Werte.

Die nacheiszeitliche Entwicklungsgeschichte wird entscheidend bestimmt durch die Ausgangsform der Späteiszeit, Verlauf und Ausmaß des eustatisch bedingten Wasserspiegelanstiegs sowie während der letzten 1000 Jahre durch den Einfluß des Menschen auf die natürlichen Verhältnisse.

Nur im Bereich der Schmelzwasserströme von Elbe und Eider kam es bei schnellem Wasseranstieg zu einer marinen Fazies und einem relativ stabilen Aufbau. In allen übrigen Gebieten entstanden im Brackwasserbereich stark setzungsfähige Ablagerungen, die für irgendwelche Untersuchungen zur Senkungsfrage ungeeignet sind. Auch sind die ehemaligen Wasserstände sowie die Beziehungen von Geländehöhe zum MThw und zu NN in der Vergangenheit zu unsicher, als daß sie als Grundlagen für Berechnungen dienen können. Der Mensch schließlich hat durch Bedeichungen, großräumigen Torfabbau usw. entscheidend in das natürliche Geschehen eingegriffen. Die großen Sturmflutkatastrophen waren nicht nur eine Folge der natürlichen Entwicklung in den instabil aufgebauten Gebieten, sondern eine solche der Umgestaltung des Küstenraums durch den Menschen.

Zwischen dem Alter der Marschen und ihrer Besiedlung liegen Zeiträume bis zu 3000 Jahren. Schriftliche Überlieferungen aus der Zeit vor 1500 n. Chr. und auch jüngere Aufzeichnungen von Chronisten haben sich als unzuverlässig erwiesen. Die meisten Berechnungen fußen auch bei der Datierung auf Zahlen, die falsch bestimmt oder angenommen sind.

Bestimmend allein für die Senkungsfrage sind die 2000 Jahre alten Marschen des südlichen Eiderstedt und Dithmarschens, die heute noch eine Höhe bis zu + 2 m erreichen. Sie können unmöglich abgesunken sein. Die Annahme kleinerer Senkungsbeträge für die 4000 Jahre alte steinbronzezeitliche Marsch und die Anwendung der SCHÜTTESchen Beträge nur für den Zeitraum der letzten 500 Jahre hätte alle Sturmflutkatastrophen unmöglich gemacht, weil um 1,5 m höher gelegenes Land weder 1362 noch 1634 hätte in den Tidebereich gelangen können.

Die seit achtzig Jahren eingetretene Erhöhung des Wasserstandes sollte bei zukünftigen Planungen nicht übermäßig berücksichtigt werden, um die Standsicherheit der Deiche nicht zu gefährden. Sie sollte jedoch wegen der möglichen Auswirkungen auf das Geschehen im Wattenmeer eingehend beobachtet werden.

Gliederung	Zeit	Wasserstand	Ereignisse	Ablagerungen
Holozän (Alluvium)	Gegenwart		Planmäßige Landgewinnung	Junge Marsch über Wattsand/Alte Marsch
	— 1634		Sturmflut- katastrophen	Junge Marsch über Alter Marsch oder Torf
	— 1362	gering einige dm schwankend	Landverluste, Ausbildung großer Wattströme Wiederverlandung	
	— 1000		Beginn der planmäßigen Besiedlung und Verfehnung	teilweise Torf
	— 0		Erste Siedlungen auf hoher Alter Marsch	Torf
	— 2000	aus- klingend 1,5 m	Beginn der Verlandung in Dithmarschen	Alte Marsch in Dithmarschen und südl. Eiderstedt
	— 3000	steigend 10 m	Großräumige Verlandung in Nordfriesland	Alte Marsch in Nordfriesland
	— 4000	steigend 70 m	Entstehung der Hakenküste in Dithmarschen	Wattsand
	— 6000	stark steigend	Beginn der Überflutung in Nordfriesland	Sand und Kies
	— 9500	fallend 80—100 m	Nordsee erreicht Geestrand in Dithmarschen Nordsee dringt in Deutsche Bucht ein Küste nördlich Doggerbank	Tonige Meeresabsätze in Dithmarschen und Eiderstedt Flugsand
Weichsel- glazial			südliche Nordsee Festland	Schmelzwassersand
Eem- Interglazial		steigend	Eindringen der Nordsee in Schmelzwassertäler der Saalevereisung	Klei und Torf 7 m unter heutiger Marschoberfläche. Meeresabsätze mit lusitanischer Fauna

Abb. 7. Übersicht über Gliederung, Entwicklungsgeschichte und Ablagerungen

← Bastortf →

← Flandrische Transgression →

VII. Schriftenverzeichnis

Ausführliche Schriftenverzeichnisse finden sich in folgenden Arbeiten:

- DIENEMANN, W. und SCHARF, W.: Zur Frage der neuzeitlichen Küstensenkung an der deutschen Nordseeküste. Jb. Preuß. Geol. L. A. **52**, Berlin 1931.
- HAARNAGEL, W.: Das Alluvium an der deutschen Nordseeküste. Schriftenreihe d. nieders. Landesst. f. Marschen- und Wurtenforschung, **4**, Hildesheim 1950.
- SCHÜTTE, H.: Das Alluvium des Jade-Weser-Gebietes. Wirtschaftswissensch. Ges. z. Studium Niedersachsens. Reihe B der Veröff. Forschungen, H. 13 (2 Teile), Oldenburg 1935.
- Weitere Beiträge in:
- BANTELMANN, A.: Ergebnisse der Marschenarchäologie in Schleswig-Holstein. Offa **8**, Neumünster 1951.
- BANTELMANN, A.: Tofting, eine vorgeschichtliche Warft an der Eidermündung. Offa, **12**, Neumünster 1955.
- BENNEMA, J.: Bodem- en Zeespiegelbeweging in het Neederlandsche Kustgebiet. Boor en Spade, Wageningen 1954.
- BUSCH, A.: Neue Gesichtspunkte zur Kartographie des mittelalterlichen Nordfriesland. Jb. d. Heimatbundes „Nordfriesland“, **23**, Husum 1936.
- DITTMER, E.: Schichtenaufbau und Entwicklungsgeschichte des dithmarscher Alluviums. Westküste, **1**, H. 2, Heide 1938.
- DITTMER, E.: Das nordfriesische Eem. Ein Beitrag zur Geschichte der junginterglazialen Nordsee. Kieler Meeresforschungen, IV, Kiel 1941.
- DITTMER, E.: Die Küstensenkung an der schleswig-holsteinischen Westküste. Forsch. u. Fortschr., **24**, Nr. 17/18, 1948.
- DITTMER, E.: Die nacheiszeitliche Entwicklung der schleswig-holsteinischen Westküste. Meyniana, **1**, Neumünster 1952.
- DITTMER, E.: Der Mensch als geologischer Faktor. Eiszeitalter und Gegenwart. **4/5**, 1954 (1954a).
- DITTMER, E.: Zur Geschichte der Landschaft und der Warften Nordfrieslands. Jaarsverslag van de Vereniging voor Terponderzoek. Groningen 1954 (1954b).
- DITTMER, E.: Mittelalterliche Verfehnung in Nordfriesland. Die Heimat, Nr. 4, Neumünster 1954 (1954c).
- DITTMER, E.: Deichverstärkung und Baugrund. Die Küste, **3**, H. 1/2, Heide 1955.
- DITTMER, E.: Jungtertiäre Ablagerungen im westlichen Schleswig-Holstein. Meyniana, **8**, Kiel 1958.
- GAYE, J.: Die Wasserstandsänderungen in der Ostsee und in der Nordsee in den letzten 100 Jahren. Die Wasserwirtschaft, Sonderheft 1951.
- GRIPP, K.: Inlandeis und Salzaufstieg. Geol. Rdsch., **40**, Stuttgart 1952.
- HECK, H.-L.: Die nordfriesische neuzeitliche Küstensenkung als Folge diluvialer Tektonik. Jb. Preuß. Geol. L. A. **57**, 1936.
- ILLIES, H.: Ein Schnellverfahren zur Abgrenzung und tektonischer Beurteilung glazial überschotterter Salzstrukturen. Erdöl u. Kohle, **6**, Hamburg 1953.
- KOOP, R.: Eiderstedter Heimatbuch, I. Teil: Besiedlung und Bedeichung. Garding 1936.
- MÜLLER, F.: Das Wasserwesen an der schleswig-holsteinischen Nordseeküste. Erster Teil: Die Halligen **I/II**, Berlin 1917.
- MÜLLER, F. u. O. FISCHER: Das Wasserwesen an der schleswig-holsteinischen Nordseeküste. Zweiter Teil: Die Inseln, **1—7**, Berlin 1936—38. Dritter Teil: Das Festland, **1—7**, Berlin 1955—57.
- NILSSON, T.: Versuch einer Anknüpfung der postglazialen Entwicklung des norddeutschen und niederländischen Flachlandes an die pollenfloristische Zonengliederung Südkandinaviens. Lund 1948.
- PICARD, K.: Die Struktur Peißen und das glazigene Geschehen im Raum des Lockstedter Sanders. Geol. Jb. **75**, Hannover 1958.
- SCHOTT, K.: Die Westküste Schleswig-Holsteins. Probleme der Küstensenkung. Schr. Geogr. Inst. Univ. Kiel, Kiel 1950.
- SINDOWSKI, K.-H.: Die geologische Entwicklung des Wattengebietes südlich der Inseln Baltrum und Langeoog. Forschungsstelle Norderney, Jber. **VIII**, 1956.
- WEBER, H.: Der geologische Bau des Untergrundes von Schleswig-Holstein. Geol. Landesamt, Kiel 1957.
- WEGNER, TH.: Vorläufige Mitteilung über Studien im nordfriesischen Wattgebiet. Centralblatt f. Mineralogie, 1931.

Forschungsergebnisse der Marschenarchäologie zur Frage der Niveauveränderungen an der schleswig-holsteinischen Westküste*)

Von Albert Bantelmann

Inhalt

I. Einleitung	45
II. Die Veränderungen im Bereich der Nordfriesischen Inseln und Halligen	47
A. Das Gebiet der Hallig Langeneß-Nordmarsch	47
B. Das Gebiet der Hallig Habel	50
C. Das Gebiet zwischen Hamburger Hallig—Pellworm und Nordstrand	52
III. Die Ergebnisse der Warf-Grabungen von Tofting und Elisenhof in Eiderstedt	57
IV. Zusammenfassung	63
V. Schriftenverzeichnis	65

I. Einleitung

Der Einsatz planmäßiger Arbeiten zur archäologischen Erforschung der Marschgebiete Schleswig-Holsteins geht mit Ausnahme einiger Voruntersuchungen (HAARNAGEL 1937) auf Anregungen zurück, welche durch die praktische Arbeit im Rahmen des Zehnjahresplanes zur Landgewinnung und Landerhaltung in Schleswig-Holstein seit dem Jahre 1934 ausgelöst wurden (LORENZEN 1938). Zu der Zeit stand die Küstenforschung noch ganz im Banne der SCHÜTTESchen Theorie über die Senkungs- und Hebungsphasen im Bereich der Deutschen Bucht (SCHÜTTE 1927, 1933).

Beobachtungen, insbesondere von Heimatforschern, schienen zu beweisen, daß die letzte Senkung, die nach SCHÜTTE um Chr. G. begonnen haben sollte, in unserem Gebiet bis zur Gegenwart andauert. Es wurde außerdem die Meinung vertreten, daß Nordfriesland mit seinen großen Flächen durch das Meer zerstörten mittelalterlichen Kulturlandes innerhalb des deutschen Küstengebietes eine Landschaft sei, in der örtlich besonders hohe Senkungsmaße auftreten. Man gab Senkungsbeträge von 0,34 m für ein Jahrhundert an (BUSCH 1927).

Da sich derartige Höhenveränderungen in verhältnismäßig kurzer Zeit nachteilig auf die Wasserhaltung des bedachten Marschlandes auswirken würden, wurde die Durchführung wissenschaftlicher Untersuchungen zur Klärung der sich im nordfriesischen Raum abspielenden Vorgänge und ihrer möglichen Ursachen angeregt. Neben Arbeiten rein geologischer Art wurde im Jahre 1936 mit Untersuchungen der Kulturspuren auf den Flächen des nordfriesischen Wattenmeeres sowie später auch von solchen, die noch unter dem grünen Rasen der Marsch liegen, begonnen. Diese Arbeiten hatten zunächst, aus der oben angedeuteten Problemstellung heraus, vorwiegend das Ziel, Ergebnisse zur Beantwortung der Fragen nach der Entstehung und vor allem nach den Vorgängen und Ursachen der Zerstörung des alten Kulturlandes im Gebiet des heutigen Nordfrieslands zu gewinnen (BANTELMAANN 1939).

*) Nach einem Vortrag auf der 3. Arbeitstagung des Küstenausschusses Nord- und Ostsee am 15. Oktober 1959 in Bremen.

Man wußte damals nicht, daß damit gerade ein Raum gewählt war, in welchem die Beantwortung derartiger Fragen infolge seiner örtlich bedingten Eigenarten außerordentlich schwer durchführbar ist. Trotzdem soll nicht darauf verzichtet werden, den Verlauf der Arbeiten kurz zu skizzieren, denn gerade das Erkennen einer Vielfalt von störenden Faktoren, deren Ineinandergreifen örtlich stark wechselt, hat uns in der Auswertung aller Ergebnisse zu äußerster Vorsicht gemahnt.



Abb. 1. Lage der untersuchten Gebiete

An Hand einzelner Beispiele, deren Lage auf Abbildung 1 angegeben ist, werden im folgenden sowohl die Methoden als auch die Ergebnisse dieser marschenarchäologischen Untersuchungen unter besonderer Berücksichtigung der Höhenverhältnisse zwischen Land und Meer und ihrer etwaigen Veränderungen erläutert werden. Zeitlich beschränken wir uns dabei im wesentlichen auf die Periode zwischen Christi Geburt und der Gegenwart, aus der uns Funde einstiger menschlicher Besiedlung in besonders reichlichem Maße zur Verfügung stehen.

II. Die Veränderungen im Bereich der Nordfriesischen Inseln und Halligen

A. Das Gebiet der Hallig Langeneß-Nordmarsch

Im Gebiet der nördlichen Halligen, insbesondere auf Hallig Langeneß-Nordmarsch, hat die Oberfläche des Wattgebietes dort, wo jüngere Ablagerungen durch Ab-



Abb. 2.
Blick auf eine
Abrasionsfläche im Watt
von Langeneß-
Nordmarsch mit Resten
mittelalterlichen
Salztorfabbaues
Aufn. BANTELMANN, 1954



Abb. 3.
Schnitt durch ein
Salztorfabbaugebiet
im Süderwatt von
Langeneß-Nordmarsch.
Schollen aus deutlich
geschichtetem Klei
(Anwachs) liegen in
einem Gemisch von
Torf- und Kleibrocken.
Beachtenswert ist die
Verdrückung der
anstehenden Schichten
des Untergrundes
Aufn. BANTELMANN, 1954

rasion entfernt sind, über viele Quadratkilometer ein ausgeprägt streifiges Aussehen (Abb. 2). Schmale, parallel verlaufende Bänke grauen Kleis wechseln mit Streifen ab, die vorwiegend von braunen Torfbrocken gebildet werden.

Schnitte durch diese Erscheinung (Abb. 3) zeigen, daß hier Kleischollen inmitten eines durch Menschenhand ausgeräumten Torfhorizontes liegen, von dem nur noch geringe Reste in der Form größerer oder kleinerer Brocken vorhanden sind. Spuren einstiger Halligflora an der heutigen Unterkante der Schollen beweisen, daß während des Torfabbaues eine hangende

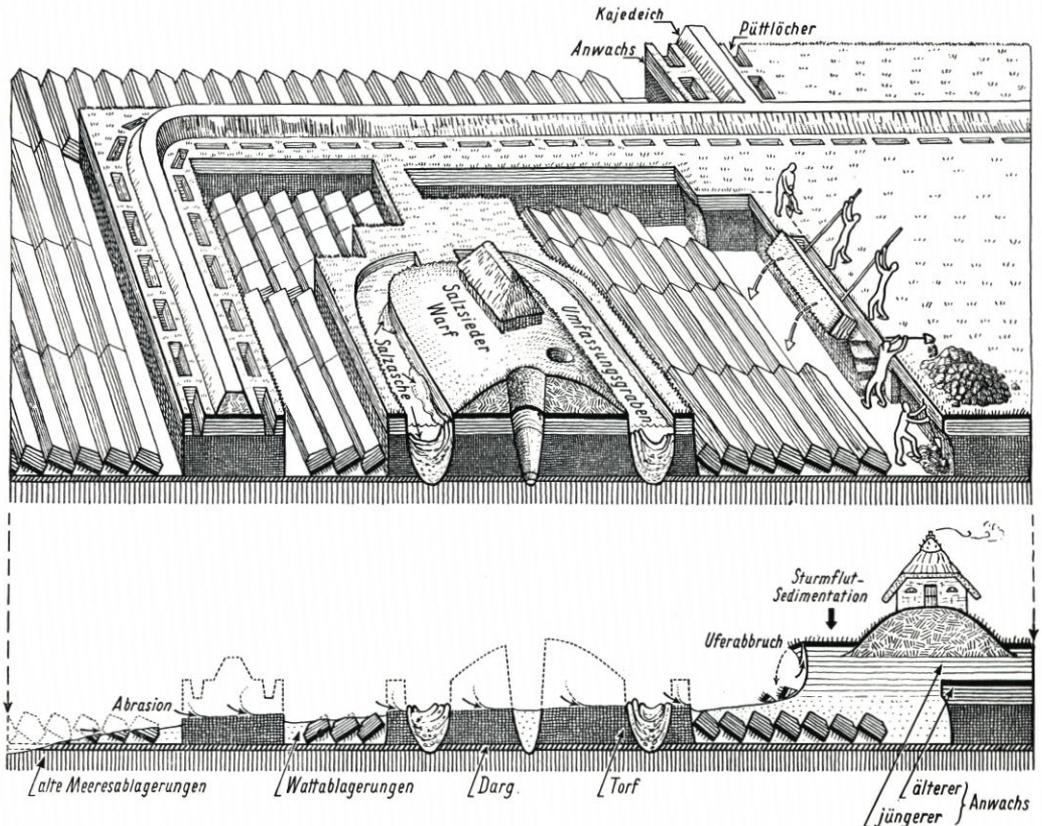


Abb. 4. Schematische Darstellung der Landschaftsentwicklung im Raume Langeneß-Nordmarsch. Oben: Vorgang der Zerstörung ausgedehnter Halligflächen durch Salztorfabbau unter Halligland im hohen und späten Mittelalter. Kajedeiche schützten die Abbaugelände vor Sommerüberflutungen. Unten: Die heutigen Verhältnisse im gleichen Gebiet. In unzerstörten Restgebieten (ganz rechts) liegt eine Schicht jüngeren Anwachs über der mittelalterlichen Oberfläche. Die durch den Abbauvorgang vertieften Flächen (links) wurden zunächst in ein Wattgebiet verwandelt, in dem alle höher liegenden Teile wie Kajedeiche und Salzsiedersiedlungen durch Erosionsvorgänge abgetragen wurden. Nur die Grundflächen und künstlichen Eintiefungen wie Püttlöcher, Zisternen und Gräben, letztere teilweise mit Salzasche gefüllt, blieben erhalten. Durch Verlandung entstand hier allmählich neues Halligland, dessen Ausdehnung durch Uferabbruch bis zur Gegenwart ständig verringert wurde. Die heutigen Warfen von Langeneß-Nordmarsch (ganz rechts) sind während der jüngeren Halligphase errichtet. Trotz des geringen Alters sind sie im unteren Teil von einer Schicht junger Überflutungssedimente bedeckt

Kleischicht vorhanden war, die in Form von schmalen Bänken in die Abbaugraben hineingekippt wurde (Abb. 4). Der Vorgang ist durch WEGNER (1931a und b) erkannt und später durch ANDRESEN (1937) genauer beschrieben worden. Aus dem salzhaltigen Torf wurde das im Mittelalter sehr geschätzte friesische Salz gewonnen.

Für unsere Fragestellung ist aus dem Beispiel folgendes zu entnehmen: Über einer älteren Meeresablagerung, die wie ihre Struktur zeigt, vielerorts nicht zum MThw ihrer Entstehungs-

zeit aufwuchs, bildeten zunächst Schilfsümpfe, dann Bruchwälder und Hochmoore Torfschichten von wechselnder Mächtigkeit. Der Einfluß des Meeres in diesem Gebiet war also in starkem Maße zurückgetreten. Die Ursachen hierfür brauchen nicht in einem allgemeinen Absinken der Meereswasserstände zu liegen, sie können durchaus lokaler Natur sein; denkbar wäre beispielsweise ein seewärtiges Anwachsen höheren Marschlandes oder die Bildung von schützenden Strandwällen.

Aus den Meeresablagerungen unter dem Torfhorizont wurden an einigen etwas höher gelegenen Stellen menschliche Steinwerkzeuge geborgen (BANTELMANN 1939), die darauf schließen lassen, daß hier in der Endphase der jüngeren Steinzeit oder der Bronzezeit, d. h. im 2. Jahrtausend vor Chr. G., eine wenigstens zum Teil für Menschen betretbare Oberfläche vorhanden gewesen sein muß. Die darüberliegende Torfschicht ist demnach in ihren ältesten Teilen wahrscheinlich bronzezeitlich, zur Hauptsache aber sicher eisenzeitlich.

Die über dem Torf liegenden Kleischichten zeigen, daß der Meereseinfluß wieder zugenommen haben muß. Das geschah, wie aus der Struktur der Deckschichten und der in ihnen enthaltenen Pflanzenreste zu ersehen ist, auf die Weise, daß bei starken auflandigen Winden Salzwasser über die Mooroberflächen flutete, welches die Moorpflanzen abtötete und eine dünne Schicht mariner Sedimente über ihnen ablagerte, auf denen sich bald eine Salzwiesenflora ansiedelte. Das Gebiet wurde also nicht zu Meeresboden, sondern blieb als Salzwiese über dem damaligen MThw. Durch weitere Überflutungen und damit verbundene Sedimentablagerungen verdickte sich das Schichtpaket laufend und erhielt eine ganz charakteristische, streifige Natur (Anwachs). Seine Entstehung kann noch heute auf den Halligen und Deichvorländern gut beobachtet werden. Wir besitzen Anzeichen dafür, daß die Überflutung der Moorgebiete im Bereich der nördlichen Halligen frühestens vom Ende des 1. Jahrtausends n. Chr. G. ab vor sich gegangen ist. Es ist für unsere Betrachtungen wichtig, daß der beschriebene Vorgang zunächst ohne erkennbaren menschlichen Einfluß erfolgte.

Auch dieser Überflutungsprozeß darf nicht ohne weiteres als Beweis einer Hebung der Wasserstände angesehen werden. Veränderte Sedimentationsbedingungen in der damaligen Uferzone können den Abtrag höher liegender schützender Landflächen (Marschgebiete oder Strandwälle) und damit ein Vordringen in uferfernes, vermoortes Sietland bewirkt haben.

Dann aber wurde die weitere Entwicklung durch die Tätigkeit des Menschen maßgebend bestimmt. Große Flächen des über den Mooren durch das Meer neu abgelagerten fruchtbaren Marschlandes wurden durch die beschriebene Grabungstätigkeit zum Zwecke der Salztorgewinnung zerstört. Wie an einigen Profilen klar erkennbar ist, wurden weite Flächen des Landes dadurch in Watt verwandelt. Funde von Tongefäßscherben, die, zwischen Abbau-schollen steckend, angetroffen wurden, zeigen, daß jedenfalls im 14. Jahrhundert die Torfgewinnung unter dem Marschland im Gebiete der heutigen Hallig Langeneß im vollen Gange war.

Die Spuren des Abbaues lassen sich nicht nur auf den Wattflächen, sondern auch unter großen Teilen der heutigen Hallig Langeneß-Nordmarsch sowie unter Gröde-Appelland und dem Nordteil von Hooge nachweisen, ein Zeichen dafür, daß Teile dieser Halligen erst vom späten Mittelalter an wieder über den vom Torfabbau zerstörten Ländereien aufwuchsen und gleichzeitig durch Kantenabbruch allmählich wieder an Fläche verloren.

Diese in ganz großen Zügen durchgeführte Beschreibung zeigt deutlich die starke Dynamik in der Landschaftsgeschichte der heutigen nördlichen Halligen. Wichtig für die Beantwortung unserer Frage nach den Niveauperänderungen war der erwähnte Fund steinbronzezeitlicher oder bronzezeitlicher Flintgeräte auf der Oberfläche alter Meeresablagerungen unter dem Torfhorizont.

Schon 1939 konnte durch einen Vergleich mit der Schichtlage und Schichthöhe von wahrscheinlich gleichaltrigen Funden in den Elbmarschen vermutet werden, daß ein örtlich gebundenes stärkeres Absinken im nordfriesischen Raum seit der Steinbronzezeit, also seit mehr als 3500 Jahren, nicht stattgefunden haben kann, da sonst die durch die Geräte datierten Meeresablagerungen erheblich tiefer liegen müßten. Neuere Funde aus unserem Gebiet, vor allem aber auch aus Holland, haben diese Auffassung weiter gefestigt.

Die übrigen beschriebenen Funde sind jedoch für Fragen nach möglichen jüngeren Niveauveränderungen schlecht verwertbar. Dort, wo der Torf bei Langeneß ungestört ansteht, hat er eine Maximalmächtigkeit von 0,80 m. Zur Zeit des Abbaues war er an den meisten Stellen mit einer Anwachsschicht von 0,50 bis 0,60 m bedeckt. Heute sind diese Deckschichten durch weitere Sturmflutsedimentationen je nach ihrer Lage um weitere 0,60 bis 1,40 m angewachsen.

Dieser Befund kann jedoch wiederum nicht ohne Vorbehalte als Zeichen eines stärkeren Steigens der Wasserstände seit der Zeit des Torfabbaues bei Langeneß, also mutmaßlich dem 14. Jahrhundert, angesehen werden. Es sind unter anderen folgende Fakten zu berücksichtigen: 1. Die Beschaffenheit der Torfschichten sowie der Aufbau von Teilen der darunter liegenden Meeresablagerungen aus weicher Tongyttja lassen vermuten, daß Setzungserscheinungen hier eine große Rolle gespielt haben und noch heute spielen. 2. Die ständige, bis in die Gegenwart andauernde Verkleinerung der Halligflächen durch Kantenabbruch zugunsten der dazwischenliegenden, mit Wasser bedeckten Flächen wird eine Zunahme des Sedimenttransports durch das bewegte Wasser auf die Halligflächen und dadurch eine stärkere Aufhöhung über Meeresspiegelhöhe bewirkt haben, gleichzeitig wird eine Veränderung des Gezeitenhubs und damit der Höhe des MThw stattgefunden haben.

B. Das Gebiet der Hallig Habel

Ein anderes Bild bieten die Verhältnisse in der Umgebung von Habel. Diese Hallig ist heute nicht mehr dauernd bewohnt, die einzige erhalten gebliebene Warf mit Haus bietet nur



Abb. 5.
Der Sodenring einer
Zisterne zeigt die
ehemalige Lage der
Süderwarf von Habel
Aufn. SCHELLING, 1937

noch den Arbeitern des Uferschutzes oder Sommergästen eine gelegentliche Bleibe. Noch im Jahre 1770 lebten sieben Familien auf der damals viel größeren Fläche. Nach HEIMREICH (1819) soll das ehemalige Kirchspiel Habel durch die Sturmflut von 1362 zerstört worden sein.

Durch regelmäßige Begehungen konnten auf den sehr tief liegenden Abrasionsflächen in der Umgebung der Hallig zahlreiche Kulturspuren festgestellt und eingemessen werden (Abb. 5). Sie erlauben uns, folgendes Bild der Landschaftsentwicklung zu entwerfen (vgl. hierzu Abb. 6).

Neben Spuren einer Salztorfgewinnung unter altem Halligland fällt vor allem ein enges Netz von gradlinig verlaufenden Entwässerungsgräben ins Auge, das zusammen mit aufgefundenen Pflugspuren und Deichresten erkennen läßt, daß sich hier einstmals eine intensiv genutzte Kulturlandschaft erstreckte, deren Wirtschaft sich von der heute üblichen Nutzungsart stark unterschieden haben muß. Diese Spuren liegen um -1 m NN.

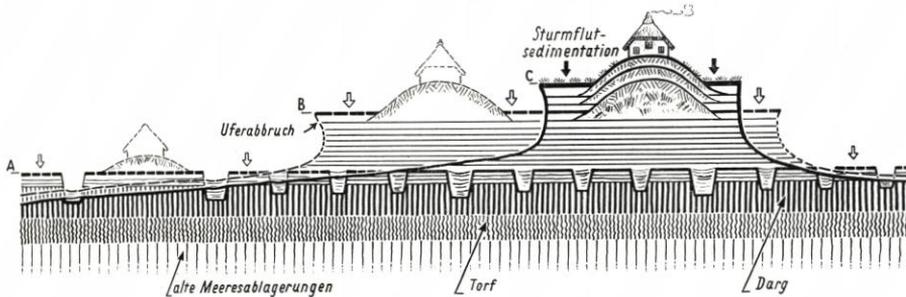


Abb. 6. Die Landschaftsentwicklung im Raume von Habel.

Die Oberfläche A bestand im hohen Mittelalter. Damals lag über Torf- und Dargsschichten ein nur geringmächtiges Paket von Anwachs, dessen durch ein Grabensystem entwässerte Oberfläche offensichtlich landwirtschaftlich intensiv genutzt wurde. Diese Wirtschaftsweise wurde durch ständige Verstärkung des Meereinflusses erschwert und schließlich zugunsten der extensiveren Halligwirtschaft aufgegeben. Die Mächtigkeit des Anwachs wurde durch Sedimentation auf den Salzwiesenflächen bei Sturmfluten erhöht (Oberfläche B), das Land durch Uferabbruch ständig verringert, bis es im 20. Jahrhundert (Oberfläche C) für eine Dauerbesiedlung zu klein wurde

Die von Langeneß her bekannte Torfschicht wurde auch unter Habel angetroffen, nur liegt sie hier erheblich tiefer. Sie besteht im wesentlichen aus Bruchwaldtorf, aus dem auf Abrasionsflächen in der Nähe der Niedrigwasserlinie häufig liegende Baumstämme verschiedener Größe herausgespült werden („untergegangene Wälder“). Überlagert wird dieser Torf von tonigem Schilftorf (Darg), der noch heute mehr als 1 m mächtig sein kann. Als jüngste Lage findet man dort, wo die Entwicklung ungestört verlief, über den Dargablagerungen ein Paket von gut durchwurzelter Anwachsschichten, die im Bereich der Hallig eine Gesamtmächtigkeit von etwa 3 m erreichen.

Auffällig ist, daß sich hier zwischen die Bruchwaldablagerungen, zu deren Entstehung Süßwasser erforderlich war, und die Relikte von Salzwiesenpflanzen enthaltenden Anwachsschichten der Darg als Brackwasserablagerung schiebt. Das Vordringen des Meereinflusses hat sich in den tiefliegenden Mooren bei Habel offensichtlich nicht so unmittelbar durch Salzwasserüberflutungen in Sturmflutzeiten bemerkbar gemacht wie auf den alten Mooren von Langeneß. Die Bruchwälder bei Habel wurden vielmehr allmählich durch Brackwassersümpfe, die dicht mit Schilf bewachsen waren, abgelöst und erst später von marinen Sedimenten überdeckt.

Gewisse Anzeichen an der Oberfläche der Dargsschichten lassen vermuten, daß der Versuch unternommen wurde, diese Schilfsümpfe zu kultivieren. Die Hauptmasse der von uns beobachteten und vermessenen Kulturspuren tritt jedoch in dem untersten 0,50 m der Anwachsschichten auf. Zu einer Zeit also, als durch Salzwasserüberschwemmungen bei Sturmfluten bereits eine dünne Kleidecke über das ehemalige Sumpfgebiet gebreitet war und hier ähnliche Ver-

hältnisse entstanden waren wie auf unseren heutigen Vorländern und Halligen, wurden durch Bedeichung anscheinend kleinerer Flächen und die Anlage eines dichten Grabennetzes für die Entwässerung die Vorbedingungen für eine intensivere Nutzung des Landes geschaffen. Die auf den Siedlungsresten aufgefundene Keramik entstammt zur Hauptsache dem 13. und 14. Jahrhundert.

Ganz offensichtlich hat man diese intensive Bewirtschaftung nur kurze Zeit durchführen können. Sturmfluten zerstörten die Deiche, das Land ging nicht unter, sondern fiel lediglich in seinen früheren Salzwiesenzustand zurück und verharrte in diesem bis zur Gegenwart. Der Schichtaufbau der heutigen Hallig verkündet uns das weitere Schicksal. Durch die Ablagerungen ungezählter Sturmfluten verdickte sich das Paket der Anwachsschichten mehr und mehr, so daß die heutige Halligoberfläche etwa 3 m über dem Horizont des 14. Jahrhunderts liegt. Nirgends aber fanden wir, wie schon erwähnt, Zeichen eines „Unterganges“. Nach dem Überstehen jeder Sturmflut wuchs der grüne Salzwiesenrasen durch die Decke der frisch auf ihm abgelagerten Sedimente hindurch. Ständig nagte jedoch die Brandung an den Kanten des einst ausgedehnten Landes und verringerte sein Areal allmählich so weit, daß zu Beginn unseres Jahrhunderts auch der letzte Halligbauer die immer kleiner werdende Fläche verlassen mußte.

Das ständige, noch heute andauernde Höherwachsen der Landoberfläche durch Sturmflutablagerungen erweckt den Eindruck, als ob die Verhältnisse um Habel als sichere und meßbare Anzeichen eines ständigen Ansteigens der Wasserstände gedeutet werden können. Bei einer kritischen Betrachtung erweist sich jedoch, daß die gleichen Einschränkungen gemacht werden müssen wie bei Langeneß; darüber hinaus ist hier mit einer sehr starken Setzung nicht nur der Torf-, sondern insbesondere auch der darüberliegenden, sehr weichen Dargsschichten zu rechnen. Auch hier treten demnach Fehlerquellen auf, deren Ausmaß sich nicht in exakten Zahlen angeben läßt.

C. Das Gebiet zwischen Hamburger Hallig—Pellworm und Nordstrand

Als nächstes Beispiel seien die Untersuchungen im ehemals bedeichten Gebiet der Insel Alt-Nordstrand genannt, einem Kulturland, welches nach Aussage der Funde frühestens von der zweiten Hälfte des 11. Jahrhunderts an besiedelt wurde und später den Sturmflutkatastrophen des Mittelalters und der beginnenden Neuzeit zum Opfer fiel. Am bekanntesten sind die verheerenden Fluten der Jahre 1362 und 1634.

In der Umgebung der heutigen Inseln Nordstrand und Pellworm liegen große Flächen dieses alten Landes verborgen und geschützt unter jüngeren Wattablagerungen. Nur dort, wo die sich ständig verlagernden Wattströme an ihren Rändern Abrasionsflächen schaffen, kommen Teile der alten Landoberflächen, die im Mittelalter vielen tausend Menschen das tägliche Brot gaben, zum Vorschein: Gräben, an deren Seiten noch die Reste einstiger Vegetation sichtbar sind (Abb. 7), als letzte Zeugen eines planmäßig angelegten Entwässerungssystems, Sodenringe von brunnenartig in die Erde eingetieften Süßwasserzisternen als letzte Überreste einstiger Siedlungsstellen und, allerdings verhältnismäßig selten, sogar wohlerhaltene Pflugspuren (Abb. 8). (BANTELMANN 1939, BUSCH 1927, WEGNER 1931a und b, WOHLBERG 1932.)

Überall im beschriebenen Gebiet, von der Hamburger Hallig im Osten bis zu den Wattflächen westlich Pellworm, vom Südrand der Süderau bei Hallig Gröde bis zum Wattgebiet südlich der Insel Nordstrand, findet man dort, wo die Oberfläche des besiedelten Landes durch Aufschütten von warfartig erhöhten Hausplätzen oder von Deichen vor weiteren Eingriffen seitens der Natur oder des Menschen geschützt war, eine Torfschicht von wech-

selnder Mächtigkeit, wie sie uns von den nördlichen Halligen her bekannt ist. Nur fehlt die Decke jüngeren Anwachs über dem Torf, die wir auf den Halligen antreffen. Das Land war bedeckt worden, bevor sich hier der vordringende Meereseinfluß durch Überfluten der Moore bei starken aufländigen Winden bemerkbar machen konnte. Auf den Flächen des Kulturlandes,



Abb. 7.
Grabenreste im
Bereich der ehemaligen
Insel Alt-Nordstrand
Aufn. BANTELMANN, 1956



Abb. 8.
Pflugsuren um 1634,
durch Abrasions-
vorgänge von
schützenden Watt-
ablagerungen entblößt
Aufn. BANTELMANN
(aus Westküste 1939)

die durch keinerlei Bauten geschützt waren, ist diese Torfschicht heute nicht vorhanden. Torfschlamm in Grabenresten und an vielen Stellen auch Gruben mit vergrabener Torf verraten jedoch, daß auch hier einst Moore und Bruchwälder weite Teile der Landschaft bedeckt haben müssen (Abb. 9). Die mittelalterliche Besiedlung dieses Gebietes erfolgte demnach ursprünglich auf tiefliegender vermoorter Marsch (Sietland). Durch die Kultivierungsmaßnahmen und ihre Folgen wurde eine Torfschicht entfernt, deren genaue Mächtigkeit uns nicht bekannt ist, wahrscheinlich aber örtlich stark wechselte. Die im Mittelalter genutzte Landfläche erhielt dadurch

eine tiefere Lage, ein Umstand, dessen verhängnisvolle Folgen zunächst durch den vorhandenen Deichschutz und das dichte Netz der Entwässerungsgräben aufgehalten wurden. Oberfläche des Kulturlandes bildeten nunmehr ältere Meeresablagerungen, welche heute in einer Höhenlage um $\pm 0,0\text{m NN}$ liegen. Diese Sedimente aus der Zeit vor der Torfbildung haben jedoch, wie wir bereits sahen, ein hohes Alter, das keinesfalls durch die heute unmittelbar auf ihnen liegenden mittelalterlichen Kulturreste festzulegen ist.

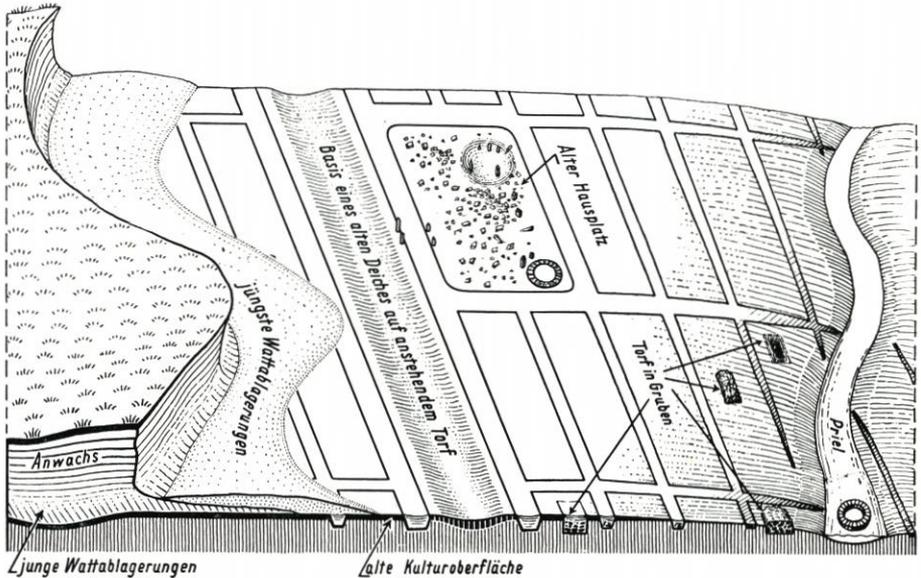
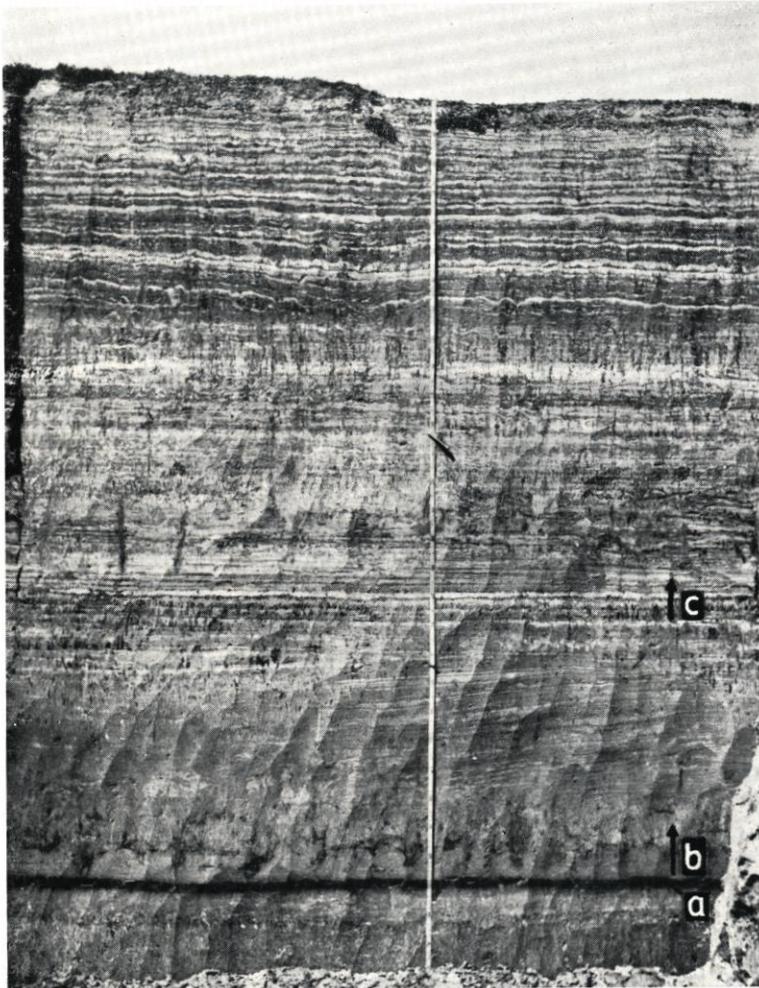


Abb. 9. Landschaftsentwicklung im Gebiet der ehemaligen Insel Alt-Nordstrand.

Eine vermoorte Oberfläche tiefliegenden Marschlandes wurde im Mittelalter bedeckt und durch ein Grabensystem entwässert. Torf wird heute nur noch unter Deich- und Warfresten sowie in alten Gräben angetroffen. Durch die Sturmfluten des Mittelalters und des Beginns der Neuzeit wurde das Land in ein Wattgebiet verwandelt und flächenhaft von jungen Wattablagerungen schützend bedeckt. An günstig gelegenen Stellen wuchs neues Land über den untergegangenen Kulturlandflächen empor. Auf Abrasionsflächen treten heute Reste von Gräben und Deichen zutage. Stellenweise verraten Sodenringe von Zisternen sowie Anhäufungen von Ziegelsteinen die Lage eines alten Hausplatzes

Die Art des Erhaltungszustandes der alten Landoberfläche und die Struktur der darüberliegenden Ablagerungen zeigt deutlich, daß das Land schlagartig Sturmflutkatastrophen zum Opfer fiel, daß es im wahren Sinne des Wortes „unterging“. Wir bekamen durch genauere Untersuchungen, von denen hier zwei Beispiele genannt werden, über wichtige Einzelheiten dieses Vorganges Auskunft. Die Tatsache nämlich, daß die Oberfläche in weiten Räumen fast unversehrt erhalten geblieben ist, zeigt, daß sich während und unmittelbar nach der Katastrophe Wattsedimente schützend über die Stätten ehemaligen menschlichen Wirkens ausbreiteten. Aus dem Kulturland wurde in kurzer Zeit eine Wattlandschaft. Dieser Vorgang konnte aber nur deshalb so unvermittelt eintreten, weil die Ländereien schon zur Zeit der jeweiligen Katastrophe unter dem damaligen MThw lagen. Die Wassermassen konnten auch nach den Sturmfluten unter normalen Windverhältnissen durch die Deichbruchstellen strömen, um zur Hochwasserzeit das Land zu bedecken. Kulturmaßnahmen bildeten demnach einen wichtigen Faktor zunächst bei der Ausformung der Höhenlage des unter Deichschutz liegenden Landes und damit später für die Art des Verlaufs der Meerestransgression in diesem Gebiet.

Eine willkommene Bestätigung und Ergänzung dieses insbesondere auf den Abrasionsflächen des Wattgebietes nördlich von Pellworm angetroffenen Befundes waren Untersuchungsergebnisse, die im Gebiet des Nordteiles dieser Insel gemacht werden konnten.



Aufn. BANTELMANN, 1938

Abb. 10. Profil in einer Erdentnahmestelle für den Deichbau Buphever. Eine alte Wiesenoberfläche liegt 2,70 m unter der Oberfläche des Vorlandes von 1938.

- a) Alte Wiesenoberfläche (dunkles Humusband).
- b) Watablagerungen.
- c) Anwachs mit deutlicher Überflutungs- bzw. Sturmflutschichtung und Spuren ehemaliger Durchwurzelung

Beim Bau des Buphever-Kooges wurde an der Wand einer Erdentnahmestelle auf dem Buphever-Vorland in unmittelbarer Ufernähe das auf Abbildung 10 dargestellte Profil beobachtet, in dem etwa 2,70 m unter dem Rasen das dunkelbraune Band einer alten Landoberfläche deutlich sichtbar wurde. Unter den erhaltenen Pflanzen konnten unter anderem Reste von Schachtelhalm identifiziert werden, ein Zeichen dafür, daß wir es hier nicht mit einer Salz-

wiesenvegetation zu tun hatten, sondern anscheinend mit einer für feuchte Wiesen charakteristischen Pflanzengesellschaft. Kleine Stücke buntglasierter Scherben aus dieser Schicht gaben die notwendigen Datierungsgrundlagen. Am Ausgang des Mittelalters, wahrscheinlich aber noch zu Beginn der Neuzeit, muß diese Oberfläche offen dagelegen haben. Sie wurde wahrscheinlich von den Vorfahren der Bauern genutzt, die nach der jüngsten Bedeichung heute wieder den gleichen Raum, nur fast 3 m höher, bewirtschaften.

Die über der alten Oberfläche liegenden Sedimente verraten uns wichtige Einzelheiten der Vorgänge, die sich seit dem Bestehen des alten Nutzlandes an dieser Stelle abspielten. Das Vorkommen von Pflanzen, die einen stärkeren Salzgehalt nicht lieben, läßt auf das ehemalige Vorhandensein schützender Deiche schließen. Diese Annahme wird durch zeitgenössische Urkunden aus dem späten Mittelalter bestätigt. Genau wie im nördlich angrenzenden Wattgebiet zeigen die unmittelbar über der alten Oberfläche liegenden Wattablagerungen, die hier eine Mächtigkeit von etwa 0,80 m besitzen, an, daß durch die Katastrophe die Deiche zerstört sein müssen und infolgedessen das ehemals genutzte Land von Wattflächen eingenommen wurde, auf denen die alte Landoberfläche sehr schnell von marinen Ablagerungen bedeckt wurde. Vermutlich begünstigt durch die Nähe der erhalten gebliebenen Teile des heutigen Pellworms, entstand durch weitere Sedimentation ein begrüntes Vorland, dessen älteste Anzeichen sich in unserem Profil in etwa 1,90 m Tiefe unter der heutigen Oberfläche in der Form von deutlich durchwurzelten Anwachsschichten bemerkbar machen. Seit dieser Zeit war das Gebiet wieder den täglichen Überflutungen entzogen. Nur bei höheren Wasserständen konnte erneut Sinkstoff auf der nunmehr mit Rasen bedeckten Oberfläche abgelagert werden. Auf diese Weise wurde das Schichtpaket bis zur Zeit der Bedeichung um den genannten Betrag verstärkt.

Wattsedimente und Anwachsschichten zusammen bilden demnach an dieser Stelle eine Decke von etwa 2,70 m Mächtigkeit über dem alten Kulturland, das nach dem Zeugnis der Funde vor weniger als einem halben Jahrtausend noch landwirtschaftlich genutzt wurde. Bei oberflächlicher Betrachtung könnte man diesen Befund als einen schlagenden Beweis für ein stärkeres Ansteigen der Wasserstände halten. Jedoch ist gerade hier eine Reihe von Fehlerquellen nachzuweisen, die in einer unkritischen Betrachtung allzuleicht übersehen werden.

Die Tatsache, daß die alte Oberfläche unmittelbar von einer 0,80 m mächtigen Schicht von Wattsedimenten bedeckt ist, zeigt, daß sie schon während der Katastrophe erheblich unter dem damaligen MThw gelegen haben muß. Dabei ist die heutige Mächtigkeit irreführend, denn erfahrungsgemäß neigen frisch abgelagerte Sedimente dieser Art stark zur Setzung, so daß die ursprüngliche Stärke größer gewesen sein wird.

Die erstaunliche Mächtigkeit der Anwachsschichten wird verständlicher, wenn man einmal die erwähnte Möglichkeit der Setzung der Wattablagerungen berücksichtigt, zum anderen aber mit in Betracht zieht, daß die heutige Oberfläche auf + 2,33 m NN, also etwa 0,80 m über dem heutigen örtlichen MThw, liegt. Diese Höhe ist bedingt durch die Lage des Profils in unmittelbarer Nähe der Abbruchkante, einem Bereich, in dem optimale Sedimentationsbedingungen, um nicht zu sagen „Aufschüttungsbedingungen“, herrschten, wie dieses auch aus der Struktur der obersten Schichtlagen deutlich ersichtlich ist. Auch diese 0,80 m müssen bei der Frage nach Niveauveränderungen, die durch großräumig wirkende Faktoren hervorgerufen wurden, abgezogen werden. Zusätzlich wird noch dem Umstand Rechnung zu tragen sein, daß im engeren Bereich der Untersuchung das Liegende der alten Wiesenoberfläche bis in eine unbekannt Tiefe aus sehr weichen Prielablagerungen bestand. Diese Tatsache wird weitere Setzungserscheinungen unbekanntes Ausmaßes bewirkt haben.

Es erscheint unzumutbar, diese tiefliegenden Oberflächen im Raume der ehemaligen Insel Alt-Nordstrand, deren Höhenlage zum damaligen örtlichen MThw wir auch nicht an-

nähernd rekonstruieren können und deren Alter, wie dargestellt, größtenteils weit höher ist als das ihrer mittelalterlichen Besiedlungsspuren, als Ausgangspunkt für die Berechnung von Meeresspiegelschwankungen bzw. von Krustenbewegungen zu benutzen. Der Fehler früherer Senkungsberechnungen für diesen Raum lag an der Tatsache, daß weder die damals andere Lage zum offenen Meer, die Setzungsbeträge noch die Eingriffe des Menschen in den ursprünglichen Schichtaufbau gebührend berücksichtigt wurden (BENNEMA 1954)¹⁾.

III. Die Ergebnisse der Warf-Grabungen von Tofting und Elisenhof in Eiderstedt

Um den beschriebenen Schwierigkeiten, die keine exakten Schlüsse zulassen, aus dem Wege zu gehen, wurden nach dem Kriege Untersuchungen auf den Resten der Gebiete des alten Marschlandes durchgeführt, die ehemals in Ufernähe lagen, sowohl hoch aufgeschlickt waren als auch eine gute natürliche Entwässerung besaßen und aus beiden Gründen unvermoort geblieben waren. Im nordfriesischen Raum finden sich diese Vorbedingungen im Südtel der Halbinsel Eiderstedt. Neben zahlreichen kleineren Untersuchungen wurden zwei größere Grabungen auf Tofting und auf Elisenhof durchgeführt.

Die Warf Tofting, im Eidermündungsgebiet, etwa 3 km nördlich von Tönning gelegen, hat eine Flächenausdehnung von etwa 5 ha und erhebt sich in ihren höchsten Teilen bis auf +5 m NN. Die Untersuchungen ergaben, daß die Siedlung etwa um 100 n. Chr. G. auf der flachen Marsch angelegt und als solche in den untersuchten Teilen bis zum Ende des 5. Jahrhunderts fast bis zur heutigen Höhe „hochgewohnt“ worden war.

Die Ausgrabungsarbeiten gaben nicht nur ein deutliches Bild von der Lebensart der Bewohner (Abb. 11), sondern infolge der ausgezeichneten Erhaltungsbedingungen für organische Substanzen — insbesondere für Pflanzenreste — auch einen Einblick in die Landschaftsverhältnisse des Marschlandes der Umgebung der Siedlung während der ersten Hälfte des 1. Jahrtausends n. Chr. G., Ergebnisse, die für unsere Betrachtungen zwar wichtig sind, aber hier nicht im einzelnen beschrieben werden sollen (ich darf auf das Gesamtwerk verweisen, BANTELMANN 1955).

Besonders wesentlich für die uns speziell interessierenden Fragen der Niveauveränderungen ist die Struktur und Höhenlage des alten Marschlandes unter der Warf (Abb. 12), dessen Entstehungszeit, durch die über ihm liegenden Siedlungsschichten feststellbar, vor 100 n. Chr. G. liegen muß, also ein Mindestalter von knapp 2000 Jahren besitzt.

Die alte Marschoberfläche liegt mit +1,45 m NN noch etwas höher als das MThw von Tönning während der Zeit der Eiderabdämmung 1936 (+1,33 m NN), aber wesentlich höher als das Kulturland in den oben genannten Bereichen des nordfriesischen Wattenmeres, deren älteste Besiedlungsspuren dazu noch etwa 1000 Jahre jünger sind.

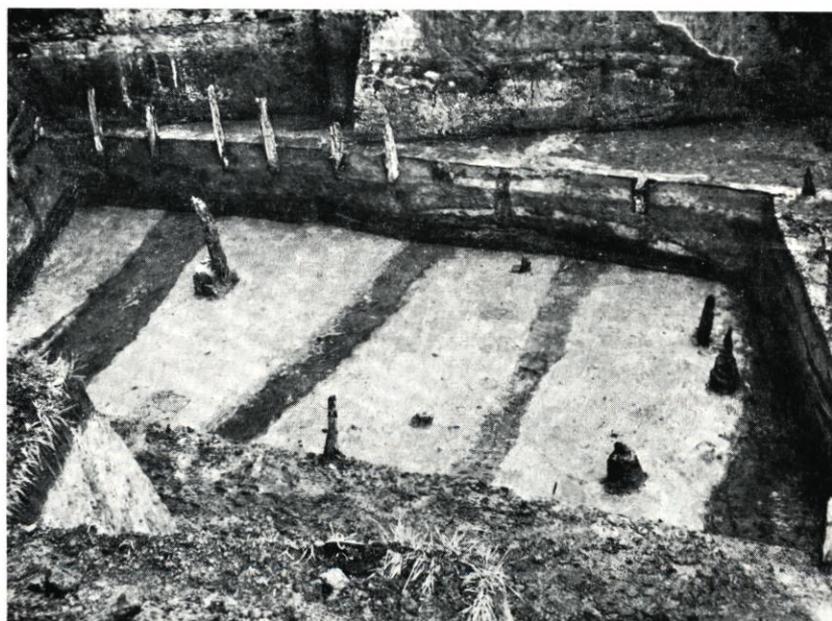
Das gewaschene Profil (Abb. 13) zeigt deutlich den Aufbau des alten Marschlandes unter der Warf und gibt — durch Vergleich mit Vorgängen der Gegenwart — einen Einblick in die Entstehungsgeschichte: Bis in eine Tiefe von etwa 0,30 m unter der Warfbasis ist

¹⁾ Angaben über das Ausmaß von Setzungen macht BENNEMA (1954, S. 11 f.). Bei anstehenden Torfschichten soll die Mächtigkeit maximal 85 bis 90 %, d. h. bis auf $\frac{1}{7}$ bis $\frac{1}{10}$ der ursprünglichen Dicke abnehmen. Ablagerungen mit einem hohen Gehalt an Lutum (Mineralbestandteile mit Korngrößen $< 2 \mu$) unterliegen gleichfalls starken Setzungen. So sollen Kleiböden mit einem Lutumgehalt von 30 bis 35 % im IJsselmeer nach ihrer Entwässerung in hundert Jahren auf ungefähr die Hälfte der ursprünglichen Mächtigkeit zusammengesunken sein. In den westlichen Niederlanden sollen Horizonte vorkommen, die heute infolge Setzungen des Untergrundes etwa 3 bis 4 m tiefer liegen als zur Zeit ihrer Entstehung.



Aufn. DITTMANN, 1950

Abb. 11. Überrest eines Weidebauernhauses aus dem 3. Jahrhundert nach Chr.
in der Warf Tofting, Eiderstedt



Aufn. DITTMANN, 1950

Abb. 12. Alte Marschoberfläche, durch Gräben beetartig unterteilt,
unter dem Hausplatz der Abbildung 11

im gewachsenen Boden keine Sedimentationsschichtung festzustellen. Wie auf dem Bilde an der narbigen Oberfläche erkennbar, weist der Klei hier eine Krümelstruktur auf, in deren Bereich die sicher einst vorhandene Schichtung zerstört wurde. Von etwa 0,30 m Tiefe ab werden die ersten Bänderungen sichtbar, jedoch nicht durchgehend, da an vielen Stellen die Krümelstruktur in tiefere Lagen übergreift. Erst von 0,60 m Tiefe an ist die horizontale Schichtung vorherrschend. Typisch ist eine sehr feine, unregelmäßige Verzahnung der einzelnen Sedimentanlagen. Bis in eine Tiefe von 1,20 m sind die beschriebenen Ablagerungen stark durchwurzelt.



Abb. 13.
Gewaschenes Profil der alten Marsch
unter der Toftinger Warf.
Das obere Ende des Zollstockes liegt
in Höhe der alten Marschoberfläche
an der Warfbasis. Im unteren Teil
des Bildes sind Anwachsschichtungen
erkennbar
Aufn. DITTMANN, 1958

Von dieser Schichtlage an nimmt die Durchwurzlung nach unten ab, außerdem zeigen die einzelnen Lagen nunmehr eine scharfe gegenseitige Begrenzung, so daß das Schichtpaket jetzt eine ausgeprägte schiefrige Struktur aufweist.

Die Art der Schichtenfolge verrät uns, daß hier vor mindestens 2000 Jahren ein Wattgebiet, von dem die „schiefrigen“ Ablagerungen stammen, allmählich zu grünem Land aufwuchs, dessen Oberfläche sich über das normale Hochwasser erhob und durch Sturmflutsedimentation auf genau die gleiche Art anwuchs, wie wir es heute noch im unbedeckten Marschland beobachten können. Die Schichtzerstörung im obersten Bereich der Ablagerungen zeigt jedoch, daß von einem bestimmten Zeitpunkt vor der Besiedlung an die Sedimentation schwächer wurde, so daß die Bodenbildung unter dem Einfluß klimatischer und biologischer Kräfte überwog.

Vergleicht man die Höhenlage unseres Schichtpaketes mit der von rezenten Ablagerungen gleicher Art, so ergibt sich folgendes: Der Anwachs der beschriebenen Struktur wächst im allgemeinen nicht über 0,60 m über das MThw empor. Nur in unmittelbarer Ufernähe können größere Werte erreicht werden (vgl. unser Beispiel Buphever, S. 56), dann ist jedoch der Anteil

grobkörniger Sedimente am Aufbau im allgemeinen wesentlich höher. Im Falle Tofting überwog jedoch feinkörniges, toniges Sediment, so daß die Überflutungsschichtung nur durch gründliches Auswaschen sichtbar gemacht werden konnte. Eine ursprüngliche Lage von 0,60 m über dem MThw der Entstehungszeit dürfte daher als Maximum angenommen werden können. Die Setzung, die als nächster Faktor zu berücksichtigen ist, wird bei dem feinkörnigen Sediment während der Entstehungszeit eine größere Rolle gespielt haben. Jedoch, ein langsames Wachstum vorausgesetzt, wird sie nach Abschluß der Sedimentation weniger in Erscheinung getreten sein. Das Einsetzen eines Betrages von 0,30 m für die Setzung einschließlich der Verdrückung durch das Gewicht des darüberliegenden Warfkörpers dürfte nicht zu hoch gegriffen sein (BEN-NEMA 1954, S. 11 ff.). Die Höhe des MThw bei Tönning lag vor der Eiderabdämmung (1936) auf + 1,33 m NN. Die Höhe des MThw während der Bildung der Toftinger Marsch ist uns unbekannt. Unter Berücksichtigung einer Setzung von 0,30 m und bei einem Meeresspiegel von

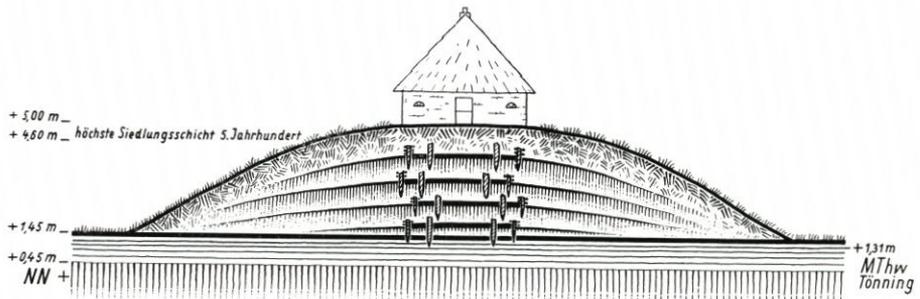


Abb. 14. Schematischer Schnitt durch eine alte Warf vom Typ Tofting.

Die erste Besiedlung erfolgte um 100 nach Chr. G. auf flacher unbedeckter Marsch. Siedlungsreste des 5. Jahrhunderts liegen bereits auf + 4,60 m NN, eben unter der heutigen Warfoberfläche (+ 5,00 m NN). Die Oberfläche der mindestens 1900 Jahre alten unvermoorten Marsch unter der Warfbasis liegt mit + 1,45 m NN etwas höher als die unbedeckten Marschoberflächen der Umgebung. Eine stärkere Überflutungssedimentation kann im genannten Zeitraum demnach hier im Gegensatz zu den viel jüngeren Halligwarfen nicht stattgefunden haben

+ 1,30 m NN würde die Oberfläche der 2000 Jahre alten Toftinger Marsch demnach etwa 0,45 m über dem heutigen MThw gelegen haben, ein Betrag, der nicht wesentlich von der Höhenlage des heutigen Anwachs abweicht. Wenn man somit von der heutigen Höhenlage der alten Marschoberfläche unter der Warf Tofting auf den mittleren Wasserstand zur Zeit ihrer Entstehung schließt, so folgt daraus, daß dieser sich nicht wesentlich von den mittleren Wasserständen der Gegenwart unterscheiden haben kann.

Ähnliche Ergebnisse wurden bei Untersuchungen einer etwa 2000 Jahre alten eisenzeitlichen Siedlung in der Gemeinde Wennemannswisch in Norderdithmarschen erzielt. Hier lag die alte Marschoberfläche unter den Siedlungsschichten zwischen + 1,83 m bis + 1,89 m NN. Jedoch muß bemerkt werden, daß der Anteil schluffiger und feinsandiger Sedimente am Aufbau des Untergrundes erheblich stärker war als in Tofting, so daß die Setzung wahrscheinlich noch geringer gewesen sein wird, und zum anderen, wie aus der Schichtstruktur ersichtlich, die Möglichkeit besteht, daß das Land zur Entstehungszeit mehr als 0,60 m über das damalige MThw aufwuchs. Immerhin konnte auch hier festgestellt werden, daß der Unterschied zur Höhenlage heute entstehender Vorlandflächen bemerkenswert gering ist.

Bei Vergleichsmessungen stellte es sich heraus, daß die Oberfläche der alten Marsch unter den Warfen stets höher lag als die heutigen Marschoberflächen ihrer Umgebung. Man kann einmal daraus schließen, daß die Siedlungen an den höchsten Stellen angelegt wurden, zum

ändern aber, daß in der Umgebung der untersuchten Plätze, die heute nicht in der Uferregion liegen, in den letzten 2000 Jahren keine Sedimentation in nennenswertem Umfang stattgefunden haben kann. Bei den alten Warften Dithmarschens, die im Mittelalter in unmittelbarer Ufernähe lagen (z. B. Süderbusenwurth), konnte außerhalb des Warffußes allerdings eine jüngere Sedimentation festgestellt werden.

Auf dem Profil Abb. 14 ist erkennbar, daß die Siedlungshorizonte Toftings zwischen dem 2. und 5. Jahrhundert n. Chr. G. stark erhöht wurden. Im genannten Zeitraum scheint jedoch, wie aus den Ergebnissen der Samen- und Diatomeenuntersuchungen hervorgeht, der Salzwassereinfluß im Gebiet von Tofing gering gewesen zu sein. Hieraus und aus anderen Unter-

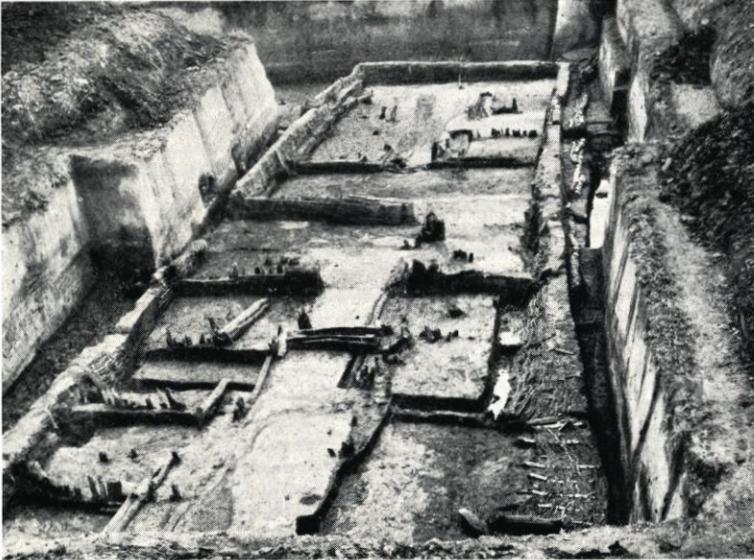


Abb. 15.
Die freigelegten Reste
eines Weidebauernhauses
aus dem 9. Jahrhundert
nach Chr. G.
Elisenhof bei Tönning
Aufn. BANTELMANN, 1958

suchungsergebnissen wurde der Schluß gezogen, daß aus der Höhenlage frühgeschichtlicher Marschensiedlungen nicht in jedem Falle Überflutungshöhen abgeleitet werden dürfen.

Nachdem durch die genannten Grabungen und Wattuntersuchungen die Verhältnisse auf spätmittelalterlichen und frühneuzeitlichen Siedlungsflächen sowie auf solchen der römischen Kaiserzeit erkundet waren, wurde in den Jahren 1957—1958 zur Vervollständigung des Bildes eine weitere größere Untersuchung im Eidermündungsraum vorgenommen, welche in die dazwischenliegende Zeit führte, d. h. in die letzten Jahrhunderte des 1. Jahrtausends n. Chr. G.. In Eidernähe, etwas unterhalb von Tönning, wurde eine mehrere Hektar große, heute namenlose Warf ausgegraben, die nach dem daraufliegenden Besitz Elisenhof benannt wurde. Die Grabungsarbeiten ergaben, daß die Siedlung, genau wie die mehrere Jahrhunderte ältere von Tofting, auf einer unvermoorten Marsch angelegt und langsam in die Höhe gewachsen war. Auch hier fanden sich im Warffinnern ausgezeichnete Erhaltungsbedingungen für organische Substanzen (Abb. 15 und 17). Es handelte sich um eine Neubesiedlung des Landes durch Weidebauern, welche aber neben der Viehzucht — genauso wie ihre Vorgänger in der römischen Kaiserzeit — auch Ackerbau betrieben²⁾.

²⁾ Untersuchungen der im Dung reichlich vorhandenen Pflanzenreste als Vergleich mit den älteren auf Tofting gefundenen und der damit verbundenen Möglichkeit einer Aufdeckung von etwaigen Veränderungen in der Zusammensetzung der Pflanzenwelt und ihrer mutmaßlichen Ursachen stehen noch aus.

Sehr gut konnten an den verschiedenen Stellen der Warfbasis die oberflächennahen Schichten des alten Marschlandes studiert werden, welche — datiert durch die darüberliegende Siedlung aus der Zeit um 800 n. Chr. G. — immerhin ein Alter von über 1000 Jahren besitzen. Die Höhenlage dieser alten Oberfläche schwankt zwischen 1,75 m und 2,10 m. An den höchsten Stellen war der Bestandteil feinsandigen Materials am größten. Ebenso wie bei den übrigen beschriebenen Profilen war hier eine deutliche Überflutungssedimentation zu erkennen. Auch über den Zustand der Oberfläche vor ihrer Bedeckung mit Siedlungsschichten konnten eingehende Beobachtungen gemacht werden. Während an vielen gut geschützten Stellen eine bräunliche Verfärbung (Abb. 16) auf das ehemalige Vorhandensein einer Grasnarbe hinwies, waren auf einzelnen Flächen ganz offensichtlich Grassoden gestochen und dadurch die Pflanzendecke zerstört worden. Hier war, wie man sowohl im Profil als auch in der Plan-

Abb. 16.
Bodenprofil von der
alten Marschoberfläche
unter der Warf von
Elisenhof.
Die Anwachsschichtung
ist wegen des großen
Anteiles schluffiger
Sedimente gut ausgeprägt. Die Höhenlage
der im 8. Jahrhundert
n. Chr. durch Siedlungsschichten bedeckten
Oberfläche beträgt
+ 2,10 m NN
a) Anwachsschichtung
b) alte Marschoberfläche
c) Erdaushub des
Brunnens (Abb. 17)
Aufn. DITTMANN, 1950



abdeckung (Abb. 18) feststellen konnte, der durchweichte Klei durch das Vieh oberflächlich stark durchtreten.

Beschränken wir uns im Rahmen unserer Betrachtungen auf die Auswertung der Oberflächenhöhen der Marschflächen unter der Warf, welche durch die über ihnen liegenden Siedlungsreste datiert sind, so können wir feststellen, daß der gemessene Höchstwert von + 2,10 m NN etwa 0,80 m über dem MThw Tönning aus der Zeit vor der Eiderabdämmung liegt. Die Setzung wird bei dem hohen Anteil der schluffigen Sedimente am Schichtaufbau nicht sehr stark gewesen sein. Schließen wir von der genannten Höhenlage auf die Wasserstände zur Entstehungszeit, so können wir wiederum feststellen, genauso wie in den Fällen Tofting und Wennemannswisch (BANTELMANN 1951), daß diese sich nicht erheblich von den heutigen unterschieden haben können. Allerdings muß erwähnt werden, daß die Oberflächenhöhen an der Siedlungsbasis von Elisenhof stark schwankten, am höchsten lagen sie im Südteil der Grabung, in der Nähe des heutigen und wahrscheinlich auch des damaligen Eiderufers. Nach Norden zu fällt die alte Oberfläche auch außerhalb des Warfbereiches nach dem uferferneren Bereich hin stark ab. Genau 2 km nördlich von Elisenhof, unter der Warf Schrapenbüll, liegt die alte Oberfläche nur noch etwa + 1,05 m NN, einer Höhenlage, die teilweise auf den mehr tonigen Charakter der Sedimente und der damit zwangsläufig verbundenen größeren Setzung zurückzuführen ist.

IV. Zusammenfassung

Eine Rückschau über die hier vorgebrachten Ergebnisse marschen-archäologischer Untersuchungen zeigt, daß sich im Bereich des nordfriesischen Wattenmeeres während des Mittelalters und der Neuzeit umwälzende Veränderungen im Landschaftsbild vollzogen haben. Große

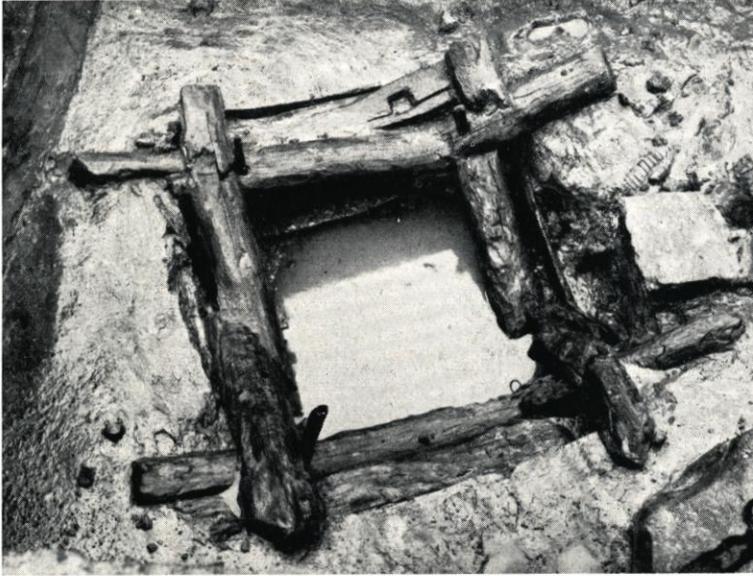


Abb. 17.
Brunnenrest aus dem
8. Jahrhundert n.
Chr. G. auf der Basis
der Warf von Elisenhof.
Sein Erdaushub
bedeckte schützend die
guterhaltene Marsch-
oberfläche der Abb. 16
Aufn. BANTEMANN, 1958



Abb. 18.
Abdrücke von
Rinderklauen auf stark
durchtretener
Marschoberfläche
des 8. Jahrhunderts
n. Chr. G.
Aufn. DITTMANN, 1957

Flächen fruchtbar Kulturlandes wurden zu Meeresboden. Die Vorgänge konnten mit Hilfe der Kulturspuren näher beleuchtet werden. Der Mensch hat als landschaftsgestaltender Faktor vielerorts (Alt-Nordstrand, Langeneß) eine wichtige Rolle gespielt. Aber auch dort, wo durch menschliche Tätigkeit kein wesentlicher Schichtschwund verursacht wurde, konnten extrem

niedrige Höhenlagen des mittelalterlichen Kulturlandes festgestellt werden (Habel, vgl. S. 52). Der Aufbau des Untergrundes läßt eine stärkere Setzung vermuten, genaue Zahlen hierfür können jedoch nicht angegeben werden (vgl. Anm. 1).

Bessere Unterlagen gaben uns erst die nach dem zweiten Weltkrieg vorgenommenen Untersuchungen älterer Siedlungsreste im ufernahen Randbezirk des ehemaligen nordfriesischen Sietlandes im Südteil von Eiderstedt. Hier, auf unvermoortem, ihrem Aufbau nach wenig zur Setzung neigender Marsch, zeigte es sich, daß dieser Raum nicht nur kein „Sondersenkungsgebiet“ darstellt, sondern daß hier ganz im Gegenteil während der letzten 2000 Jahre keine gleichsinnig verlaufenden Niveauveränderungen von nennenswertem Umfang stattgefunden haben können. Meeresspiegelschwankungen kleineren Ausmaßes können erfolgt sein. Das Auftreten der größten Marschhöhen in Ufernähe und das stärkere Absinken der alten Oberfläche von hier in die uferferneren Bezirke zeigen an, daß wir es tatsächlich mit Unterschieden in den Sedimentationen und mit Setzungserscheinungen zu tun haben.

Wir hoffen, in der Gegenüberstellung der mittelalterlichen Kulturspuren des nordfriesischen Wattgebietes und der älteren aus dem Raume der Eidermündung das Ausmaß der Fehlermöglichkeiten aufgezeigt zu haben, die sich bei voreiligen Schlußfolgerungen aus Untersuchungen in einem räumlich allzu kleinen Bezirk ergeben können. Trotzdem erscheint es uns methodisch wichtig, zunächst jede für eine Untersuchung geeignete Stelle unter Berücksichtigung ihrer örtlichen Eigenarten gesondert zu bearbeiten. Wenn eine möglichst große Anzahl derartiger Untersuchungen vorliegt, können durch einen Vergleich mit den Forschungsergebnissen in benachbarten sowie ferner liegenden Räumen Übereinstimmungen bzw. Unterschiede festgestellt werden. Nur auf diesem Wege ist die Möglichkeit zu gewinnen, großräumig wirkende Faktoren wie Isostasie und Eustasie von den Faktoren zu sondern, die örtlich in völlig unterschiedlicher Stärke auf die Gestaltung des Landschaftsbildes gewirkt haben.

Für die hier vorgebrachten Untersuchungsergebnisse sei deshalb gesagt: Sie gelten zunächst nur für den Raum, in dem sie erzielt wurden. In welchem Maße ihnen regionale Bedeutung beizumessen ist, kann erst einwandfrei herausgestellt werden, wenn aus den benachbarten Räumen — insbesondere auch aus Süderdithmarschen — eine Anzahl von ähnlichen Untersuchungen vorliegt.

V. Schriftenverzeichnis

- ANDRESEN, L.: Kulturspuren im Watt bei der Hallig Langeneß-Nordmarsch. Führer Heimatbücher 22, 1937.
- BANTEMANN, A.: Das nordfriesische Wattenmeer, eine Kulturlandschaft der Vergangenheit. Westküste II, 1, 1939.
- BANTEMANN, A.: Die Entwicklung der Kulturlandschaft in den Marschgebieten Schleswig-Holsteins. Festschrift Gustav Schwantes 1951.
- BANTEMANN, A.: Tofing, eine vorgeschichtliche Warft an der Eidermündung. Offa-Bücher 12, Neumünster 1955.
- BENNEMA, J.: Bodem- en Zeespiegelbewegingen in het Nederlandse kustgebied. Boor en Spade VII, 1954.
- BUSCH, A.: Neue Beiträge zur Frage der Bodensenkung in Nordfriesland. Jahrb. Nordfries. Ver. 14, 1927.
- DITTMER, E.: Die Küstensenkung an der schleswig-holsteinischen Westküste. Forschungen u. Fortschritte 17/18, 1948.
- DITTMER, E.: Die nachsaiszeitliche Entwicklung der schleswig-holsteinischen Westküste. Meyniana I, 1952.
- DITTMER, E.: Zur Geologie und Bedeichungsgeschichte der Finkhaushallig. Die Küste II, 1, 1953.
- DITTMER, E.: Der Mensch als geologischer Faktor an der Nordseeküste. Eiszeitalter u. Gegenwart 4/5, 1954.
- HAARNAGEL, W.: Die frühgeschichtlichen Siedlungen in der schleswig-holsteinischen Elb- und Störmarsch, insbesondere die Siedlung Hodorf. Offa 2, 1937.
- HÄBERLIN, C.: Die nordfriesischen Salzsieder. Führer Heimatbücher 18, 1934.
- HECK, H. L.: Tektonische Senkungen Nordfrieslands und dennoch Landgewinnung? Zeitschr. Dtsch. Geolog. Ges., Berlin 1936.
- HEINREICH, A. W.: Nordfriesische Chronik. Tondern 1819.
- LORENZEN, J. M.: Planung und Forschung im Gebiet der schleswig-holsteinischen Westküste. Westküste I, 1, 1938.
- PETERSEN, M.: Der Bupheverkoog auf der nordfriesischen Insel Pellworm. Wasser u. Boden 9, 1954.
- SCHOTT, C.: Die Westküste Schleswig-Holsteins. Probleme der Küstensenkung. Schr. Geogr. Inst. Univ. Kiel 13, Nr. 4, 1950.
- SCHÜTTE, H.: Tagebuchblätter der nordfriesischen Marsch. Jahrb. Nordfries. Ver. 14, 1927.
- SCHÜTTE, H.: Die Wurten als Urkunden der Küstengeschichte I-II. Natur u. Museum 6 u. 7, 1933.
- WEGNER, Th.: Vorläufige Mitteilung über Studien im nordfriesischen Wattgebiet. Centralbl. Mineralogie Bd. 5, 1931a.
- WEGNER, Th.: Zur Frage der Senkung des nordfriesischen Landes. Husumer Nachrichten 30. 11. 1931b.
- WOHLENBERG, E.: Ruinen im Wattenmeer. Natur u. Museum 1, 1932.
- WOHLENBERG, E.: Das Andelpolster und die Entstehung einer charakteristischen Abrasionsform im Wattenmeer. Wiss. Meeresunters. Helgoland XIX, 4, 1933.
- WOHLENBERG, E.: Das Watt schreibt unsere Geschichte. Ostfriesland 3, 1955.

Welche Erkenntnisse zur Frage der vermuteten neuzeitlichen Nordseeküstensenkung hat die Wiederholung des Deutschen Nordseeküsten-Nivellements gebracht?*)

Von Walther Gronwald

Inhalt

1. Einleitung	66
2. Erstes Nordseeküsten-Nivellement, NKN I	66
3. Zweites Nordseeküsten-Nivellement, NKN II	70
4. Ergebnisse der Nordseeküsten-Nivellements	74
5. Vergleich der Ergebnisse mit denen früherer Messungen	78
6. Weitere Betrachtungen zu den Ergebnissen	79
7. Ausblick	81
8. Schriftenverzeichnis	81

1. Einleitung

Die Frage der neuzeitlichen Erdkrustenbewegung an der deutschen Nordseeküste hat vor mehr als vier Jahrzehnten, zur Zeit SCHÜTTES und KRÜGERS, die Gemüter heftiger als heute bewegt (9) bis (11); sie taucht aber immer wieder auf, besonders wenn das Meer unsere Küsten ungewöhnlich stark angreift, und hat Geologen, Archäologen und Gewässerkundler sowie andere berufene Wissenschaftler und Praktiker bis in die neueste Zeit zu weiterer intensiver Erforschung des Problems veranlaßt. Diese Untersuchungen haben in der Zeit von 1935 bis 1959 zu Ergebnissen geführt, die zu einer wesentlichen Revision der früheren Auffassung zwingen. Es sei auf die Nummern (3) bis (7) des Schriftenverzeichnisses verwiesen.

Auch die Geodäten als die Fachleute, die seit alters her durch möglichst exakte Messungen die Erdgestalt, die Vielgestaltigkeit ihrer Oberfläche und die Bewegungen der Erdkruste zahlenmäßig zu erforschen suchen, sind hierzu herangezogen worden bzw. haben aus eigener Initiative mitgewirkt. Verfasser erinnert an den Aufsatz des Geologen Professor Dr. WILHELM WOLFF (1929), (11), in dem dieser zum Schluß sagt:

„Die geplanten Feinmessungszüge müssen uns also in ihrer Erstauführung und späteren Wiederholung eine großzügige Erkundung der lebenden Tektonik von Nordwestdeutschland bringen, die nur der Anfang zu einer systematischen Erforschung ganz Deutschlands in dieser Richtung sein sollte.“

Zunächst darf die Erstauführung des deutschen Nordseeküsten-Nivellements in Erinnerung gebracht werden.

2. Erstes Nordseeküsten-Nivellement

Abbildung 1, auf der auch die geologischen Verhältnisse angedeutet sind, gibt das Grundnetz des ersten Nordseeküsten-Nivellements wieder, das in den Jahren 1928 bis 1931 vom damaligen Reichsamt für Landesaufnahme gemessen worden ist. Das Nivellements-

*) Vortrag, gehalten auf der 3. Arbeitstagung des Küstenausschusses Nord- und Ostsee am 15. Oktober 1959 in Bremen.

Erstes Nordseeküstennivellement
Grundnetz 1928-1931

Reichsamt für Landesaufnahme

Erläuterungen

- UF
- ▲ UF-Gruppe (3 UF)
- Landes-Nivellements-punkt (5 UF)
- a Alluvium
- d Diluvium
- b Tertiär
- s Buntsandstein
- k Keuper

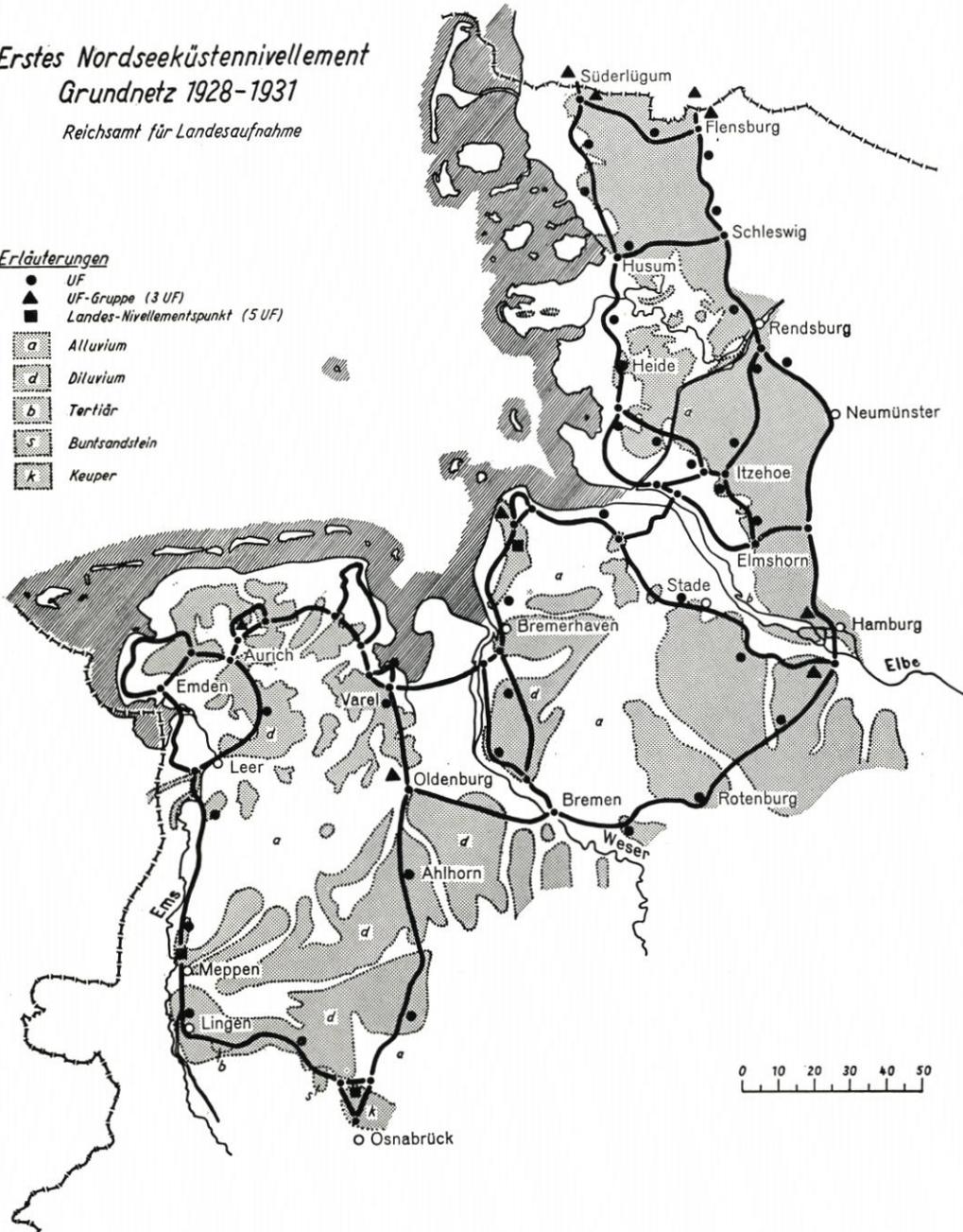


Abb. 1. Erstes Nordseeküsten-Nivellement, Grundnetz (mit geologischer Übersicht, Maßstab in km)

netz nimmt seinen Ausgang in dem Nest der fünf Unterirdischen Festlegungen (UF) bei Wallenhorst nördlich Osnabrück. Die Lage dieser Festlegungen ist von den Geologen an einer besonders zuverlässigen Stelle außerhalb der vermuteten Senkungsfelder in trockenem, diluvialen Sandboden ausgesucht worden. Die fünf Festlegungen verteilen sich über eine Fläche von 70 × 230 m.

Die Nachmessung der fünf Punkte bei Wallenhorst und ihr Vergleich mit vielen, als sicher geltenden Nivellementsunkten in der näheren und weiteren Umgebung, auch südöstlich und südwestlich des Festpunktnestes, zum Teil über 10 km hinaus, haben ihre Standsicherheit ergeben. Die fünf Punkte unter sich zeigten im Jahre 1955 nur Höhenabweichungen von 0,1 bis 0,3 mm gegenüber der Messung aus dem Jahre 1928.

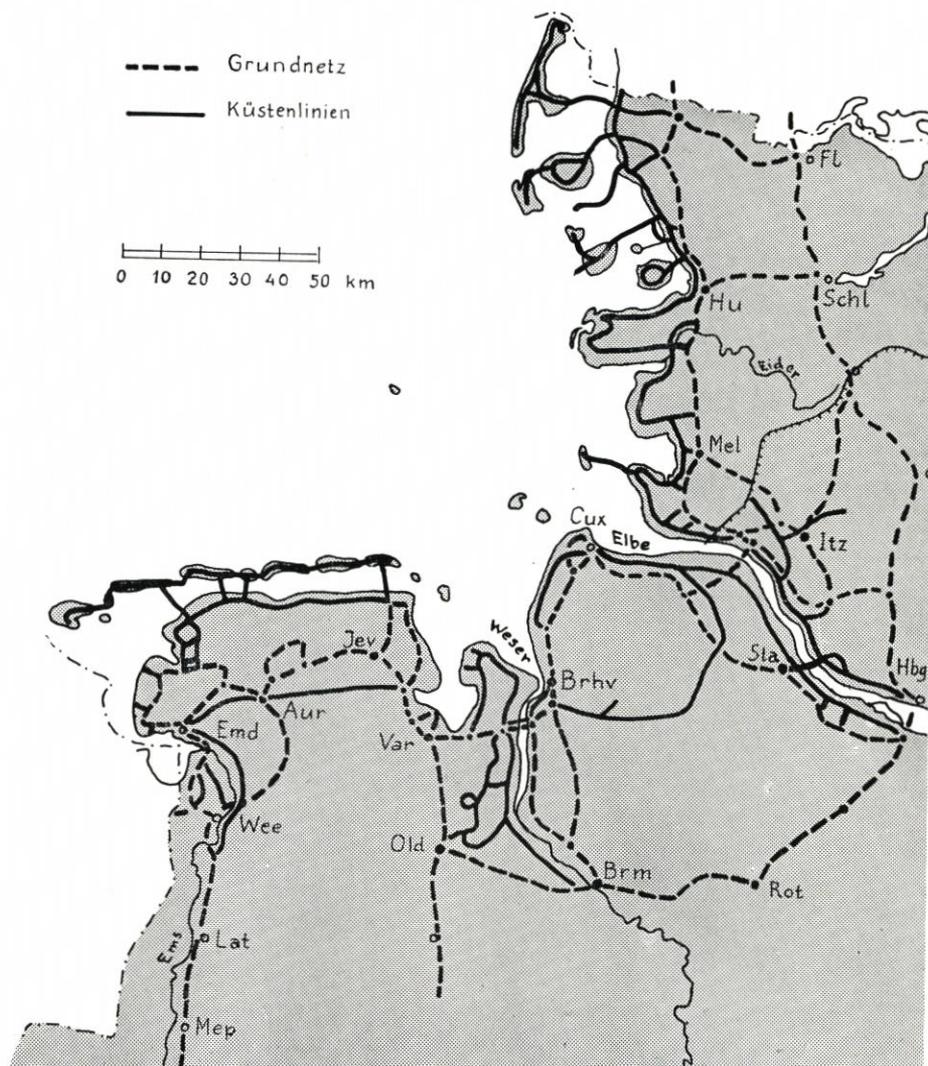


Abb. 2. Erstes Nordseeküsten-Nivellement, Küstenlinien

Das Grundnetz hat eine Linienlänge von 1900 km und enthält an 47 von Geodäten und Geologen gemeinsam erkundeten Stellen weitere Unterirdische Festlegungen zu einem bis fünf Punkten, die das Gerippe des ganzen Nivellementsnetzes bilden. Alle diese Unterirdischen Festlegungen haben bis auf zwei, von denen eine nicht wieder aufgefunden wurde und die andere durch Abbau einer daneben liegenden Kiesgrube eine Sackung von etwa 22 mm zeigt, ihren Zweck bisher erfüllt, wie wir noch sehen werden.

Legt man nun den mittleren Fehler aus der Ausgleichung dieses Nordseeküsten-Nivellements I (NKN I) zugrunde, so kann man von Wallenhorst aus für die Höhenwerte der Nivellementsunkte an der Elbe mit einer mittleren Unsicherheit von etwa ± 4 mm, an der dänischen Grenze mit einer solchen von etwa ± 6 mm rechnen, was wohlgemerkt aber nicht ausschließt, daß nach der Fehlerwahrscheinlichkeit dort auch Maximalfehler von 12 mm bzw. 18 mm im Bereich des Möglichen liegen. Das ist gerade im Hinblick auf die beim Feinnivellement bisher nicht ganz vermeidbaren systematischen Fehler zu betonen.

Abbildung 2 zeigt den Verlauf der an das Grundnetz des NKN I angeschlossenen Küstenlinien, die von der Landesanstalt für Gewässerkunde und Hauptnivellements in den Jahren 1928 bis 1932 mit Ergänzungen bis 1937 gemessen worden sind.

Auf technische Einzelheiten und Schwierigkeiten bei allen diesen Messungen, wie die Stromübergänge über Weser und Elbe sowie den Anschluß der Inseln, soll hier nicht näher eingegangen werden.

Das gesamte erste Nordseeküsten-Nivellement wurde auch für die Verbesserung bzw. Berichtigung des Gebrauchsnetzes in dem nordwestdeutschen Gebiet, also auch, was hier wohl besonders interessiert, für die Festlegung der Höhen von etwa 140 Küstenpegeln zu NN — 5,00 m, ausgewertet. Um von Oberflächenbewegungen unabhängig zu sein, waren an der Mehrzahl der Pegelstellen Rohrfestpunkte — Rohrpunkte — gesetzt worden.

Veröffentlicht ist das Nordseeküsten-Nivellement des Reichsamts für Landesaufnahme in dem Buch „Die Feineinwägungen zur Beobachtung säkularer Bodenbewegungen im Gebiet der deutschen Nordseeküste — Nordseeküsten-Nivellement 1928—1931“ im Jahre 1932, und zwar für wissenschaftliche Zwecke. Um Verwechslungen mit dem Gebrauchsnetz zu vermeiden, haben alle Höhenzahlen dieses NKN I die Kennziffer 1000 erhalten.

Die Küstennivellements 1928 bis 1937 der Landesanstalt für Gewässerkunde und Hauptnivellements sind ebenfalls für wissenschaftliche Zwecke zusammengestellt worden. Auch diese Höhen sind von den Gebrauchshöhen durch die Kennziffer 1000 unterschieden; sie wurden nicht veröffentlicht.

Beide Zusammenstellungen geben die Möglichkeit, bei mehr als 5000 Nivellementsunkten, darunter die schon erwähnten 47 Unterirdischen Festlegungen und ferner rund 250 Rohrpunkte Hamburger und Oldenburger Bauart, festzustellen, welche Höhenänderungen in der Zeit zwischen dem ersten Nordseeküsten-Nivellement und seiner Wiederholung eingetreten sind. Hierbei muß es nicht so sehr auf die Masse der Punkte, sondern vielmehr auf die Standsicherheit der Vergleichspunkte ankommen, wenn man auf tektonische Bewegungen schließen will.

Zur Standsicherheit von Nivellementsunkten erscheinen hier einige Bemerkungen angebracht: Sackungen von Nivellementsunkten, wie überhaupt von weniger tief gegründeten Bauwerken, auf geschütteten Dämmen und infolge Auslaugungen und chemischen Vorgängen in tieferen Schichten, auch infolge Verlust der abschwemmbareren Teilchen in den Marschböden, sind bekannt.

Über die Zusammenhänge zwischen Grundwasser und Feinnivellement hat BERNDT (1) bereits im Jahre 1932 berichtet. Auf der Versuchsstrecke des Reichsamtes für Landesaufnahme bei Freienwalde an der Oder waren damals schon Untersuchungen über Festpunkte verschiedener Einrichtung, auf verschiedenartigem Untergrund und in wechselnden Bodenformen angestellt worden. Die Abhängigkeit der Höhenfestpunkte — auch Bolzen an festen Bauwerken (sogar Kirchen) — in einem zum Schrumpfen und Quellen neigenden Boden vom Grundwasserstand zu verschiedenen Jahreszeiten wurde von BERNDT in Ausmaßen von 3 mm, 5 mm, ja sogar 15 mm zwischen Frühjahr und Herbst nachgewiesen.

Zu den unzuverlässigen Böden gehören: Ton, Lehm, Mergel, torfiger und nasser Sand, Schwemmsand.

Am sichersten lassen sich Höhenfestpunkte auf unverwittertem Gebirge und, was unsere Verhältnisse anbelangt, in trockenem, diluvialen Sand von genügender Mächtigkeit gründen.

Die Unterirdischen Festlegungen (UF) stehen fast ausschließlich in solchem Boden, wie Abbildung 1 zeigt; bei den Rohrfestpunkten, die Längen bis zu 40 m erreichen, hat man angestrebt, sie durch die weniger tragfähigen Schichten bis 1 m tief in den diluvialen Untergrund einzutreiben.

3. Zweites Nordseeküsten-Nivellement

Die Wiederholung des Nordseeküsten-Nivellements war nach etwa 25 Jahren, d.h. also um 1955, in Aussicht genommen.

Der erste Anstoß zur Wiederholungsmessung im Jahre 1949 wurde durch die Wasserwirtschaftsverwaltung Schleswig-Holstein gegeben, welche die Nachprüfung aller Höhenfestlegungen an der Nordseeküste zur Schaffung einwandfreier Anschlußmöglichkeiten für wasserbauliche Arbeiten für notwendig hielt. Mit ihrer Unterstützung begann das Hauptvermessungsamt, jetzt Landesvermessungsamt Schleswig-Holstein, alsbald das Feinnivellement im Norden der Westküste.

Eine allgemeine Besprechung aller an der Wiederholungsmessung interessierten Stellen wurde von der Forschungsanstalt für Gewässerkunde, der jetzigen Bundesanstalt, am 26. August 1949 in Hamburg anberaunt. Die Notwendigkeit einer Wiederholung der geodätischen Messungen wurde von allen Beteiligten anerkannt, ein Plan für die Linienführung vorgelegt und Fragen des zeitlichen Ablaufs, der Beteiligung durch Dienststellen der Länder und des Bundes und die Finanzierung erörtert. Eine damals gebildete Kommission kam bei ihren weiteren Beratungen unter Ablehnung eines früheren, aus den Verhältnissen nach dem Kriege entstandenen Vorschlages, nach dem hauptsächlich längs der Wasserläufe gemessen werden sollte, zu der Auffassung, daß man bei der Wiederholungsmessung möglichst an denselben Nivelle-

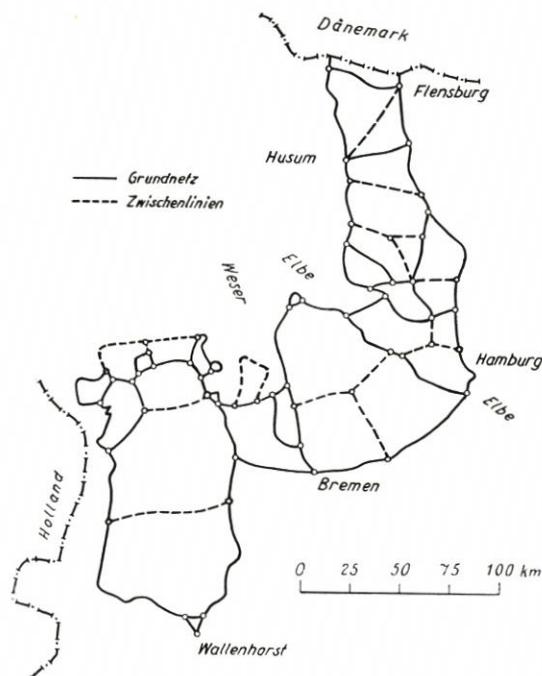


Abb. 3. Zweites Nordseeküsten-Nivellement 1949—1955, Grundnetz und Zwischenlinien

mentswegen und an der Reihenfolge der ersten Messung festhalten sollte, um einwandfreie Vergleichsmöglichkeiten zu schaffen. Natürlich sollten alle Erfahrungen nutzbar gemacht werden, die sich bei dem früheren Unternehmen hinsichtlich Anschluß- und Überschlagsmessungen, Stromübergängen und Berücksichtigung der Refraktionseinflüsse ergeben hatten. Auch sollte versucht werden, das Nivellementsnetz zu verdichten und nach Süden und vor allem nach Südosten bis zu der bereits im Jahre 1932 in dem aus Porphyry bestehenden Urgebirge bei Flechtingen,

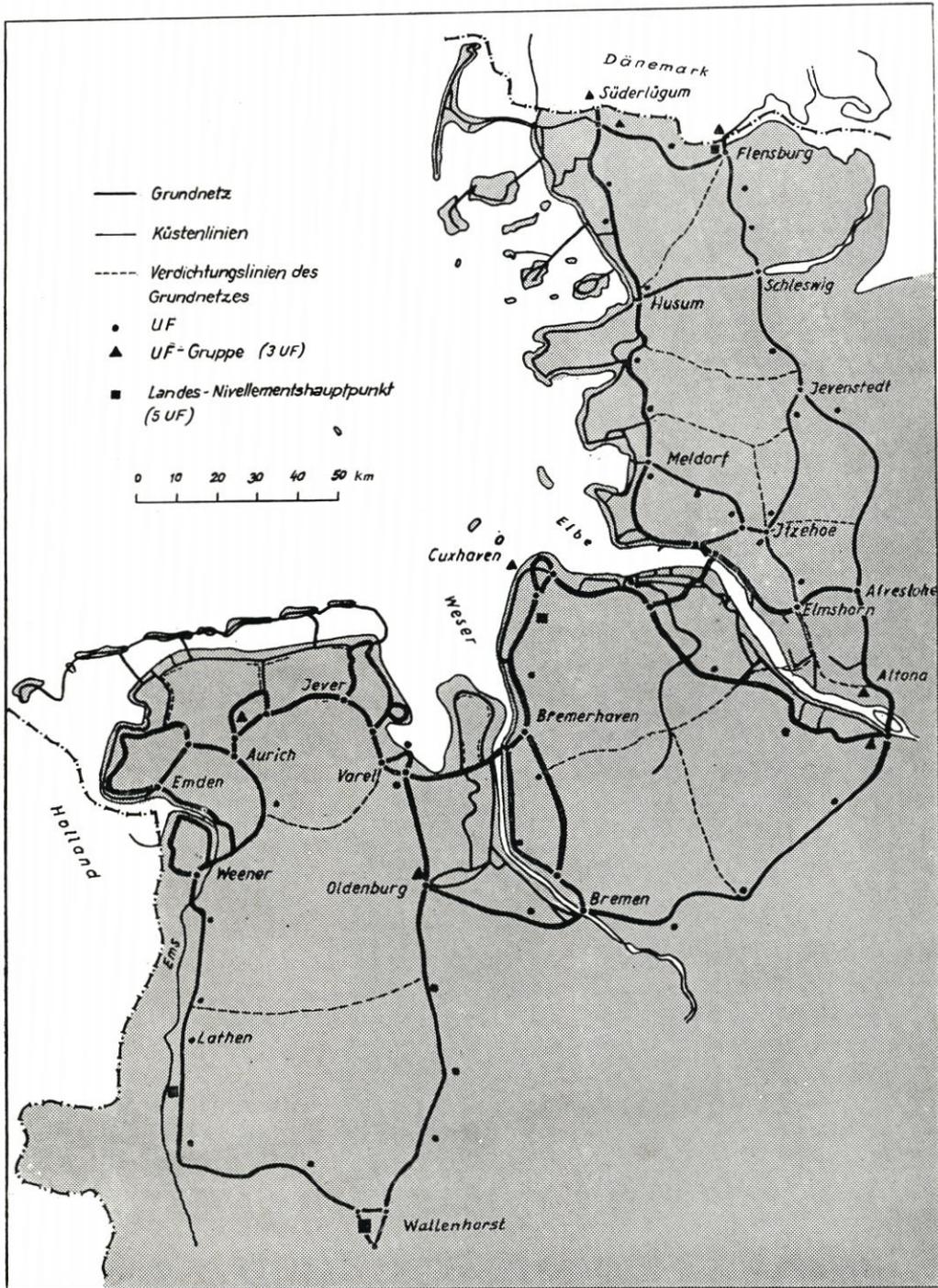


Abb. 4. Zweites Nordseeküsten-Nivellement 1949—59, Grundnetz und Küstenlinien

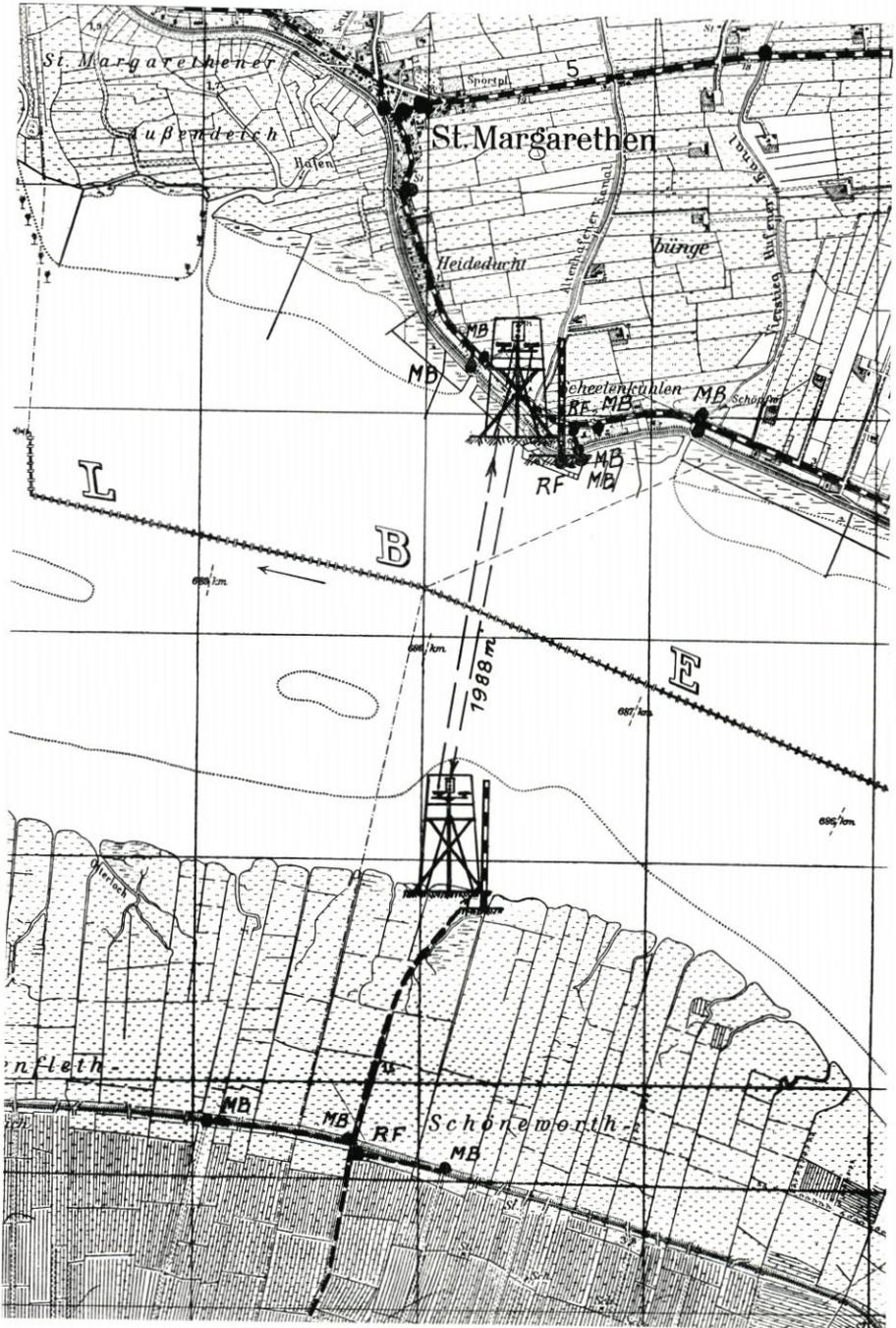


Abb. 5. Nivellitischer Stromübergang (Elbe), Maßstab etwa 1:33 300

etwa 20 km nordöstlich Helmstedt, eingebrachten Gruppe der Unterirdischen Festlegungen auszudehnen, was bei dem ersten Nivellement aus Mangel an Mitteln leider unterblieben war. So sollten gleichzeitig noch bessere Grundlagen für eine weitere Wiederholung geschaffen werden.

Da sich der zeitliche Ablauf der Messungen nicht dem der ersten Ausführung angleichen ließ — Schleswig-Holstein hatte schon mit der Feldarbeit begonnen, während in Niedersachsen die ersten Arbeiten erst 1952 möglich waren —, sollten wenigstens die Messungen von Norden und von Süden ungefähr gleichzeitig die Elbe erreichen und dadurch zeitliche Unterbrechungen bei den Anschlüssen über die Elbe vermieden werden.

Abbildung 3 zeigt das Grundnetz des zweiten Nordseeküsten-Nivellements (NKN II) mit den Verdichtungslinien, die zunächst für den Vergleich NKN I und NKN II der Homogenität wegen keine Verwendung finden.

Die Messungen des Grundnetzes wurden in den Jahren 1949 bis 1955, und zwar südlich der Elbe von Nivellementstrupps des Niedersächsischen Landesvermessungsamtes, nördlich

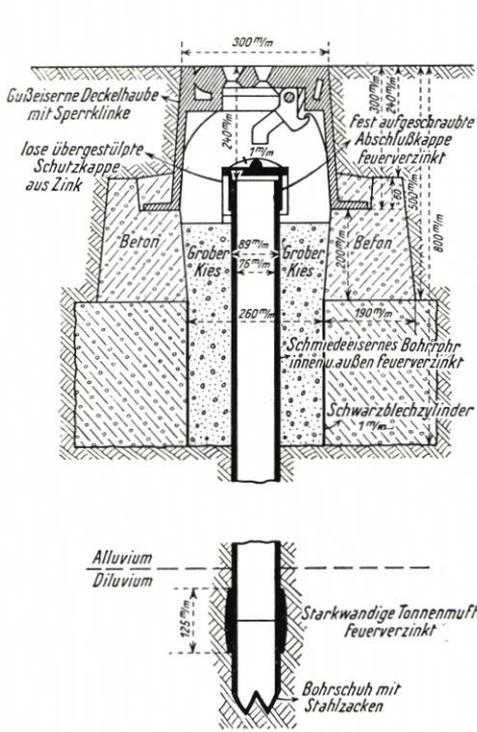


Abb. 6. Rohrfestpunkt
Hamburger Bauart

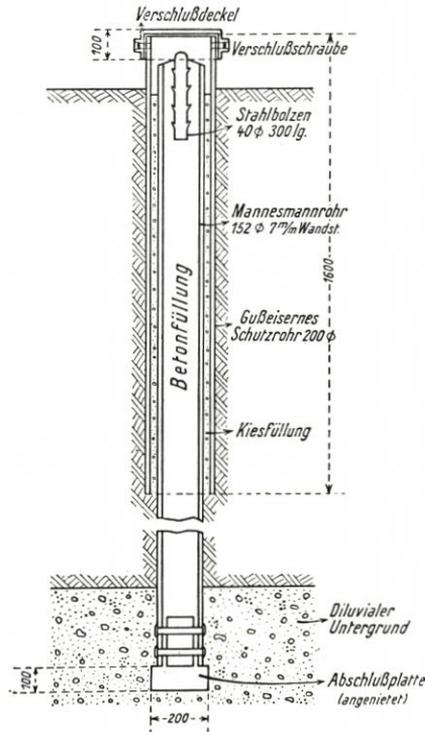


Abb. 7. Rohrfestpunkt
Oldenburger Bauart

der Elbe von solchen des Landesvermessungsamtes Schleswig-Holstein ausgeführt; die Küstenlinien sind von 1948 bis 1959 vermessen worden, und zwar nördlich der Elbe in der Hauptsache vom Landesvermessungsamt Schleswig-Holstein, im niedersächsischen Raume von der Bundesanstalt für Gewässerkunde.

Besondere Schwierigkeiten boten, wie bei der ersten Messung, die Stromübergänge über die Weser bei Dedesdorf (Zielweite 940 m, Zielhöhe 5,5 m über HW) im Frühjahr 1954, über die Elbe im Herbst 1954 bei Scheelenkuhlen (1988 m, 6 m über HW) und zusätzlich bei Twie-lenfleth (1351 m, 8 m, über HW). Über die Elbe fand ferner an den beiden genannten Stellen eine Höhenübertragung im Frühjahr und Sommer 1955 auf hydrostatischem Wege statt. Die Ergebnisse der hydrostatischen Messungen stimmen gut mit denen der Nivellementsübergänge überein.

Diese Messungen sind Gemeinschaftsarbeiten des Niedersächsischen Landesvermessungsamtes, des Landesvermessungsamtes Schleswig-Holstein, des Vermessungsamtes Hamburg, der Bundesanstalt für Gewässerkunde, des Deutschen Hydrographischen Instituts und des Instituts für Angewandte Geodäsie, das die hydrostatische Meßeinrichtung auf Anregung sowie unter Beteiligung sowohl wirtschaftlicher als auch personeller Art der Bundesanstalt für Gewässerkunde und der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Hamburg hauptsächlich entwickelt hatte und einsetzte.

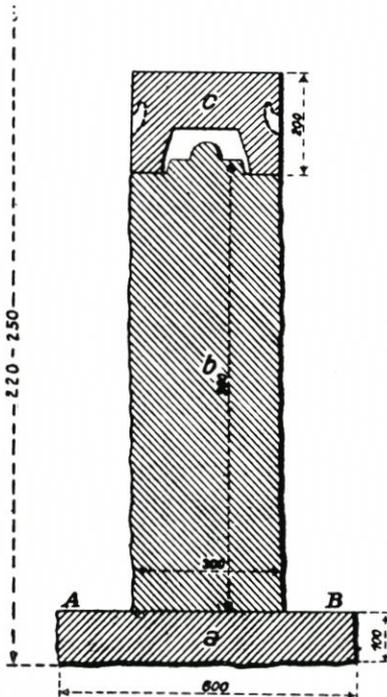
Über die Stromübergänge berichtet eine gemeinsame Veröffentlichung, die im Jahre 1957 beim Niedersächsischen Vermessungsamt erschienen ist.

Die Anschlüsse der Ostfriesischen Inseln sind in dem Höhenverzeichnis der Bundesanstalt für Gewässerkunde — Die Ostfriesischen Inseln, Koblenz 1958 — beschrieben.

Abbildung 4 gibt den Verlauf der Küsten- und Inselmessungen wieder, der in einzelnen Teilen vom Verlauf des NKN I abweicht, einmal, weil das Niedersächsische Landesvermessungsamt einige Linien im Anschluß und zur Verdichtung des Grundnetzes übernommen hatte, ferner die Inselanschlüsse der Verlagerung der Sande angepaßt werden mußten und weiterhin in Schleswig-Holstein die Küstenlinien zum größten Teil vom Landesvermessungsamt übernommen und ihre Anschlüsse an das Grundnetz etwas günstiger gestaltet werden konnten. Die Messungen zu den Inseln Sylt (1953), Föhr-Amrum (1954) und Pellworm-Hooge (1955) wurden vom Landesamt für Wasserwirtschaft Schleswig-Holstein ausgeführt. Die Inseln Trischen und Süderoog wurden beim NKN II nicht angeschlossen.

Die Abbildung einer Stromübergangsmessung (Abb. 5), die Wiedergabe der Rohrfestpunkte Hamburger und Oldenburger Bauart (Abb. 6 und 7) und die Darstellung einer Unterirdischen Festlegung (Abb. 8) sollen zur Erörterung der Ergebnisse der Messungen überleiten.

Abb. 8. Unterirdische Festlegung (UF) des Reichsamts für Landesaufnahme



Es wurde schon erwähnt, daß die Unterirdischen Festlegungen das Gerippe der gesamten Nivellementsnetze bilden. Ihre Einbringung hat sich in den letzten Jahren weiterhin verbessert. Die Unterirdische Festlegung reicht bis 2,60 m unter die Erdoberfläche, und der Boden um den Punkt wird mit modernen Bodenverdichtungsmaschinen festgerüttelt.

4. Ergebnisse der Nordseeküsten-Nivellements

Zunächst sollen die Ergebnisse der Wiederholungsmessungen der Unterirdischen Festlegungen dargestellt und erörtert werden.

Abbildung 9 zeigt die 47 Unterirdischen Festlegungen des Grundnetzes. Die Zahlen geben die Höhenwertänderungen NKN II — NKN I, d. h. also im Durchschnitt nach etwa 21 Jahren, in mm an.

Es fallen auf im Raum zwischen Ems und Weser:

- UF Lingen mit einer Höhenwertänderung von + 7 mm,
- UF Lathen mit einer Höhenwertänderung von + 9 mm und
- UF Ohmstede, nördlich Oldenburg mit einer Höhenwertänderung von - 9 mm (UF = unterirdische Festlegung).

Zwischen Weser und Elbe erst einmal UF Farge mit - 22 mm. Dies ist die schon erwähnte und unsichere UF am Rande einer Kiesgrube. Ferner fällt die UF Harburg mit - 13 mm auf.

Nördlich der Elbe sehen wir ein langsames Zunehmen von - 5 bzw. - 10 mm bis - 13 und - 16 mm Abweichungen an der dänischen Grenze.

Wie sieht es nun mit der Realität dieser Beträge aus?

Nimmt man beim NKN II die Verdichtungslinien hinzu (siehe Abb. 3), so daß dann anstatt siebzehn Schleifen 31 Schleifen auszugleichen sind - u. a. ist der zweite Stromübergang über die Elbe bei Twielenfleth hinzugekommen -, so zeigen sich die in Abbildung 10 wiedergegebenen Abweichungen gegen die in Abbildung 9 dargestellten Höhenwertänderungen, d. h. der Einfluß der Gestaltänderung des Netzes macht sich vom linken Elbufer bis zur dänischen Grenze mit zusätzlich - 3 bis - 8 mm nahezu gleichbleibend bemerkbar, also mit Werten, die durchaus im Rahmen der Fehlerfortpflanzung liegen.

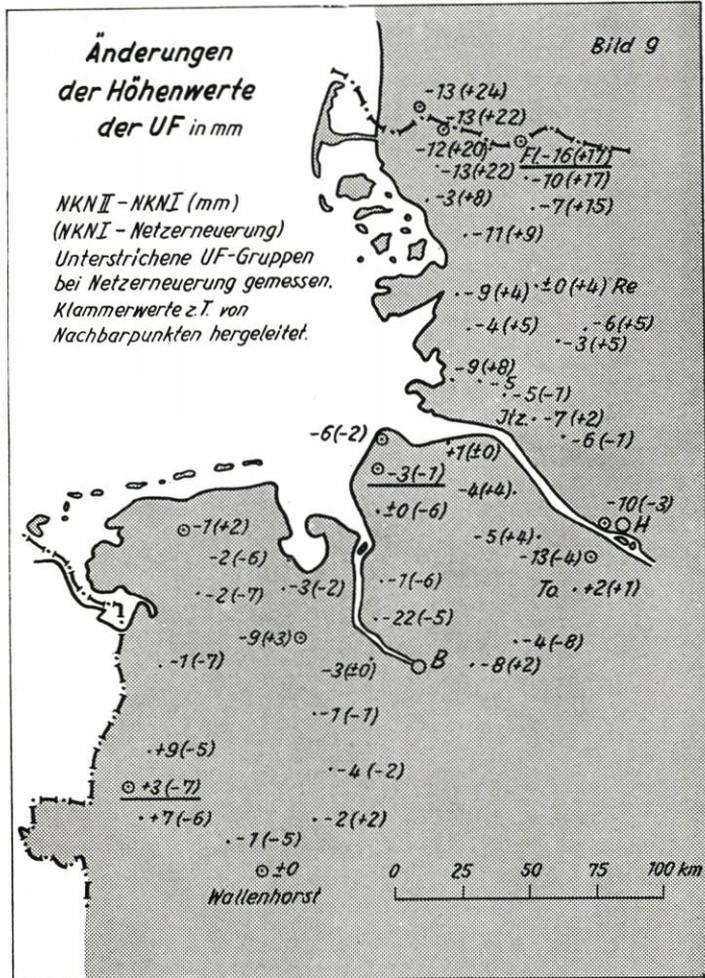


Abb. 9. Höhenwertdifferenzen NKN II - NKN I der UF

Rechnet man ferner von Wallenhorst bis zur dänischen Grenze noch auf einem anderen Wege, nämlich einem Umwege östlich des NKN, so erhält man die in Abbildung 10 in Klammern hinzugefügten Abweichungen von den im einfachen NKN II, d. h. ohne Verdichtung erhaltenen Werten, nämlich: + 1, + 2, - 12, - 12, - 24 und - 14 mm. Dieser Umweg ist möglich, da die Neumessung des ganzen nordwestdeutschen Haupthöhennetzes so weit fortgeschritten ist. Er hat nur wenige Nivellementsunkte mit dem NKN-Netz ge-

meinsam, unter anderem Ahlhorn, Rotenburg, Stade, Itzehoe, Husum und Flensburg. Die Unsicherheit dieser Differenzen der zwei Messungen NKN II und NKN II Umweg kann man, da der Umweg eine größere Unsicherheit hat, bei Stade mit etwa ± 12 mm, bei Itzehoe mit ± 13 mm, bei Flensburg und Husum mit ± 18 mm schätzen, so daß sich auch die dort auftretenden schon verhältnismäßig großen Differenzen durchaus noch im Rahmen der sich aus

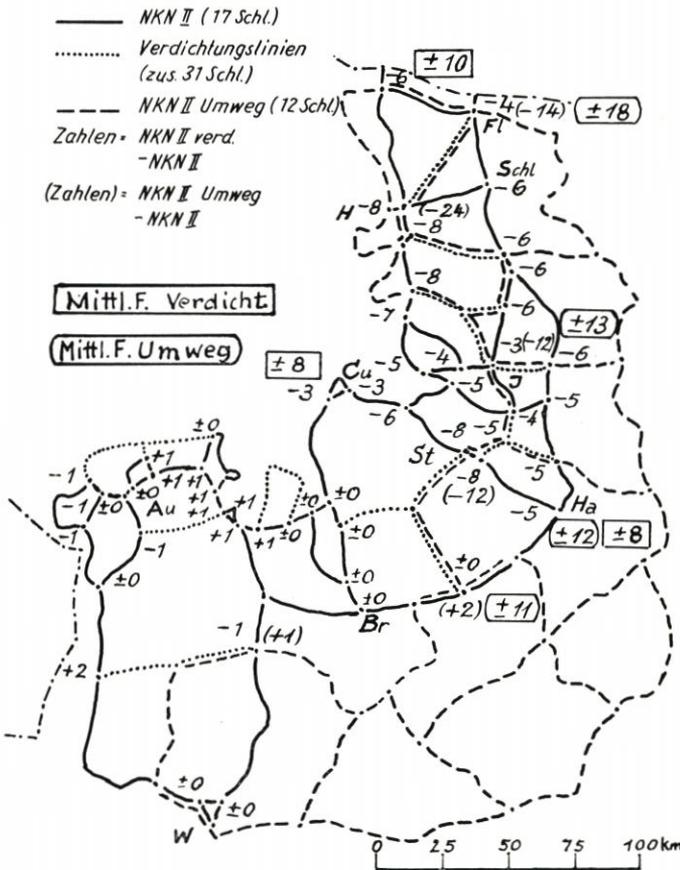


Abb. 10. Zweites Nordseeküsten-Nivellement, Verdichtung und Umweg

Vergleich mit ihren Nachbarpunkten als am wenigsten von örtlichen Einflüssen berührt gelten. Es sind dies im Grundnetz die Unterirdischen Festlegungen (unterstrichen) und andere Nivellements-punkte; an der Küste und auf den Inseln meist RF, aber auch Bolzen in Sielen und Schleusen. Daneben sind die Höhenwertdifferenzen der Mehrzahl der sonstigen Punkte in Klammern beigefügt, die z. B. auf Deichen und im Marschgebiet liegen und deren große Differenzen auf Sackungen oder schlechte Gründungen schließen lassen. Es treten Höhenwertdifferenzen bis -70 mm, bei Sylt sogar bis -91 mm auf, aber auch vereinzelt positive Beträge bis $+8$, ja sogar bis $+31$ mm.

Von den Rohrfestpunkten haben sich etwa 75 % als standsicher, d. h. frei von Eigenbewegungen, erwiesen.

Abbildung 11 mit den Höhenwertdifferenzen NKN II — NKN I veranschaulicht

den Messungen (Anordnung, Fehlerhäufung, andersartige Anschlüsse) ergebenden Abweichungen bewegen.

Der Vergleich der Höhenwerte der Unterirdischen Festlegungen ist wohl der sicherste, und die Differenzen müssen, wenn man von den UF Lathen ($+9$ mm) und Farge (-22 mm) absieht, als von örtlichen Einflüssen am meisten unabhängig angesehen werden. Doch dienen die vielen anderen Nivellements-punkte (Höhenmarken, Mauerbolzen, Pfeilerbolzen und für die Küste Rohrfestpunkte) dem praktischen Gebrauch, und es ist wichtig, die Punkte herauszufinden, die ebenfalls von örtlichen Einflüssen frei sind. Vor allem geht es hier um die Rohrfestpunkte (RF) an der Küste und insbesondere an den Pegelstellen.

Abbildung 11 zeigt die Höhenwertdifferenzen der repräsentativen Punkte im ganzen Netz, d. h. der Nivellements-punkte, die im

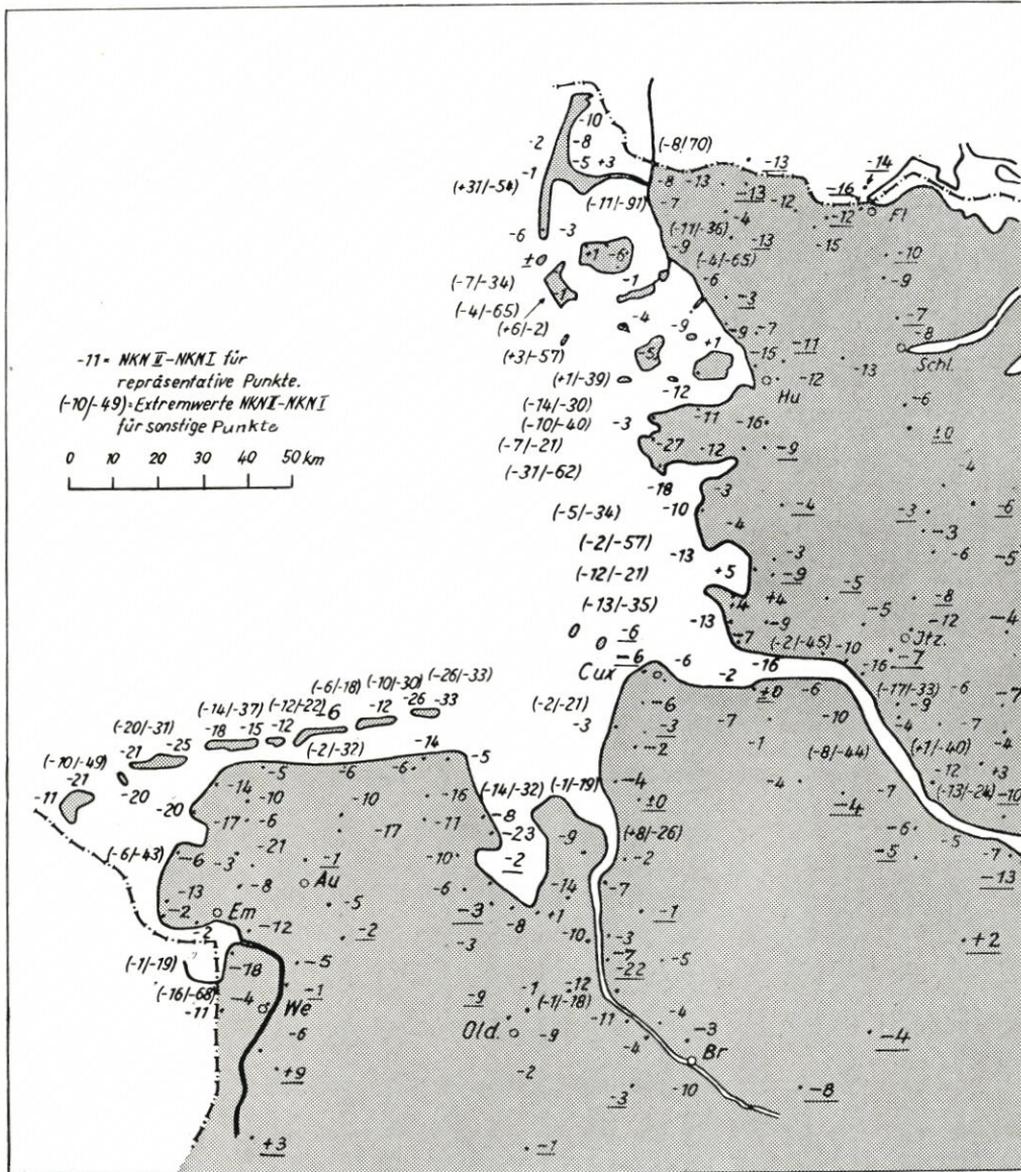


Abb. 11. Höhenwertdifferenzen NKN II—NKN I (mm). Punkte an der Küste meist Rohrfestpunkte. UF sind unterstrichen

wohl hinreichend, daß die negativen Werte weit überwiegen, daß sich aber, soweit es sich um Punkte in festem Untergrund (Diluvium) handelt, im gesamten Gebiet immer wieder Punkte finden, deren negative Beträge im Rahmen der Messungsungenauigkeiten liegen. Die Unsicherheiten aus den Messungen und sonstigen Einflüssen für die Höhenwertdifferenzen der beiden Messungen sind an der Elbe mit etwa ± 11 mm, an der dänischen Grenze mit etwa ± 13 mm anzusetzen. Selbst wenn man die tieferen Werte des NKN II mit den Zwischenlinien anhalten wollte, die gegenüber denen des NKN I bei den Nivellementsunkten an der Elbe

bis etwa — 12 mm, an der dänischen Grenze bis — 20 mm anwachsen, würde eine Herleitung von tektonischen Senkungsbeträgen daraus für das Jahrhundert sehr gewagt sein.

Für alle von NKN I und NKN II erfaßten Nivellementsunkte sind die Höhenwerte beider Messungen und die Differenzen zwischen beiden in der in Kürze erscheinenden amtlichen Veröffentlichung (12) tabellenmäßig angegeben, so daß Betrachtungen dazu jedem Leser möglich sind.

Wie sieht nun das Bild aus, wenn wir unsere Ergebnisse NKN II — NKN I noch mit früheren Messungen vergleichen?

5. Vergleich der Ergebnisse mit denen früherer Messungen

Abbildung 12 gibt den Verlauf des Nivellements in den Jahren 1894 (Lingen — Weener — Aurich — Oldenburg — Bremen) und 1897 (Oldenburg — Heespe) wieder, das auf diesen Linien geschlossen durchgeführt wurde und vergleichswürdig erscheint, und ferner die Linien der Netzerneuerung 1910 bis 1926, die sich zwar über mehr als anderthalb Jahrzehnte erstreckt, aber als Grundlage des neuen Gebrauchsnetzes ein einheitliches Ganzes bildet. Diese Netzerneuerung ist schon besser verfestigt und enthält sogar bereits eine Reihe von Unterirdischen Festlegungen, nämlich die Nester Hemsens, etwa 25 km nördlich Lingen, Nordholz südlich Cuxhaven und Klusries bei Flensburg, so daß hier schon eine sichere Vergleichsmöglichkeit gegeben ist. Diese Vergleiche hat BERNDT (1932) in seinem Aufsatz (2) gezogen. Auf der Abbildung 12 sind neben den Höhenwertdifferenzen NKN II (verdichtet) — NKN I die Höhenwertdifferenzen NKN I — Netzerneuerung 1910 bis 1926 in Klammern wiedergegeben.

Betrachten wir nun die drei Nester der Unterirdischen Festlegungen, so finden wir, daß in Hemsens und Flensburg die Differenzen entgegengesetzt sind, sich in Flensburg fast vollständig aufheben und in Nordholz nur eine vollkommen unbedeutende Summierung eintritt.

Nehmen wir weiter die Knotenpunkte des Nivellementsnetzes mit ihren Differenzwerten hinzu, so leuchtet wohl ein, daß einmal die Vermutung BERNDTS, daß nach Norden eine leichte zunehmende Hebung zu erkennen sei, sehr gewagt ist, und daß weiter ein Schluß aus den Differenzen NKN II — NKN I auf eine nach Norden zunehmende Senkung ebenso wenig berechtigt ist. Selbst wenn man beim NKN II die Werte des verdichteten Netzes in Schleswig-Holstein einführt, heben sich die Differenzen in diesen beiden Zeitabschnitten fast vollständig auf.

Die Abweichungen betragen für einige Punkte:

	NKN II verd. — NKN I	NKN I — Netzerneuerung
Itzehoe	— 9	+ 4
Schleswig	— 12	+ 13
Husum	— 20	+ 15
Flensburg	— 22	+ 17
Süderlügum	— 20	+ 23

Vielleicht ist die Abweichung bei Itzehoe in gewissem Umfang örtlich bedingt.

Auch ein Vergleich der Messungen 1894 und 1897 mit dem NKN I ergibt für die örtlich sicheren Punkte nur Abweichungen von wenigen Millimetern.

Wenn wir diese Erkenntnisse hinzunehmen, können wir als Ergebnisse der Nordseeküsten-nivellements folgende anführen:

Der Vergleich des NKN II (1949 bis 1959) mit dem NKN I (1928 bis 1937) zeigt zwar für die offensichtlich von Eigenbewegungen freien oder wenig berührten Nivellementsunkte, insbesondere für die Unterirdischen Festlegungen, nach Norden zunehmende negative Beträge bis -16 mm (-22 mm), doch liegen diese Differenzbeträge innerhalb oder nur wenig außerhalb der aus den beiden Messungen herührenden Unsicherheiten; diese Differenzen sind denen zwischen den Messungen 1910 bis 1926 und NKN I (1928 bis 1931) entgegengesetzt und von gleicher Größenordnung.

Da wohl kaum anzunehmen ist, daß sich das Gebiet nördlich der Elbe in der Zeit von 1910/26 bis 1928/31, d. h. in etwa zehn Jahren gehoben und von 1928/31 bis 1948/54, also in den folgenden etwa zwanzig Jahren wieder nahezu um den gleichen Betrag gesenkt

hat und etwa 1928/31 ein Kulminationspunkt liegt, ähnlich wie SCHÜTTE (9) u. (10) solche seinerzeit für große Zeitabschnitte herleiten zu können glaubte, können wir weiträumige Erdkrustenbewegungen aus den Feinmessungen im nordwestdeutschen Raum nicht nachweisen. Dabei sind eustatische Bewegungen bewußt nicht berührt worden (7).

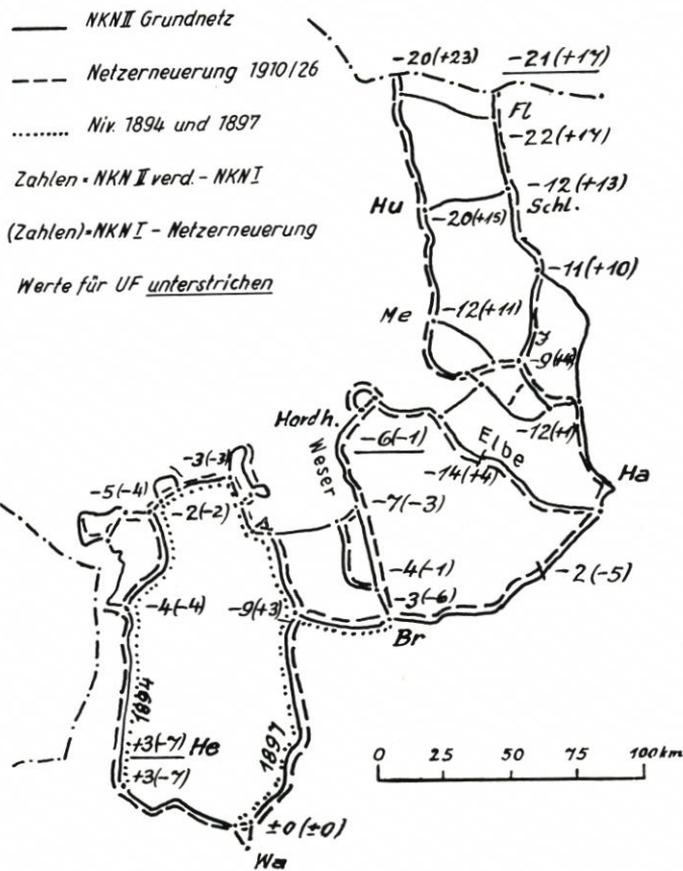


Abb. 12. Frühere Feinnivellements im Gebiet des NKN (Nordseeküsten-Nivellement)

6. Weitere Betrachtungen zu den Ergebnissen

Auf einen Punkt in WOLFFS (11) Aufsatz sei noch hingewiesen. Auf Seite 252 sagt WOLFF:

„Es besteht ein hoher Grad von Wahrscheinlichkeit dafür, daß einzelne Gebiete, namentlich der Dollart, die Jade und die nordfriesische Bucht tektonische Senkungsfelder sind, die besondere Bewegungen ausführen, während die dazwischen liegenden Küstenstrecken entweder gänzlich unbewegt, oder doch sehr wenig veränderlich sind.“

Betrachtet man daraufhin die Abbildung 11, so könnte man für den Dollart wohl eine gewisse Senkungstendenz ahnen, für den Jadebusen ist es jedoch nicht möglich zu sagen, ob

die Negativwerte durch Oberflächenbewegungen bedingt sind oder tektonisch verursacht sein können; sie sind dann aber sicher gering. In der nordfriesischen Bucht läßt sich nach den angestellten Betrachtungen nichts erkennen, und damit befinden wir uns mit den Ansichten von Dittmer (4) bis (6) in Übereinstimmung.

Versuchen wir noch einen weiteren Weg, um Beziehungen zwischen der Tektonik und unseren Nivellementsergebnissen zu erkennen! Wenn wir die Linien und Punkte der NKN I und NKN II in eine erdölgeologische Karte Westdeutschlands eintragen und Zusammenhänge zwischen dem geologischen Aufbau und den in zwei Jahrzehnten festgestellten Höhenwertveränderungen von Nivellementspunkten suchen, können wir höchstens für die Unterirdische Festlegung Lathen die Hebung von + 9 mm (Abb. 9) durch den darunter befindlichen Salzhorst erklären, doch wird diese Erkenntnis oder Vermutung schon wieder dadurch abgeschwächt, daß diese Gegend zwischen 1894 und 1928 eine Änderung von - 8 mm aufweist.

Über die Ostfriesischen Inseln, deren Rohrfestpunkte durchschnittlich 7 bis 30 mm niedrigere Werte gegenüber den Unterirdischen Festlegungen auf dem Festland aufweisen, vermag Verfasser nichts auszusagen. Die Abweichung der UF Tostedt um + 2 mm gegenüber Punkten in der Nachbarschaft, die Beträge von - 4 bis - 13 mm aufweisen, könnte ebenfalls auf Salzstöcken beruhen, ebenso die positiven Abweichungen von + 1 mm bei Cadenberge, 20 km östlich Cuxhaven, gegenüber - 7 und - 6 mm in der Nachbarschaft (Abb. 11). Das gleiche könnte für die Punkte südlich Meldorf zutreffen, die Abweichungen + 4 und + 5 mm gegenüber - 7, - 5 und - 9 mm in der Nachbarschaft aufweisen. Und schließlich kann das gleiche für die UF Rendsburger Forst gelten, die den Wert 0 mm gegenüber den Punkten nördlich und südlich davon aufweist, die Werte von - 3, - 6 und - 8 mm zeigen. Berücksichtigt man ferner, daß die Beträge NKN II - NKN I im Norden von Schleswig-Holstein von - 12, - 8, - 14, - 18 mm durch die Beträge NKN I - Netzerneuerung von + 18, + 14, + 23, + 17 mm aufgehoben werden, so zeigt der nördliche Teil der schleswig-holsteinischen Küste einschließlich der Inseln nur Differenzen von ± 10 mm, so daß also auch bei dieser Betrachtung tektonische Bewegungen nicht erkennbar sind.

Auch die Hinzunahme der Schwereanomalien zur Erklärung der verhältnismäßig allerdings geringen Höhenwertänderungen läßt keine Zusammenhänge zwischen Höhendifferenzen und Schwereabweichungen erkennen, wie solche für tektonisch in Bewegung befindliche Gegenden Ungarns (8) nachgewiesen worden sind.

Vergegenwärtigen wir uns nochmals das Vorhergehende, so kann man wohl sagen, daß die Ergebnisse der wiederholten Nivellements insofern beruhigend sind, als, selbst wenn man Anhänger der Küstensenkungstheorie ist, diese Senkung zur Zeit für den winzig kleinen Zeitabschnitt der Erdgeschichte von 20 bis 25 Jahren feinmeßtechnisch nicht nachweisbar ist.

Neben diesem Hauptergebnis darf nochmals betont werden, daß die Wiederholung des Nordseeküsten-Nivellements einen wesentlichen praktischen Nutzen dadurch gebracht hat, daß sie zur Verdichtung des Höhennetzes I. Ordnung und zur Erneuerung und Erweiterung des Nivellements an den Wasserstraßen gedient hat. Diese Wiederholung des gesamten Netzes im Zusammenhang in verhältnismäßig kurzer Zeit machte ferner eine wesentlich leichter zu übersehende Berichtigung der Höhenwerte von veränderten Nivellementspunkten möglich als eine sonst stückweise nötig gewordene Erneuerung von einzelnen Netzteilen und bildet schließlich den Anfang einer vollständigen Neuvermessung der Höhennetze I. und folgender Ordnungen im gesamten nordwestdeutschen Raume.

7. Ausblick

Es wird Aufgabe der Geodäten sein, nach Verlauf von vielleicht vier bis fünf Jahrzehnten, das wäre also um die Jahrtausendwende, die Nivellements zu wiederholen, und zwar in dem jetzt verdichteten Netz, und wie es WOLFF (11) schon fordert, auf breiterer Basis, d. h. mit Erweiterung nach Süden und Südosten und unter Verwendung der inzwischen neu eingebrachten Unterirdischen Festlegungen.

Es soll darauf hingewiesen werden, daß nach dem Vorbild einer im Jahre 1891 vom Zentralbüro der Internationalen Erdmessung, Berlin, vorgelegten ersten Arbeit ein europäisches Nivellementsnetz zur Erfassung und zum Vergleich der mittleren Wasserstände der angrenzenden Meere aus den Nivellements der einzelnen Länder zusammengestellt und zunächst mit den zur Zeit vorliegenden Messungen ausgeglichen worden ist, daß dieses in gewissen Zeitabständen neu bearbeitet werden soll und auch der Feststellung von Höhenänderungen dienen kann.

Mit den Nachbarländern sind Nivellementsverbindungen geschaffen worden, so mit Dänemark zwei, mit Holland fünf von Niedersachsen aus, ferner auch mit Belgien, so daß sich die Küstenforschung nach Norden und Westen ausdehnen kann. In den deutschen Ländern sind nach den neuesten Erfahrungen eine große Anzahl von Unterirdischen Festlegungen und UF-Nestern angelegt worden, so in Niedersachsen fünf Landesnivellements-Hauptpunkte (LNH) mit je fünf Unterirdischen Festlegungen: Schneeren, Hemsen, Wallenhorst, Nordholz und Landwehrhagen nördlich Kassel, ferner acht Dreiergruppen, von denen nur die südlich Osnabrück (Hüggel) und Saalsdorf, nordwestlich der UF-Gruppe Flechtingen und als Ersatz für diese genannt werden sollen.

An einzelnen Unterirdischen Festlegungen bestehen in Niedersachsen ferner 37; und in den anderen Ländern sieht es folgendermaßen aus:

Schleswig-Holstein	2 LNH		38 UF
Hamburg		2 Dreiergruppen	
Nordrhein-Westfalen	1 LNH	3 Dreiergruppen	17 UF
Hessen	1 LNH	4 Dreiergruppen	27 UF
Rheinland-Pfalz	1 LNH	10 Dreiergruppen	5 UF

Somit ist alles getan, um etwaige Erdkrustenbewegungen in späteren Zeiten noch sicherer feststellen zu können, als es nach dem NKN I und NKN II möglich war.

Das von namhaften Geographen und Geologen aus ihren Wahrnehmungen geschlossene „Atmen der Erde“ im Großen, die „Lebende Tektonik“ von WOLFF lassen sich im nordwestdeutschen Raum zur Zeit — nach Auffassung des Verfassers — geodätisch nicht nachweisen, so sehr sie nach theoretischen Erwägungen als vorhanden gelten könnten.

8. Schriftenverzeichnis

1. BERNDT, F.: Über die neue Versuchsstrecke für Nivellements festpunkte des Reichsamtes für Landesaufnahme. Zusammenhänge zwischen Grundwasser und Feinwägung. Z. f. Vermessungswesen H. 15, Stuttgart 1932.
2. BERNDT, F.: Deuten die Ergebnisse der bisherigen Feineinwägungen an der deutschen Nordseeküste auf gegenwärtige Erdkrustenbewegungen? Mitt. d. Reichsamts f. Landesaufn. 1932/33.
3. DIENEMANN, W. u. SCHARF, W.: Zur Frage der neuzeitlichen „Küstensenkung“ an der deutschen Nordseeküste. Jahrb. preuß. geol. L.-A., 52, 1931.
4. DITTMER, E.: Die Küstensenkung an der schleswig-holsteinischen Westküste. Forsch. u. Fortschr. Jg. 24, Nr. 17/18, 1948.

5. DITTMER, E.: Die nacheiszeitliche Entwicklung der schleswig-holsteinischen Westküste. *Meyniana*, Bd. 1/1952.
6. DITTMER, E.: Der Mensch als geologischer Faktor an der Nordseeküste. *Eiszeitalter u. Gegenwart* Bd. 4/5, 1954.
7. RIETSCHEL, E.: Einige Bemerkungen zum Auslegen der Nordseewasserstände und zur Abschätzung der dafür in Betracht kommenden Ursachen. *Schr. d. Prov. Stelle f. Marschen- und Wattenforschung*, Hildesheim 1940.
8. SCHEFFER, V.: Der isostatische Charakter der Niveauveränderungen in Ungarn und die Möglichkeit einer Korrektur der Höhen der Nivellementsunkte nach der Zeit. *Mitteil. d. Ungar. Akademie d. Wiss. Abt. Technik*. Bd XIII Nr 1—4, S. 13—25. Budapest 1954 (ungarisch).
9. SCHÜTTE, H.: Neuzeitliche Senkungserscheinungen an unserer Nordseeküste. *Jahrb. d. Oldenburgischen Vereins f. Altertumskunde und Landesgeschichte*. Bd. XVI, 1908.
10. SCHÜTTE, H.: Krustenbewegungen an der deutschen Nordseeküste. *Aus der Heimat*, 40. Jg., Heft 11. Stuttgart 1927.
11. WOLFF, W.: Über die Bedeutung von Feinmessungen für die Erforschung der gegenwärtigen Erdkrustenbewegungen Nordwestdeutschlands, insbesondere des Küstengebietes. *Z. Ges. Erdkunde*, Berlin 1929.
12. Niedersächs. Landesverwaltungsamt — Landesvermessung — Hannover, Landesvermessungsamt Schleswig-Holstein, Kiel und Bundesanstalt für Gewässerkunde Koblenz: Die Wiederholung des deutschen Nordseeküsten-Nivellements in den Jahren 1949—1955 (1959) und der Vergleich mit der ersten Messung in den Jahren 1928—1931 (1937), Hannover 1960.

Zur säkularen Änderung des mittleren Wasserstandes¹⁾

Von Walter Horn

Der mittlere Wasserstand eines Ortes ist der Mittelwert des Wasserstandes am Pegel, genommen etwa über einen Monat, ein Jahr oder einen längeren Zeitraum. Er wird mit ausreichender Genauigkeit als arithmetisches Mittel stündlicher Wasserstände erhalten.

Der mittlere Wasserstand zeigt im allgemeinen einen Jahresgang und eine säkulare Änderung. Beide sind nicht etwa auf die deutschen Küsten beschränkt, sondern treten an den Küsten aller Weltmeere und ihrer Neben- und Randmeere auf, und zwar durchaus nicht einheitlich, sowohl was Amplitude, Phase und Form der jährlichen Schwankung als auch was die Tendenz und Größe der säkularen Änderung betrifft. Einige langperiodische Beiträge der Gezeiten können hier als vergleichsweise geringfügig beiseite gelassen werden.

Ursache des jährlichen Ganges ist die jahreszeitliche Schwankung der Sonnenstrahlung. Diese verläuft an jedem einzelnen Ort mit hoher Genauigkeit periodisch, der jährliche Gang des Wasserstandes jedoch nicht; selbst die jährlichen Mittelwerte können — z. B. bei Cuxhaven — von einem Jahr zum anderen durchaus noch um 5 bis 6 cm verschieden ausfallen. Daß hier kein Paradoxon vorliegt, lehrt ein Blick auf das Wetter, das dieselbe Ursache hat: Niemand erwartet in unseren Breiten, daß Temperatur, Regen und Sonnenschein auch nur angenähert so mit dem Datum wiederkehren wie im Vorjahr, und der Grund dafür ist auch theoretisch einzusehen, ohne daß damit schon die Möglichkeit gegeben wäre, das Wetter über ein Jahr oder ein kürzeres Intervall vorauszuberechnen.

Ähnlich steht es mit den langfristigen Änderungen des mittleren Wasserstandes. Eine solche Änderung ist während des letzten Jahrhunderts in der Deutschen Bucht zweifellos vor sich gegangen, das Wasser ist um 0,2 bis 0,3 m gestiegen. DIETRICH²⁾ hat nachgewiesen, daß dies im wesentlichen auf eine Zunahme der Wassertemperatur und der Windstärken zurückzuführen ist. Ähnliches hat man seither für andere Gebiete zeigen können. Die langfristigen Änderungen des mittleren Wasserstandes stellen also eine Auswirkung entsprechender Klimaänderungen dar, die z. B. auch an dem Rückgang der Gletscher und der Vereisung erkennbar sind. Richtiger würde man wohl alle diese Erscheinungen als Teile eines umfassenden Vorgangs betrachten, in den die Meere wie die Atmosphäre einbezogen sind. Wiederum braucht man nicht anzunehmen, die äußere Ursache müsse sich verändert haben, wenn in historischen Zeiträumen z. B. die Gletscher sehr verschieden entwickelt waren. Die Wege, auf denen sich die Sonnenstrahlung in Erwärmung des Festlandes, der Hydrosphäre und Atmosphäre sowie in Bewegungen der beiden letztgenannten umsetzt, sind so komplexer Art, daß auch langwährende einseitige Verschiebungen gewisser Mittelwerte nichts darstellen, was als sonderbar oder mit den bekannten Naturgesetzen nicht vereinbar zu gelten hätte. Nur reicht diese Einsicht nicht entfernt zu einer Vorhersage aus.

Der „International Council of Scientific Unions“ (ICSU) hat einen *Permanent Service of Mean Sea Level* eingerichtet, der die Beobachtungen des mittleren Wasserstandes sammelt und im Abstand einiger Jahre veröffentlicht. Ferner hat sich das „Special Committee on Oceanic Research“ (SCOR) als eine seiner Aufgaben gestellt, den langfristigen Energieaustausch

¹⁾ Nach einem Vortrag auf der 3. Arbeitstagung des Küstenausschusses Nord- und Ostsee am 15. Oktober 1959 in Bremen.

²⁾ DIETRICH, G.: Ozeanographisch-meteorologische Einflüsse auf Wasserstandsänderungen des Meeres am Beispiel der Pegelbeobachtungen von Esbjerg. Die Küste 2, 2. 1954.

zwischen der Atmosphäre und den Weltmeeren zu untersuchen. Tiefe Einblicke sind nicht schnell zu erwarten. Neuere Einzelarbeiten suchen an Hand der Küsten- und Inselbeobachtungen ein Bild davon zu gewinnen, wie die jährliche Schwankung in gewissen ozeanischen Gebieten verläuft.

Der Ingenieur braucht diesen Untersuchungen nicht im einzelnen zu folgen. Ihn betrifft hauptsächlich die säkulare Änderung des mittleren Wasserstandes. Dazu ist zu sagen: Sie nicht in Betracht zu ziehen, wo sie von Bedeutung werden kann, würde ein Versäumnis darstellen; daß sie auch weiterhin so verlaufen wird wie nach den bisherigen Ermittlungen, kann weder als sicher angenommen noch verneint werden. Argumente, die auf den einen oder anderen Aspekt zielen, dürfen noch nicht als eine vollständige Theorie gelten.

Die Bedeutung der relativen Küstensenkung für die Niederlande*)

Von Johannes Barend Schijf

Von den Niederlanden liegen 40% unter dem normalen Hochwasserstand der Nordsee, und in diesem Gebiet leben und arbeiten 60% unserer gesamten Bevölkerung. Dieser Zustand erfordert eine ununterbrochene Sorge für den Hochwasserschutz, die Entwässerung und die Bekämpfung der Salzwassereinsickerung. Einer unserer Dichter hat von unserem Land gesagt: „Du, nicht auf meinen Wunsch dem Meer entrunken;“ und von Zeit zu Zeit sprechen wir Ingenieure es ihm nach. Vielleicht hätte man ein solches Land niemals bewohnen dürfen, aber dazu ist es jetzt einige tausend Jahre zu spät. Die Sachlage macht es aber wohl selbstverständlich, daß wir für die Frage Küstensenkung — Wasserstandshebung ein reges Interesse haben. Dabei handelt es sich vom Ingenieurstandpunkt aus an erster Stelle um die relative Bewegung, und es kann dann scheinen, als ob die Frage, inwieweit die Rede ist von einem Steigen des Meeresspiegels und inwieweit von einer Bodensenkung, beide genommen bezüglich des Erdmittelpunktes, nicht sachdienend wäre. Aber bei reiflicher Überlegung zeigt es sich doch, daß gerade für den Ingenieur das Problem viel komplizierter ist. Denn unser Boden — und gerade in den niedrigen Lagen des Landes — ist aus holozänen Erdschichten gebildet, im Küstengebiet vielfach etwa 20 m stark, und in diesen Schichten können bedeutende Setzungen auftreten. Das hat mehrere Folgen:

1. Wenn wir eine Senkung zu beobachten glauben, wieweit ist es dann eine Bewegung des Meeresspiegels in bezug auf den festen Untergrund, und wieweit ist es eine Folge von Sackungen in den darübergelegenen Schichten? (Wenn wir dabei von „festem Untergrund“ sprechen, dann meinen wir das Pleistozän, denn wir glauben, das Diluvium als festen Untergrund ansprechen zu dürfen.)
2. Diese Sackungen können von einer Stelle zu der anderen bedeutend auseinandergehen, und
3. Wir beeinflussen selbst die Setzungen durch unsere Tätigkeit, durch die Belastung mit Kunstbauten, aber auch durch die Erniedrigung des Wasserstandes; also durch Entwässerung.

Daher ist ein richtiges Verständnis des Problems Bodensenkung — Wasserstandshebung nicht möglich, wenn wir nicht wenigstens versuchen, darin die verschiedenen Elemente zu erkennen. Und da unterscheiden wir an erster Stelle die relative Bewegung des Meeresspiegels und zweitens die Setzungsphänomene in den holozänen Schichten. Man kann dann den ersten Punkt wieder weiter aufteilen in absolute Bewegungen des Meeresspiegels, die entweder durch Veränderungen der Wassermengen der Ozeane oder durch Veränderungen in der Größe der Ozeanbecken verursacht werden. Das kann man ozeanographische Bewegungen nennen. Daneben hat man absolute Bewegungen des festen Untergrundes als Folge der Umgestaltung der Erdrinde durch geologische Vorgänge.

Von den ozeanographischen Bewegungen kann man sagen, daß sie zu einem bestimmten Zeitpunkt für die ganze Erdoberfläche gleich sind. Die geologischen Bewegungen können von einem Gebiet zum anderen schwanken. Aber sie bestreichen doch wohl einen so großen Raum, daß z. B. innerhalb der Oberfläche der Niederlande keine bedeutenden Abweichungen auftreten werden. Dagegen müssen die Sackungen in den holozänen Schichten als bodenmechanische Vor-

*) Nach einem Vortrag auf der 3. Arbeitstagung des Küstenausschusses Nord- und Ostsee am 15. Oktober 1959 in Bremen.

gänge betrachtet werden, die von Ort zu Ort durchaus verschieden sind. Je nach der Natur der Frage sprechen wir bei ihnen von Geländesackungen, Setzungen von Kunstbauten oder Setzungen von Deichen.

Mit der relativen Bewegung des Meeresspiegels hinsichtlich des festen Untergrundes haben sich viele Wissenschaftler, Ozeanographen, Geologen, Geographen, Paläontologen, Archäologen und sogar auch Ingenieure beschäftigt. Dabei hat man auch wiederholt versucht, diese Bewegung aufzuteilen in eine wahre Meeresspiegelhebung und eine wahre Bodensenkung. Wenn man nur eine Stelle betrachtet, ist das überhaupt unmöglich. Aber selbst, wenn einem eine Anzahl auf der Erde verstreuter Beobachtungsstellen zur Verfügung stehen würden, bleibt noch die Schwierigkeit bestehen, daß die Frage immer eine Unbekannte mehr enthält als die Zahl der Gleichungen, welche die Beobachtungen liefern. Daher ist für eine Lösung dieser Frage immer noch eine Ergänzungsannahme nötig, und das hat zur Folge gehabt, daß es fast ebenso viele Ergebnisse gibt wie Untersucher. „Laßt hundert bunte Blumen blühen“, sagt ein chinesischer Dichter. Der abendländische Ingenieur ist gewöhnlich weniger poetisch, und er fragt sich, was er damit anfangen soll. Glücklicherweise ist für den Ingenieur diese Trennung, die Trennung zwischen wahrer Bewegung des Meeresspiegels und wahrer Bewegung des festen Untergrundes, von geringer Wichtigkeit. Er kann sich damit begnügen, die relative Bewegung des Meeresspiegels bezüglich des festen Untergrundes zu unterscheiden von den bodenmechanischen Setzungen. Das ist für die Niederlande eine sehr wesentliche Unterscheidung.

Indessen haben auch mit dieser Beschränkung verschiedene Studien über die relative Meeresspiegelhebung nicht immer zu übereinstimmenden Ergebnissen geführt. Aus ihnen geht aber doch wohl hervor¹⁾, daß während der letzten 10 000 Jahre Bewegungen in bedeutend schnellerem Tempo stattgefunden haben müssen als heute. Und so kann man z. B. die verfügbaren Daten interpretieren im Sinne einer im Laufe der geologischen Zeit abnehmenden relativen Meeresspiegelhebung, superponiert mit Schwankungen von verhältnismäßig kurzer Dauer („kurz“, d. h. dann einige Hunderte von Jahren). Wenn man das so interpretiert, dann müssen wir uns heute in einem ansteigenden Zweig einer solchen sekundären Schwankung befinden. Darf aber eine derartige Deutung uns dazu verführen, in der nächsten Zukunft einen Stillstand, möglicherweise sogar gefolgt von einer Senkung, zu erwarten? Persönlich glaube ich, daß solche Erwartungen zu spekulativ sind, wenigstens solange wir noch zu wenig wissen vom Mechanismus oder dem mechanischen Komplex, der die relative Meeresspiegelhebung verursacht. Man kann es sich ja im Prinzip auch so denken, daß die verhältnismäßig schnelle Hebung, welche aus den Pegelbeobachtungen der letzten achtzig Jahre hergeleitet wird, auf eine ungünstige Änderung im totalen Regime zurückzuführen ist, anstatt auf eine Schwankung von kurzer Dauer. Jedenfalls weisen die rezenten Beobachtungen über das Abschmelzen des Polareises sicher nicht darauf hin, daß die Meereshhebung in kurzer Frist zu Ende kommt.

Die bodenmechanischen Vorgänge können in den Niederlanden erheblich schnellere Bewegungen verursachen als das jetzige Tempo der relativen Meeresspiegelhebung. Von einigen Trockenlegungen wissen wir z. B., daß die Geländeoberfläche während eines Jahrhunderts einen Meter oder mehr gesackt ist. Das sind natürlich Vorgänge von stark örtlicher Natur, und sie müssen also aus den Untersuchungen des allgemeinen Problems eliminiert werden. Da fragt es sich aber, wie wir das tun können, wenn wir es mit einer komplexen Bewegung zu tun haben, deren Einzelkomponenten nicht genau bestimmt sind und wo auch ein zuverlässiger Vergleichspunkt fehlt. Diese Schwierigkeit und gewiß auch ein nicht immer klarer Begriff der komplexen Natur der Bodenbewegungen haben früher dann und wann Anlaß zu nicht ganz be-

¹⁾ BENNEMA, J.: Bodem- en Zeespiegelbewegingen in het Nederlandse Kustgebied. Uitgave: H. Veenman en Zn., Wageningen 1954.

gründeten Folgerungen hinsichtlich der Größe der Bodensenkung gegeben. Dieses kann um so mehr verwirrend wirken wegen der Gewohnheit, die Sackung oder Senkung anzudeuten mit einem Betrag je Jahrhundert. Damit wurde bei nicht sehr kritisch eingestellten Zuhörern die Suggestion einer ununterbrochenen Fortsetzung in gleichem Tempo hervorgerufen, und das ist weder für die relative Meeresspiegelhebung noch für die bodenmechanische Sackung richtig. Ich möchte daher empfehlen, mit dem Ausdruck „Sackung je Jahrhundert“ ein wenig vorsichtiger umzugehen, als es in der Vergangenheit wohl dann und wann gemacht worden ist.

Alles zusammengenommen, bilden die bodenmechanischen Sackungen eine schwierige Entwicklung, auch da sie — und das wieder aus technischen Gesichtspunkten — die Folgen eines Deichbruches sehr viel schlimmer machen. Dennoch bieten sie auch einen Lichtblick, nämlich den, daß es möglich ist, über diesen Punkt wenigstens einigermaßen verlässliche Berechnungen und demnach Voraussagen zu machen.

Der allerwichtigste Punkt in dem ganzen Problem ist die Senkung der Deichkronen. Diese Senkung wird zusammengesetzt

1. aus der relativen Hebung des Meeresspiegels hinsichtlich des festen Untergrundes,
2. aus der Setzung der holozänen Schichten an sich,
3. aus der Setzung des Untergrundes infolge der Belastung durch den Deich und dann schließlich
4. aus der Sackung im Deichboden selbst.

In der Ingenieurpraxis geht es darum, daß wir einen Zuschlag ermitteln müssen, welcher der Höhe der Deichkrone hinzuzufügen ist, die ohne diese Gesichtspunkte aus dem maßgebenden Wasserstand, dem Wellenaufwurf usw. ermittelt werden müßte. Jetzt, nach der Sturmflut vom Februar 1953, sind wir in den Niederlanden beschäftigt, unseren ganzen Küstenschutz zu revidieren und neuen Sicherheitsforderungen anzupassen, und daher ist diese Frage von aktueller Wichtigkeit. In bezug auf die bodenmechanischen Vorgänge kennen wir die Natur des Prozesses, und wir können daher eine ziemlich zuverlässige Voraussage machen, die dann selbstverständlich von Ort zu Ort verschieden ist. Hinsichtlich der ozeanographischen und geologischen Vorgänge mangelt es dagegen an ausreichenden Erkenntnissen, jedenfalls für eine quantitative Behandlung, die eine richtig begründete Berechnung gestatten würde. Die einzige Basis, die wir hier für eine Voraussage haben, ist eine Extrapolation aus der Vergangenheit mit allen Ungewissheiten, die damit verbunden sind. Und hier bekommt die Frage, ob man es wirklich mit einem allgemeinen Gang mit abnehmender Tendenz und darauf superponierten, relativ geringen Schwankungen zu tun hat oder etwa mit einer neuerdings angefangenen Beschleunigung des allgemeinen Prozesses, eine sehr große Bedeutung. Für längere Zeit ist eine derartige Extrapolation daher unmöglich.

Man braucht aber unseres Erachtens bei Ausführung von Wasserbauten auch nicht zu versuchen, allzuweit in die Zukunft zu schauen. Wir können und dürfen nicht beanspruchen, Deiche zu bauen, welche in alle Ewigkeit ihrem Zweck entsprechen werden. Man kann ja auch der Nachwelt etwas überlassen, die, das darf man doch erwarten, beträchtlich mehr Kenntnis und viel bessere technische Mittel zur Verfügung haben wird als wir. Wir meinen deshalb, nicht weiter gehen zu müssen, als einen Zuschlag zu nehmen, der für einen Zeitraum von hundert Jahren genügt. Es erscheint uns nicht unzulässig optimistisch, diesen Zuschlag auf zwei Dezimeter zu bemessen. Wir können dabei auch bedenken, daß eine Ungewißheit um mindestens dieselbe Größenordnung in der Bestimmung der Deichkronenhöhe aus anderen Gründen besteht. Wenn wir dann der Nachwelt, unseren Söhnen und Enkeln, die Aufgabe überlassen, in diese Frage mehr Licht zu bringen, als wir es zu tun vermögen, dann müssen wir aber die

Pflicht übernehmen, ihnen dazu so gut wie möglich die Gelegenheit zu schaffen. Nur so können wir ihren Dank verdienen, wenn auch erfahrungsgemäß Söhne den Vätern selten dankbar sind.

Das Beobachtungsmaterial, das wir jetzt in der Form von an Pegeln abgelesenen Wasserständen besitzen, ist nicht besonders befriedigend. Nicht nur ist eine zu kurze Periode betrachtet, sondern es sind die Werte auch mit allerhand Ungewißheiten behaftet, welche die Deutung erschweren. Das kann sicher verbessert werden, und die Gedanken, die wir heute ausarbeiten mit der Absicht, in dieser Beziehung für die Zukunft eine zuverlässigere Basis zu schaffen, wird Kollege WEMELSFELDER auseinandersetzen.

Meereshöhe, Nivellementshöhe, Pegelnull*)

Von Pieter Jacobus Wemelsfelder

Inhalt

I. Einleitung	89
II. Fünf Nullpunktsysteme für Pegel	90
1. System I: Das Mittelwasser des Meeres, A_0	90
2. System II: Örtliches Pegelnull, P_0	91
3. System III: Alle Pegel auf Landeshorizont, N_0	91
4. System IV: Das Doppelnul-System, D_0	92
5. System V: Pegelnull als Ausgangspunkt für das Haupthöhennetz, W_0	93
III. Ergebnisse von hundert Jahren mit dem N_0 -System	95
IV. Das fünfte System, Pegelnull auch Nivellementsnull	99
V. Das W_0 -System nach geodätischen Gesichtspunkten	100
VI. Einige konstruktive Einzelheiten der Nullpfähle	103
VII. Die günstigste Stelle für den Nullpfahl	104
VIII. Unveränderlichkeit der Meßanlage	104
IX. Schluß und Zusammenfassung	106
X. Schriftenverzeichnis	107

I. Einleitung

Pegel sind gewiß älter als das Nivellieren. Man brachte die entlang von Kanälen und in Seen aufgestellten Pegel auf eine gemeinsame Höhe, die Horizontalebene, und zwar bei Stillwasser. Daher das Wort „waterpassen“ (= nivellieren). Oft geschah dies während einer Periode von Festeis, wodurch Windeinflüsse und Schwingungen fast auf Null reduziert wurden. Ausgangspunkt des „Netzes“ war damals also eine Pegelstelle.

Das muß ursprünglich in vielen Häfen, Tideflüssen und Binnengewässern der Fall gewesen sein. Die örtlichen Hauptpegel sind mithin lange Zeit Mittelpunkt für die unmittelbar nach diesen Pegeln orientierte Umgebung gewesen. Jede (Haupt-)Pegelstelle war also natürlicher Festpunkt für die eigene Umgebung.

Das Feinnivellement hat sich vom ursprünglichen „Nivellieren“ gelöst, nicht nur als Methode (die neueren Methoden des Feinnivellements sind gewiß dem „Nivellieren über das Eis“ überlegen), sondern auch hinsichtlich der Art und Weise von Höhenangaben. Und es ist gerade die Höhenangabe, die sich bis jetzt nicht mit der Art und Weise von Höhenangaben von Meereswasserständen mittels Pegelbeobachtungen in Einklang bringen läßt; daher die Aufsätze von PETERSEN (1958), LOHRBERG (1958), HAHN (1958), LANGE (1958) und GRONWALD (1959).

Meiner Meinung nach ist diese äußerst wichtige Diskussion noch durch eine nicht ausgesprochene Voraussetzung beeinflusst worden, daß sich nämlich die Differenzen zwischen Landeshorizont (NN) und Ortshorizont auf Millimeter oder nach längerer Zeit auf wenige Zentimeter beschränken würden.

Diese Voraussetzung nimmt dem Problem ein wenig an Schärfe. Ich bin aber der Meinung, daß diese Vereinfachung für die Verhältnisse in den Niederlanden auch gar nicht zutrifft. Deshalb möchte ich einen Beitrag zur Diskussion liefern.

*) Nach einem Vortrag am 15. 10. 1959 in Bremen auf der 3. Arbeitstagung des Küstenausschusses Nord- und Ostsee.

Es gibt auch noch einen zweiten Grund, das Problem weiter zu durchdenken. Heutzutage ist man damit beschäftigt, die Küstenpegel Europas erstmalig mittels eines Anschlusses der Nivellementsnetze der betreffenden Staaten miteinander zu verbinden. Diese Arbeit im Rahmen der Union Géodésique et Géophysique Internationale (UGGI) ist grundlegend für ein Réseau Européen Unifié des Nivellements (REUN).

Wenn man die so verschiedenen Systeme, Ansichten und Erfahrungen der beteiligten Staaten auf dem Gebiete des Pegelwesens berücksichtigt, dann sieht man schon das Gespenst des Mißverstehens groß und drohend heranrücken. Auch, oder sogar besonders hinsichtlich weiterer internationaler Diskussionen erscheint mir eine mehr systematische Bearbeitung des Problems erwünscht.

II. Fünf Nullpunktsysteme für Pegel

Wenn wir den idealen Festpunkt, den Mittelpunkt der Erde, außer Betracht lassen, dann haben wir fünf Möglichkeiten, eine Referenzebene zu wählen, in bezug auf die wir Wasserstandshöhen ablesen, tabellenmäßig festlegen und auf das Gelände oder in größerem Rahmen aufeinander beziehen können. Es sind

- I das Mittelwasser des Meeres, A_0 ;
- II der Nullpunkt des örtlichen Pegels, P_0 , nicht abgestimmt auf das Null des Nachbarpegels;
- III der Landeshorizont, N_0 , einheitlich gültig für alle Pegel; örtliche Festpunkte bleiben unberücksichtigt;
- IV das Doppelnull-System, D_0 , bei dem, wie nach der Deutschen Pegelvorschrift, sowohl Pegelnull (PN) als auch Landeshorizont (NN) örtlich maßgebend sind, aber getrennt bleiben;
- V das System W_0 , bei dem das Pegelnull örtlich auf einen einheitlichen Pegelhorizont festgelegt wird, wobei der Landeshorizont von den Pegelfestpunkten abgeleitet wird.

Die Vor- und Nachteile der einzelnen Systeme werden im folgenden kurz erwähnt und teilweise näher erläutert werden.

1. System I: Das Mittelwasser des Meeres, A_0

Vorteile

- V_1 Das Mittelwasser des Meeres ist ein besonders einfacher und damit einladender Begriff, für jedermann ohne weiteres verständlich.
- V_2 Das System könnte für die ganze Welt einheitlich sein.

Nachteile

- N_1 Wegen der vielen astronomischen und meteorologischen Variationen erfordert seine Anwendung schon mindestens einen Beobachtungszeitraum von zwanzig Jahren.
- N_2 Infolge positiven Niveauanstieges durch Abschmelzen des Welteises würde diese Referenzhöhe immer steigen. Die „genaue“ Höhe des mittleren Meeresspiegels ist also gerade als Horizont für das Binnenland, kurzum für alle Höhenvermessungen auf dem Lande, wertlos.
- N_3 Eine „genaue“ Bestimmung des mittleren Wasserspiegels ist technisch und wissenschaftlich wegen der folgenden Faktoren unmöglich:
 - a) Zeitlich und räumlich wechselnde Dichte des Wassers. (Sogar im Pegelschacht mißt der Schwimmer nicht die Höhe des Wasserspiegels des Außenwassers, sondern den Druck in Höhe des Eintrittsrohres.)
 - b) Wechselnde Temperaturen, die eine wechselnde Dichte desselben Wassers zur Folge haben.
 - c) Ständig wechselnder Windstau, der in den Jahresmitteln und noch bei langjährigen Mittelwerten Unterschiede von mehreren Dezimetern ergeben kann.

- d) Wechselndes Gefälle der großen Meeresströmungen.
- e) Wechselnde Stärke der Corioliskraft.

Es ist wohl ohne weiteres klar, daß von einer Reduktion auf „Normalwerte“ natürlich nie die Rede sein kann.

Als eine rohe Höhenangabe eignet sich also das Meeresniveau außerordentlich gut. Aber als genaue und wissenschaftlich festgelegte Referenzhöhe ist es wertlos und nicht faßbar.

2. System II: Örtliches Pegelnull, P_0

Gemeint ist ein Pegelnull auf willkürlicher Höhe, wie es an vielen Küsten in der Welt gefunden wird.

Vorteile

- V_1 Die Nullpunkthöhe kann eine sinngemäße örtliche Bedeutung haben.
- V_2 Die Höhe kann örtlich gesichert sein und für unbeschränkte Zeit bleiben. Man braucht keine Rücksicht auf entfernte Pegel oder auf eustatische oder isostatische Niveauänderungen zu nehmen.
- V_3 Örtliche Interessen, verknüpft mit einem traditionellen örtlichen Null, bleiben durch Jahrzehnte hindurch unangegriffen.
- V_4 Die Beobachtungsreihen sind außerordentlich wertvoll hinsichtlich der Bodensenkungsforschung und des relativen Ansteigens des Meeres (VAN VEEN 1957).

Nachteile

- N_1 Für viele Forschungen und Arbeiten ist die Ungleichheit der Nullpunkthöhen der Küstenpegel außerordentlich unbequem.

3. System III: Alle Pegel auf Landeshorizont, N_0

Alle Pegel werden nicht nur einmalig, sondern ständig auf den Landeshorizont gebracht und gehalten (von 1812 bis heute auslaufend das Niederländische System).

Vorteile

- V_1 Einheitlicher Pegelhorizont.
- V_2 Zentralkontrolle beseitigt laufend Höhenfehler.
- V_3 Keine Sorge um ausreichende Erhaltung und Handhabung eines örtlichen Pegelnullfestpunkts.
- V_4 Das Ansteigen des Meeres, relativ zum Normalhöhenpunkt (bei uns Amsterdam), wird aus allen Wasserstandsganglinien gefunden.

Nachteile

- N_1 Die Wahl des Staatlichen Normalhöhenpunktes, wie sorgfältig und sachverständig auch errichtet, bleibt ein Element der Willkür und des Zufalls, sei es auch nur durch den Verlauf der Staatsgrenze.
- N_2 Die Entfernungen bis zu den Pegeln betragen teilweise mehr als 100 km. Der Übertragung über solche Strecken haften Ungenauigkeiten an, die leider nicht zu vernachlässigen sind. Pegelnull ist deshalb weniger genau, als es scheint.
- N_3 Das Nachstellen der Pegel um Höhendifferenzen, die zum Teil auf Meßfehler bei den Nivellements herrühren, ist außerordentlich fragwürdig, aber nicht zu vermeiden.
- N_4 Der Landeshorizont wird nur einmal in zwanzig oder dreißig Jahren mittels Nivellements von hoher Genauigkeit zum Pegel gebracht. Erfahrungsgemäß muß man damit rechnen, daß sich in diesem Zeitraum zentimetergroße örtliche Abweichungen von N_0 entwickeln, die erst nach vielen Jahren ans Licht kommen (s. III, Punkt 8).

- N_5 Wenn ein neues Feinnivellement dem Pegel eine neue Höhenlage vorschreibt, ist es oft so, daß der Pegel seine Höhenlage, örtlich betrachtet und relativ zu den örtlichen Wasserbauwerken, offensichtlich nicht geändert hat. Unter solchen Umständen ruft eine Änderung des Pegelnulls ein falsches Bild hervor. Das ist — wenigstens für die Praxis, wahrscheinlich auch für den Forscher — verwirrend.
- N_6 Man kann einmalig Wasserstandsbeobachtungen in eine neue Höhe umrechnen (AP in NAP und PN in NN). Wenn aber eine spätere Feinnivellierung wieder eine andere Höhe ergibt, ist es unmöglich, alle früheren Wasserstandshöhen wieder umzurechnen. Man hat ja folgendes zu überlegen:

Das Umrechnen auf den neuen Horizont erfordert unbedingt das Verwenden eines neuen Namens (wenn man das nicht täte, könnte niemand wissen, ob ein Wasserstand dem alten oder dem neuen Horizont angehört). Es ist aber völlig verfehlt, einen neuen Namen zu benutzen für etwas, das schon allgemein bekannt und millionenfach benutzt wird, nur deshalb, weil man beim Neueinmessen etwas andere Werte gefunden hat, die in vielen Fällen nur sehr örtlich bis zu wenigen Zentimetern, zum großen Teil nur um Millimeter von den alten abweichen. Wenn aber das große technische Publikum den alten Namen weiterhin benutzt (und das wird in hundert Jahren noch der Fall sein. Drückt der Zimmermann von 1960 nicht noch immer seine 10 mm in Zoll aus?), dann hat man nichts erreicht als eine endlose Verwirrung.

Gemäß N_5 müssen wir die Pegel nachstellen; alte Werte zu korrigieren, ist gemäß N_6 ausgeschlossen. Alle Bodensenkungsforschung, von arglosen Menschen außerhalb des Staatlichen Pegelüberwachungsdienstes betrieben, wird damit zu einem zum Mißlingen vorherbestimmten und irreführenden Spiel. (Die Arbeit von SAARLOOS 1951 ist u. a. an dieser Klippe gescheitert. Siehe auch unter Abschnitt III.)

Wer aber alle Pegelakten, die genauen Ergebnisse der Nivellements, die Protokolle über das Nachstellen der Pegel usw. zur Verfügung hat, der weiß nun um so mehr nicht, was er damit anfangen soll. Insbesondere wird er durch N_2 , N_3 und N_4 in ernsthafte Unsicherheit gebracht.

Wie schon gesagt, ist dieses N_0 -System in den Niederlanden seit 1812 zur Anwendung gekommen. Wenn man die Vorteile V_1 und V_2 in den Vordergrund rückt und das völlige Fehlen jeder Kenntnis von Bodensenkungen und Meeresanstieg in der Mitte des neunzehnten Jahrhunderts mit ins Auge faßt, kann man es gewiß den damaligen Wasserbauern nicht übel vermerken, daß nach Verlauf von 150 Jahren auch Nachteile dieses N_0 -Systems ans Licht gekommen sind.

4. System IV: Das Doppelnull-System, D_0

In diesem System sind die Pegel örtlich mittels Röhrfestpunkten durch Sollhöhenunterschiede festgelegt. Diese Sollhöhen sind einmalig auf einen einheitlichen Horizont gebracht worden. In Deutschland war das im Jahre 1935 NN — 5,00 m. Ich möchte in meiner weiteren Darlegung diese 5 m-Differenz gern fortlassen und der Einfachheit halber die Schreibweise benutzen: im Jahre 1935 war, erstmalig und auch letztmalig, PN = NN.

Unabhängig von diesem örtlichen im Jahre 1935 festgelegten PN gibt es den Landeshorizont NN. Diese NN-Werte sind im Haupthöhennetz festgelegt und werden mittels Feinnivellements über das ganze Land verbreitet. Diese Höhen kommen auch an die Pegelstellen. Sie bleiben aber gut gesondert. Nach etwas längerer Zeit können sich zwischen NN und PN Differenzen entwickeln. (Wäre das nicht der Fall, dann gäbe es überhaupt kein Bedürfnis für Wiederholungsnivellements.) Diese Differenzen werden nie Anlaß geben, die Sollhöhe auf das neue NN zu bringen.

(Der Vorschlag von PETERSEN [1958] „der einheitliche Bezugshorizont kann nur erreicht werden, wenn die einmalig gewählte Beziehung ständig zu NN beibehalten wird“, lenkt von der Deutschen Pegelvorschrift hinüber zu System III.)

Man hat in diesem System also zwei Horizonte: PN, örtlich festgelegt, gültig für alle Wasserstände und den Nationalhorizont NN, der irgendwo im Lande festgelegt ist und für die Landesvermessung gilt. Daher unsere Bezeichnung dieses Systems IV als ein „Doppelnull“-System, D₀.

Vorteile

- | | |
|--|--------------------------|
| V ₁ Einheitlicher Pegelhorizont | (= III V ₁). |
| V ₂ Höhe örtlich gesichert usw. | (= II V ₂). |
| V ₃ Örtliche Interessen geschont | (= II V ₃). |
| V ₄ Für Bodensenkungsforschungen recht gut geeignet | (= II V ₄). |

Nachteile

- N₁ Örtlicher Pegelhorizont und Landeshorizont sind nicht auf Zentimeter genau identisch. Unter Umständen — vielleicht in weiterer Zukunft — hat man mit Dezimeterdifferenzen zu rechnen. Man hat sich jedenfalls für zentimetergenaue Forschungen diese Differenz fortwährend klar vor Augen zu halten. Für die Praxis bedeutet das:
- N₂ für ozeanographische Forschungen werden dann und wann kleine Umrechnungen durch Kopfrechnung durchzuführen sein;
- N₃ für wichtige Wasserbauarbeiten wie Brücken, Schleusen, Deichkronen usw. muß man eigentlich mit zwei Horizonten rechnen: mit Pegelnul für alles, was die Wasserhöhen anbetrifft, und mit Landeshorizont für alles, was mit der Landesaufnahme und der Bautechnik zu tun hat;
- N₄ für die schon zentimetergroßen Unterschiede, mit denen man z. B. für die niederländischen Verhältnisse zu rechnen hat, wäre es schwer hinzunehmen, wenn nach der öffentlichen Meinung die Pegel nie und nirgends genügend genau auf NAP stehen würden. Man kann sicher sein, daß jeder Zuständige alle Wasserhöhen, die ihm zur Kenntnis kommen, sofort in die „gute“ Höhe umrechnen wird.

5. System V: Pegelnul als Ausgangspunkt für das Haupthöhennetz, W₀

Es ist das Hauptziel dieser Darlegung, ein fünftes System vorzuführen. Dafür können wir die jetzt folgenden Abschnitte nicht entbehren. Ich halte es aber für besser, schon vorgehend die Kennzeichen dieses Systems in der Reihenfolge der fünf Systeme hier aufzuführen.

Dieses letzte System, das wir für eine bessere Lösung halten als das dritte oder vierte, ist folgendes:

Das Pegelnul wird örtlich durch Festpunkte gesichert. Der einheitliche Pegelhorizont wird einmalig durch Feinnivellement hergestellt. Die Pegelfestpunkte werden zu Normalhöhenpunkten des Haupthöhennetzes. Der Landeshorizont ist nicht mehr eine „Sollebene“, die einer theoretischen Äquipotentialebene immer aufs neue möglichst ähnlich zu sein sucht, sondern eine technische Ebene, die durch die Nullpunkthöhen der Pegel geht, ungeachtet, ob diese millimetergenau eine Äquipotentialebene miteinander bilden oder nicht.

Wir benutzen das Symbol W₀ als ein Zeichen dafür, daß in diesem System dem Wasser wieder seine ursprüngliche Hauptrolle zufällt.

Vorteile

- | | |
|--|--|
| V ₁ Einheitlicher Pegelhorizont | (= III V ₁ und IV V ₁). |
| V ₂ Höhe örtlich gesichert usw. | (= II V ₂ und IV V ₂). |
| V ₃ Örtliche Interessen geschont | (= II V ₃ und IV V ₃). |
| V ₄ Für Bodensenkungsforschungen recht gut geeignet | (= II V ₄ und IV V ₄). |
| V ₅ Pegelnul, Ortshorizont und Landeshorizont sind und bleiben für immer identisch. Einfach, für jedermann verständlich, nie Korrekturen, nie Änderungen. | |

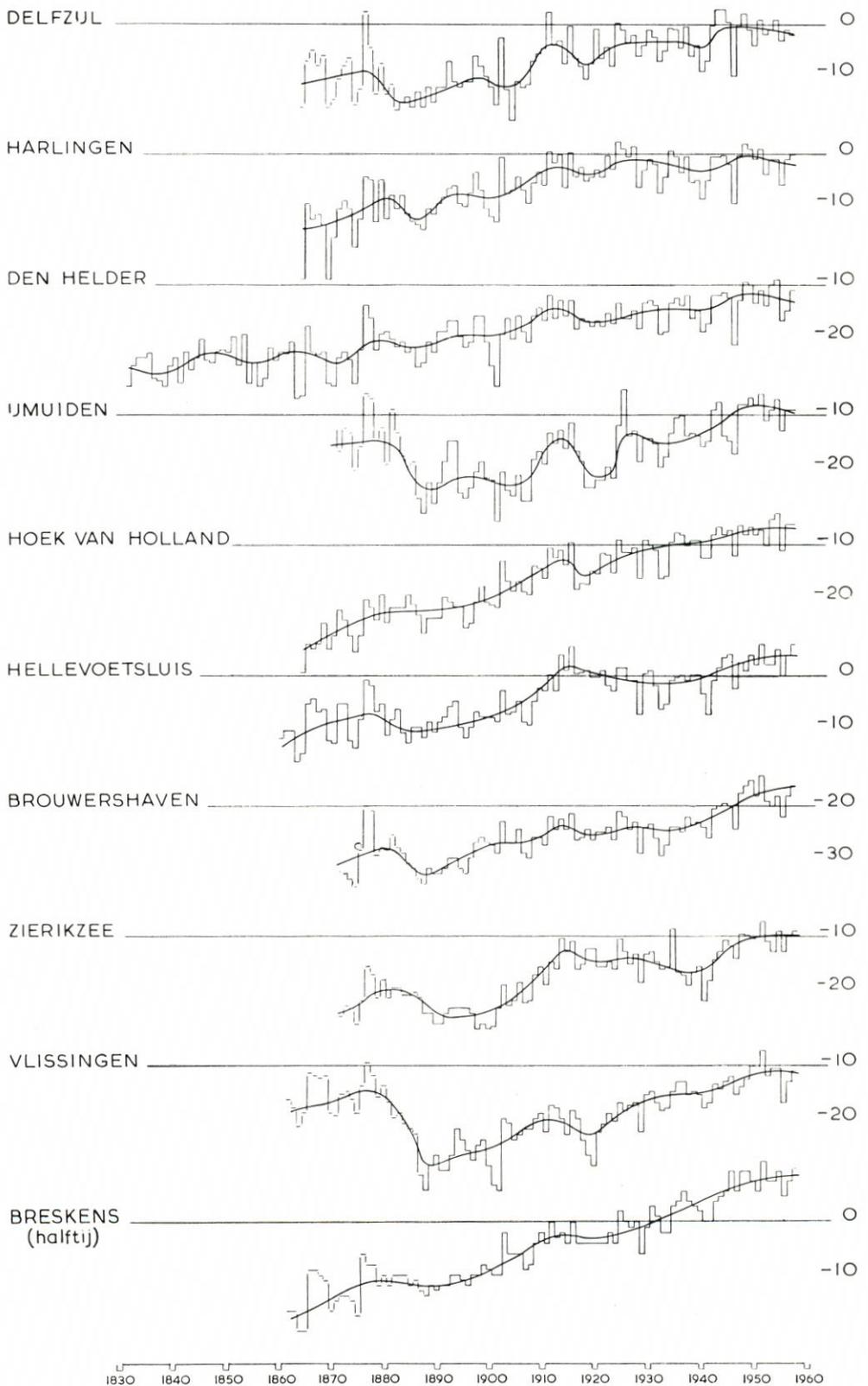


Abb. 1. Jahresmittel des Mittelwassers, berechnet aus acht aequidistanten Stunden je Tag in einem Zeitraum von 90 bis 125 Jahren an zehn Küstenpegeln

Nachteile

- N_1 Für ozeanographische Forschungen müssen dann und wann kleine Umrechnungen durch Kopfrechnung gemacht werden (= IV N_2).
- N_2 Für genaue Angaben von Höhendifferenzen zwischen den Pegelnullpunkten sind ergänzende Feinnivellements notwendig. (Dieser Nachteil ist IV N_1 ähnlich. Die Nachteile IV N_3 und IV N_4 fallen hier aus!)

III. Ergebnisse von hundert Jahren mit dem N_0 -System

Aus dem Buch „Rivierkundige Verhandeling“ von CORNELIUS VELSEN (1749) geht hervor, daß man schon damals Gefällslinien für die Flüsse und Gezeitenströme mit dem Amsterdamer Null als Landeshorizont zeichnete. Das oben genannte dritte System N_0 war also damals in den Niederlanden schon geläufig. Wenigstens seit 1813 ist es das offizielle System. Im Jahre 1936 ist es zentralisiert und normalisiert worden; jedes Halbjahr werden die Schreibpegel den Lattenpegeln gleichgestellt, jedes zweite Jahr werden die Lattenpegel geprüft und alle dreißig Jahre werden die örtlichen Marken mittels eines Nivellements von hoher Genauigkeit an den Normalhöhenpunkt „Amsterdam“ neu angeschlossen.

Im großen und ganzen stehen die Pegel also immer auf dem Landeshorizont N_0 . Sehen wir jetzt, was die Wasserstandsbeobachtungen in diesem System uns zu sagen haben.

In Abbildung 1 werden für zehn Küstenpegel die Trendkurven des Mittelwassers gegeben (für Breskens Halbtide). Absichtlich sind durch diese Jahreswerte nicht gerade Trendlinien gezeichnet, sondern sich schlängelnd anpassende Linien. Jede Linie ist ohne Rücksicht auf den Verlauf der Nachbarpegel gezeichnet worden.

Es ergibt sich nun folgendes:

1. Alle Pegel zeigen unverkennbar ein Ansteigen des Meeres. In dem siebenzigjährigen Zeitraum von 1889 bis 1958 ist der errechnete Mittelwert 20 cm je Jahrhundert.

Das Ansteigen ist nach dem Prinzip des Systems III ein Ansteigen des Meeres relativ zum Normalhöhenfestpunkt Amsterdam. Die Pegel selber und ihre Umgebung bleiben völlig außer Betracht¹⁾.

2. Das Ansteigen der drei nördlichen Pegel Den Helder, Harlingen und Delfzijl beträgt im Mittel 13 cm im Jahrhundert, das der sieben Pegel von Breskens bis einschließlich IJmuiden 23 cm im Jahrhundert. Diese Ungleichheit rührt jedenfalls nicht von einer örtlichen Ungleichheit der Bodensenkung zwischen Nord und Süd her. Die Wasserstandsbeobachtungen sind ja alle auf NAP bezogen, das ständig die Höhe des Haupthöhenpunktes Amsterdam bleibt. Die jedenfalls bezeichnende Ungleichheit zwischen Nord und Süd muß völlig dem Verhalten des Meeres zugeschrieben werden. Im Abschnitt II sind unter dem System I N_3 fünf Möglichkeiten erwähnt, die Anlaß zu einem relativ stärkeren Ansteigen des Meeres im Süden als im Norden geben können.

Natürlich ist auch noch immer die Möglichkeit vorhanden, daß das Meer in Nord und Süd gleich viel gestiegen ist und daß man ein scheinbares Ansteigen im Süden von 23 cm gegenüber nur 13 cm im Norden als eine Folge der Ungenauigkeiten des Feinnivellements zu verstehen hat.

Es ist klar, daß man in bezug auf das erörterte Problem mit einer Anwendung des

¹⁾ Was SAARLOOS (1951) berichtet, ist leider grundsätzlich falsch. Er hat versucht, Reste des Systems II wiederzufinden oder sogar hineinzukonstruieren in das Arbeitsgebiet des Systems III. Dieser Aufsatz ist deshalb verführerisch und verwirrend und hat mit dem Netz der Niederländischen Hauptpegel so gut wie nichts zu tun.

Systems IV oder V grundsätzlich nicht weiterkommt. Eher würde man gerade dann zu dem Trugschluß kommen, die Ungleichheit wäre eine Folge ungleicher Bodensenkung.

Es ist nicht meine Absicht, diese Einzelheit hier weiter zu untersuchen. Es genügt hervorzuheben, daß es überhaupt solche Probleme gibt.

3. Die meisten Abweichungen der Jahresmitte von der Trendlinie müssen offensichtlich den meteorologischen Einflüssen zugeschrieben werden. Ich glaube, man hätte mehr Kongruenz zwischen Nachbarpegeln erwarten können. Die Inkongruenz ist sicher ein Zeichen dafür, daß noch manche störenden Einflüsse vorhanden sind, die sich im Jahresmittel noch zu Zentimetergröße auswirken.

4. Die Trendlinien zeigen allerhand Schwingungen. Merkwürdigerweise sind sie sehr verschieden und sogar Nachbarpegel zeigen keine Kongruenz. Als mögliche Ursachen für solche „Schwingungen“ können genannt werden:

- a) Unstetigkeiten im Anstieg;
- b) örtliche Bodenbewegungen zwischen zwei Hauptnivelements;
- c) langfristige astronomische Komponenten;
- d) langfristige meteorologische Einflüsse;
- e) örtliche Zahlenwerte der in Abschnitt II unter System I N₃ genannten fünf Einflüsse;
- f) ungleichzeitige Verstellungen des Schreibpegels, des Lattenpegels und der Kontrollmarken;
- g) Neuanschlüsse bis zu weiter entfernten Höhenpunkten.

Vielleicht gibt es noch mehr Ursachen. Aus diesen sieben geht aber schon klar hervor, daß man überhaupt kein gleichförmiges Ansteigen erwarten darf. Der Charakter der gezeichneten „Schwingungen“ ist bestimmt am besten damit beschrieben, daß sie auf schöne und elegante Weise dem Zufall eine Gestalt geben.

5. Ungefähr zwischen 1875 und 1885 zeigen zwei Pegel (Breskens und Hoek van Holland) kein oder fast kein Fallen der Wasserstände. Sechs Pegel zeigen ein Fallen in der Größenordnung von 5 cm, und zwei (Vlissingen und IJmuiden) zeigen einen unwahrscheinlich großen Abfall. Ob und wie das eine Folge des in diesen Jahren durchgeführten Nivellements hoher Genauigkeit sein könnte, ist bis jetzt nicht geklärt worden. Solche Erscheinungen machen uns etwas trübsinnig. Ganze Generationen sind eingehend damit beschäftigt gewesen, alles mit peinlicher Genauigkeit zu ordnen. Und dennoch passiert so etwas. Wir wissen sogar nicht, was denn eigentlich unrichtig ist: die ersten beiden Pegel, die sechs, oder die letzten zwei. Oder vielleicht ist auch alles gut und nur die Natur hat uns etwas Unerwartetes beschert.

6. Örtliche Verhältnisse am Pegelort können die Trendlinien beeinflussen. So ist im Jahre 1945 in IJmuiden eine neue große Entwässerungsschleuse in Betrieb genommen worden. Die Dichte des Wassers im Hafen wird sich deshalb geändert haben. Deswegen kann sich das Mittelwasser am Pegel geändert haben. Leider ist es nicht möglich, das auf andere Weise festzustellen, als gerade an Hand von Vergleichen mit anderen Küstenpegeln. Abbildung 1 zeigt, wie schwierig, ja fast unmöglich es ist, Einzelheiten wie diesen nachzuspüren.

7. Etwas ähnliches ist in Hoek van Holland der Fall. Der Pegel befindet sich 2 km oberhalb der Mündung des Wasserweges nach Rotterdam. Die Strömungsverhältnisse in der Mündung haben sich fortwährend beträchtlich geändert. Auch hier ist eine Rückwirkung auf die mittleren Wasserstände, sei es unmittelbar auf die Höhen, sei es mittels der Änderungen der Dichte, wahrscheinlich. Auch dieser örtliche Einfluß läßt sich schwer von allen anderen Bewegungen der Trendlinie trennen.

8. Es sei ergänzend noch erwähnt, daß in einem Zeitraum von zehn Jahren drei erstklassige Pegel erster Ordnung (nicht in Abb. 1 gezeigt), einschließlich ihrer zehn bis zwölf zugehörigen Marken, um 6 bis 10 cm gesunken sind. Drei in diesem Zeitraum ausgeführte Höhenprüfungen ließen keine Änderung erkennen, weil alle Marken in 10 bis 15 km Ent-

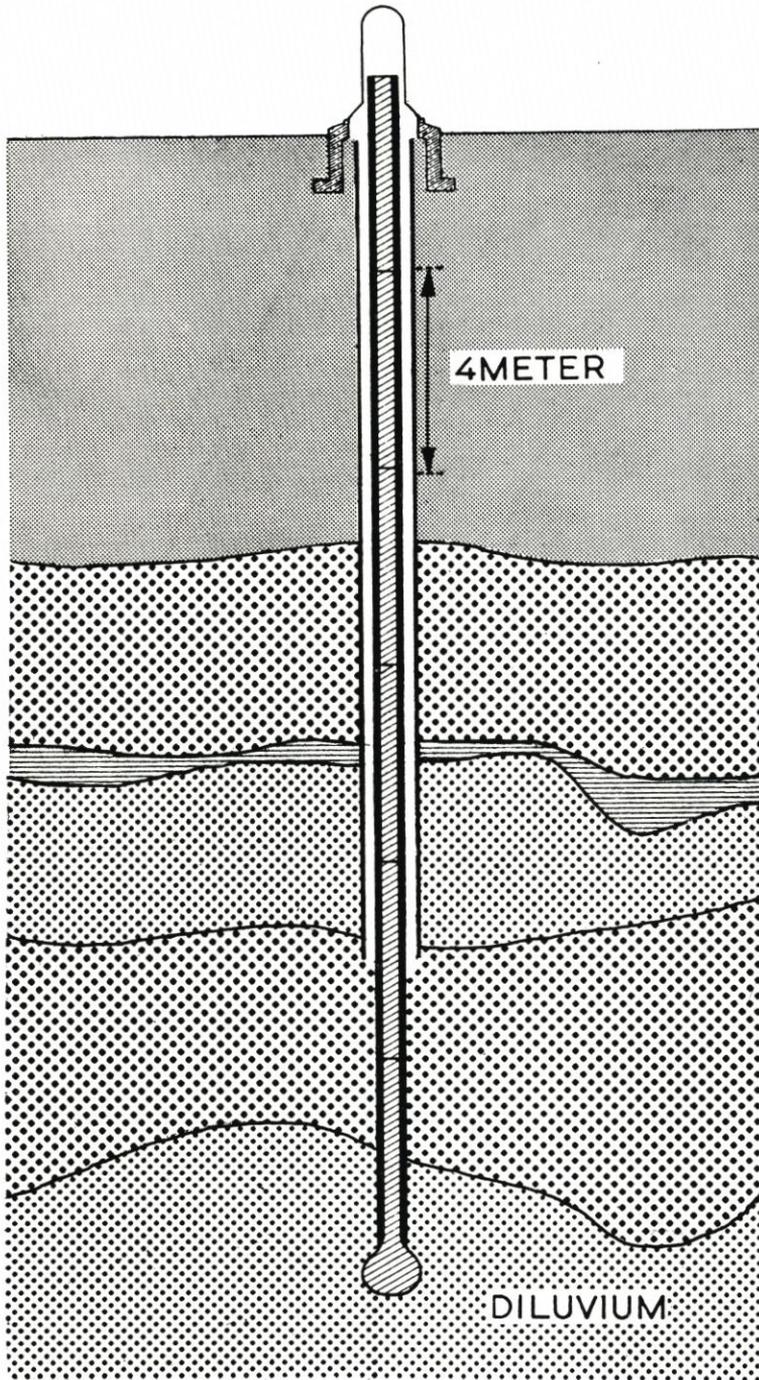
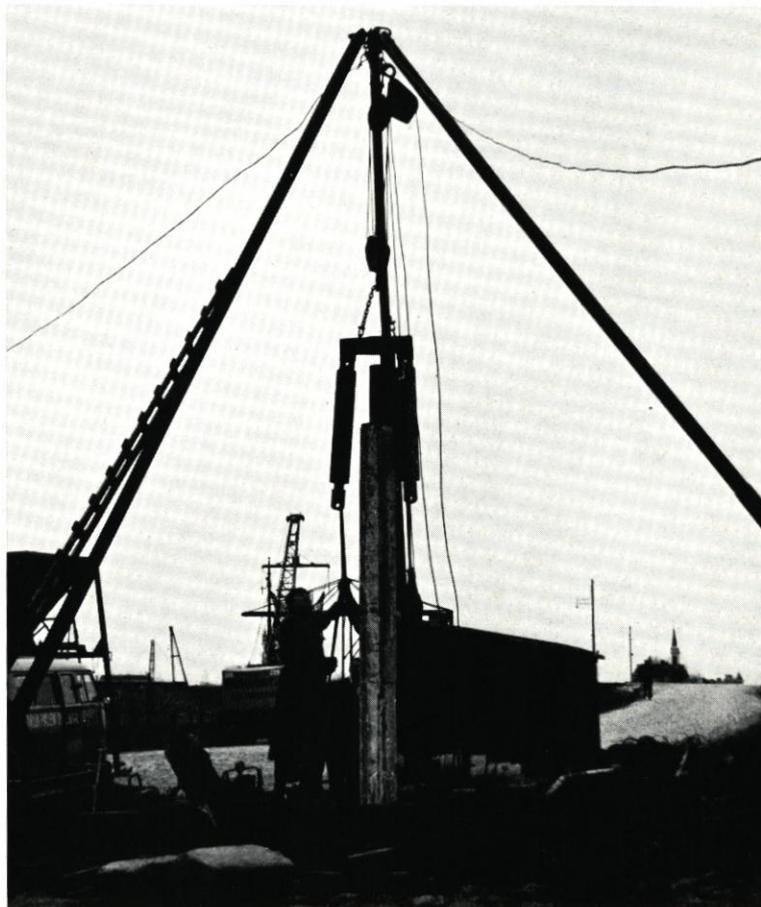


Abb. 2. Konstruktion eines Nullpfahles mit Schutzkappe

fernung dieselbe Senkung mitgemacht hatten. Schließlich war es die Bürokontrolle, die mittels Differenzen und Gefällslinien zwingend zeigte, daß etwas nicht stimmte. Ein alsdann ausgeführter Neuanschluß dieses Gebietes an das Haupthöhennetz ergab die genannte Senkung.

In zwanzig Jahren hat es drei solcher Fälle gegeben. Das hat den Glauben an die Möglichkeit, die Pegel und ihre Kontrollmarken über dreißig Jahre sich selbst überlassen zu können, etwas erschüttert.



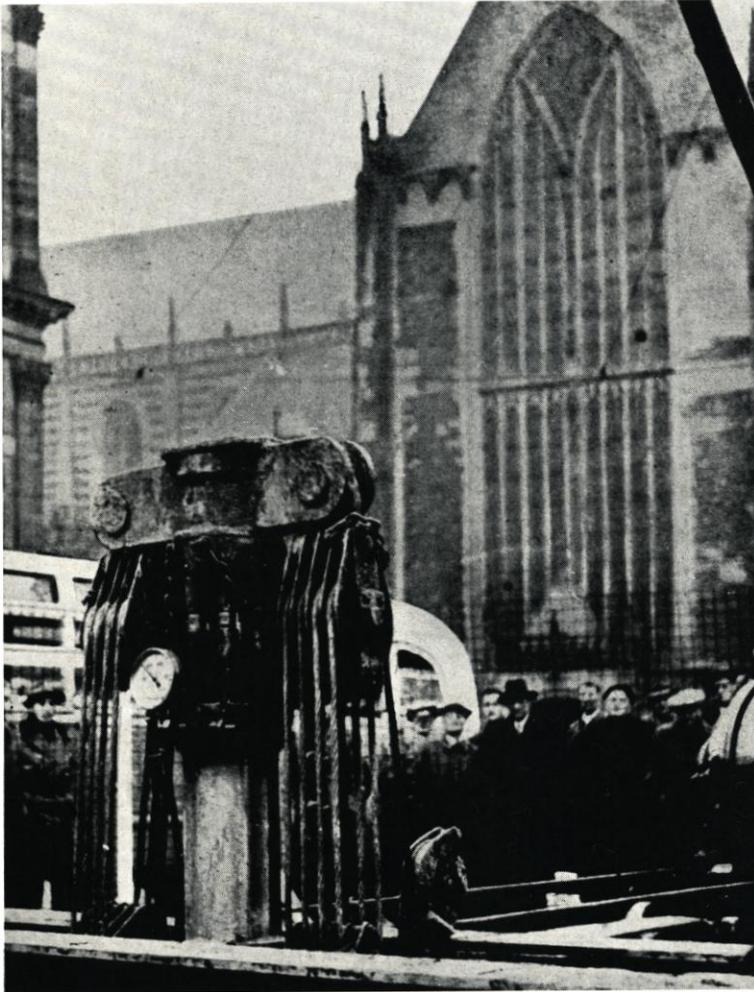
AUFN. E. WEERT 1957

Abb. 3. Nullpfahl in Amsterdam
Das Hineindrücken der vier Meter langen Teilstücke

Es ist klar, daß man mehreren der hier genannten Probleme ausreichend dadurch entgegenkommen kann, daß man den Pegeln ihre in Deutschland wohlbekannten Rohrfestpunkte gibt. Daß wir das bis jetzt bewußt nicht getan haben, rührt daher, daß wir Unterschiede zwischen Pegelnull und NAP bestimmt nicht hinnehmen können. Es gibt in den Niederlanden eine so unzählig große Menge von Objekten und Einrichtungen, die unmittelbar mit dem Wasser und den Wasserhöhen verbunden sind und zugleich auch peinlich genau in Beziehung zum Landeshorizont gebracht oder gehalten werden müssen, daß nie eine Differenz zwischen beiden hingegenommen werden kann. Auch sprechen wir nicht davon, ob es sich

nur um wenige Millimeter (wie man es in Deutschland hofft) oder mehrere Zentimeter handelt (was an unserer Küste schon der Fall ist), wir können nur eine sowohl theoretische als auch praktische Identität hinnehmen.

Wir kommen damit zu dem jetzt weiter zu entwickelnden fünften System.



Reproduktion

Abb. 4. Nullfahl in Amsterdam, 1953 (Betondruckpalen de Waal)

IV. Das fünfte System, Pegelnull auch Nivellementsnull

Fangen wir die Erörterung vom Gesichtspunkt des Pegelwesens her an. Hauptbedingung ist, daß die Pegel örtlich gesicherte Nullpunkte bekommen und daß nur diese örtlichen Festpunkte maßgebend sind. Mit Rücksicht auf das Haupthöhennetz denke man sich die Festpunkte von Haupthöhen-Qualität. Ich werde sie als Nullpfähle bezeichnen.

Die Nullpunkthöhe wird einmalig mit dem zu der Zeit geltenden NAP gleichgesetzt. Diese Höhe, sei es NAP selbst oder ein rundes Metermaß höher, wird in solcher Weise am

Nullpfahl festgelegt, daß es später eigentlich nicht möglich ist, die Höhe dieser Marke zu ändern. (Außer Betracht bleibt der Sonderfall von Fehlkonstruktionen oder Zerstörungen.) Der Nullpfahl wird Muttermarke für alle Höhenmarken im Umkreis von 5 oder 10 km. Diese weitere Umgebung werde ich als Nullprovinz bezeichnen. Ein wichtiger Erfolg eines solchen Zusammenhanges ist, daß die (guten) Marken der Nullprovinz eine automatische Kontrolle über den Nullpfahl ergeben. Es ist also nicht zwingend nötig, diese in duplo auszuführen.

Diese Anordnung sichert die Identität von Pegelnull und Landeshorizont oder, wie man auch sagen könnte, Ortshorizont, was am Schluß des vorigen Abschnittes ausdrücklich gefordert wurde.

Dieses System führt dazu, daß die ganze Küste mit einem Gürtel von Nullprovinzen versehen wird, die alle auf eigene Nullpfähle bezogen sind. Dasselbe trifft für die Tidengewässer und für die Pegel der großen Flüsse zu, was hier keiner weiteren Erörterung bedarf.

Im Laufe von Jahrzehnten können sich für jeden Nullpfahl Differenzen zu dem ursprünglichen NAP-Horizont entwickeln. Diese Differenzen sind als solche völlig uninteressant. Von besonderem Interesse sind dagegen die Anstiege der örtlich gemessenen Wasserstände im Verhältnis zum örtlichen Pegelnull und dem örtlichen Horizont. Und diese Werte werden unmittelbar, ohne Zwischenwert, gemessen und errechnet. Das Wort Amsterdam oder Wallenhorst kann dabei völlig vergessen werden.

Für ozeanographische Forschungen und die Küstenforschung spielen Höhenunterschiede oft eine Rolle; daher auch das dringende Bedürfnis nach einem einheitlichen Pegelhorizont. Bei unserer Lösung kann allerdings der ursprüngliche Horizont allmählich verlorengehen. Die Differenzen zum ursprünglichen Horizont sind auch nicht von Interesse, sondern nur die Differenzen von Differenzen. Es ist zu erwarten, daß diese Differenzen von Differenzen bei Nachbarpegeln immer fast gleich Null sein werden.

Das System W_0 ist also völlig zutreffend und genügt allen Anforderungen des Pegelwesens.

V. Das W_0 -System nach geodätischen Gesichtspunkten

Es ist gar nicht notwendig, daß wir uns jetzt auf das Fachgebiet unserer Kollegen wagen. Bleiben wir lieber noch ganz im eigenen Hause. Wie schon erwähnt, war der ursprüngliche Haupthöhenpunkt für den Nivellementschorizont von vielen Staaten ein Pegel, nämlich Amsterdam²⁾. Auch in Belgien und Frankreich ist das der Fall und wahrscheinlich in vielen anderen Ländern.

Die Geodäten haben fast kein Interesse für „Höhen“. Ihre ganze Arbeit und ihr Interesse haben Höhendifferenzen zum Ziel. Die Höhen an sich sind nur an der Küste von besonderer Bedeutung, d. h. im Arbeitsgebiet der Coastal Engineering, der Ozeanographen, von Häfen und Schifffahrt. Und das Mittel, um die Meereshöhen zu meistern, ist das Pegelwesen. Die Forderungen des Pegelwesens sind also primär.

Die Festpunkte sind für die Geodäten nur Hilfsmittel. Sie interessieren sich gar nicht für die Lage und die Höhe dieser Festpunkte, wenn sie nur fest sind, so fest, wie vernünftiger-

²⁾ Der Hafen Amsterdam war ehemals über das offene IJ, die offene Zuiderzee und das Waddenmeer mit der Nordsee verbunden. Im Jahre 1872 ist der Hafenkomplex Amsterdam von der Zuiderzee abgetrennt worden, und im Jahre 1932 wurde die Zuiderzee abgeschlossen. Pegelnull Amsterdam wurde schon vor 1749 als Landeshorizont benutzt, und das ist bis heute so geblieben, wenn auch der Pegel selbst seit 1872 aufgehoben ist.

weise gefordert werden kann. Auch das Pegelwesen erfordert Festpunkte, und zwar von wenigstens derselben Qualität. Hinzu kommt noch, daß das Pegelwesen seine Festpunkte unbedingt an Ort und Stelle haben muß.

So ist denn die Lösung klar: Als Normalhöhenpunkte des Haupthöhennetzes wählt man zuerst die Nullpfähle der Pegel. Und wo sich keine Pegel befinden, kann das Vermessungsamt die Höhenpunkte nach Bedarf ergänzen.

Was die Höhen anbetrifft, wird man sich eine neue Anschauung zu eigen zu machen haben. Bis jetzt war man der Meinung, der Landeshorizont sei theoretisch eine Äquipotentialebene, und jedes neue Nivellement hat die Aufgabe, für Zehntausende von Marken die genauen Höhen über NAP oder NN zu ermitteln.

Ich glaube, daß es tatsächlich nur einen Beteiligten gibt, der diese auf den Normalhorizont bezogenen Höhen wirklich benötigt. Das ist das Pegelwesen. Alle anderen Beteiligten sind völlig zufrieden, wenn nur die Höhenangaben „gut“ sind, d. h. meistens gut hinsichtlich einer sehr nahen Umgebung. Wenn also unser neues System W_0 den Bedürfnissen des Pegelwesens besser, ja völlig genügt, dann ist das für alle anderen Beteiligten um so mehr der Fall.

Die technische Auswirkung führt zu dem W_0 -System. Jeder Nullpfahl legt für immer die Normalhöhe NAP fest. Diese Höhe ist Bezugshöhe für alle Marken in der zum Nullpfahl gehörenden Nullprovinz. Eine etwaige Bodensenkung wird in ganz ähnlicher Weise das Pegelnull, den Nullpfahl, alle örtlichen Marken und alle örtlichen gewässerkundlichen und Wasserbauwerke beeinflussen. Allmählich entstehende Differenzen zur „ursprünglichen“ Normalhöhe haben an sich keine Bedeutung. Von außerordentlicher Bedeutung für das ganze Volk wird jedoch die allmähliche Erhöhung der Wasserstände sein. Diese wird unmittelbar und einwandfrei am Ortspegel gemessen.

Durch tektonische Bewegungen der Erdkruste werden allmählich Höhendifferenzen zwischen benachbarten Nullprovinzen entstehen können. Also auch hier hat man es mit Differenzen von Differenzen zu tun.

Für die Niederlande hat man an eine Möglichkeit von Höhendifferenzen von 10 cm auf 300 km zu denken. Für Nullprovinzen mit 10 km Seitenlänge gibt das an der Grenze Differenzen von 3 mm. Wie ich vernommen habe, bevorzugen es die Geodäten, kleine Sprünge zu vermeiden, was natürlich ohne weiteres möglich ist. Zwischen den Nullpfählen bleiben jedoch die Differenzen bestehen, da ja die Nullhöhen einmal für immer gesichert sind.

Es ist klar, daß sich für die genannten sehr kleinen Differenzen nur wenig Beteiligte interessieren werden. Solche Differenzen können indessen ohne weiteres zur Verfügung gestellt werden.

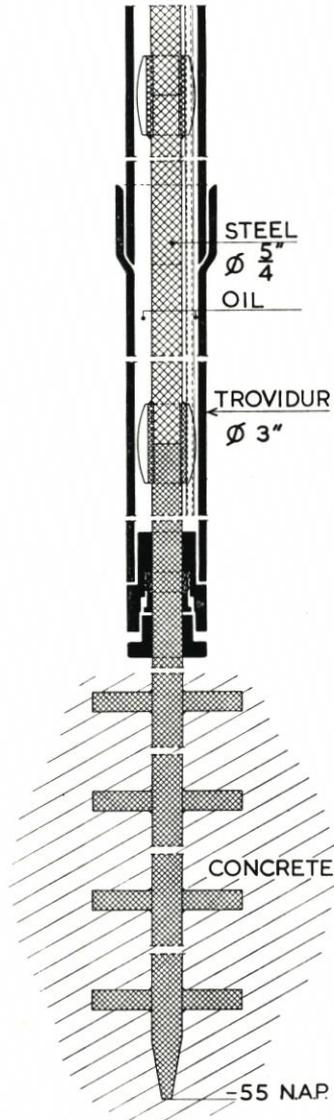
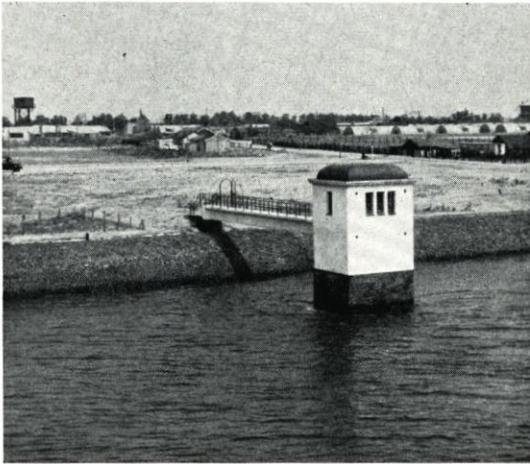


Abb. 5.
Konstruktion des Nullpfahles in
Rotterdam bis auf NAP
— 55 m Tiefe

Es mag nützlich sein, hier noch ausdrücklich darauf hinzuweisen, daß sich Höhen-differenzen zwischen den Nullpfählen entwickeln können, daß aber nie gesagt werden kann, ob der eine oder andere Nullpfahl falsch steht. Das kennen und anerkennen wir schon sehr



AUFN. WEMELSFELDER, 1957

Abb. 6. Pegelschreiberhäuschen Hoek van Holland



AUFN. KAPSENBERG, 1957

Abb. 7. Nullpfahl des Pegels Hoek van Holland mit Schutzkappe

wohl. Wie bekannt, ist NN ursprünglich ein grenzüberschreitendes NAP. Niemand hat die Absicht, je das NN aufs neue auf Amsterdam abzustimmen. Das NAP hat jetzt die Niederlande zur Nullprovinz, und das NN hat Deutschland zur Nullprovinz. An den Grenzen werden deshalb Differenzen gefunden, die als solche ohne weiteres hingenommen werden. Niemand wird daraus den Schluß ziehen: NN ist falsch oder NAP ist falsch.

Es gibt heutzutage nicht so etwas wie einen supranationalen Nivellements-horizont, der dekretieren könnte: das NN muß im Jahre 1965: 2,6 cm hoch, das NAP muß im Jahre 1967: 3,7 cm hin- unter. Das wäre einfach närrisch. Aus genau denselben Gründen kann es vertreten werden, jeder Nullprovinz ihren eigenen Ortshorizont zu geben.

Ebensowenig wie es offensichtlich ein Bedürfnis für einen supranationalen Horizont gibt, gibt es ein Bedürfnis für einen nationalen, d. h. supraprovinzialen Horizont. Für das Binnenland ist die Handhabung einmalig festgestellter Normalhöhen durch Nullpfähle für alle denkbaren Zwecke durchaus genügend. Für die Küste geht es grundsätzlich um örtlich festgelegtes Pegelnul und die kleinen Höhendifferenzen entlang der Küste. Auch für ozeanographische und Küstenforschungsfragen brauchen wir bestimmt keine irgendwo in der Luft schwebende Ebene oder Linie, die an einem Punkt irgendwo in der Welt stetig durch einen Stein gehend gedacht wird.

Wie hinlänglich bekannt, legen die Geodäten keinen großen Wert auf einen Horizont. Es ist für sie nur eine Hilfs-

größe, eine Art Parameter, und es ist ihnen ganz gleich, ob unsere Pegelnulpunkte auf einer Horizontalebene, auf einer Aequipotentialebene, auf einem Geoid, auf Meeresniveau oder ganz willkürlich liegen. Wir können deshalb auf den bis jetzt beibehaltenen Landeshorizont verzichten und mit dem Netz von Nullprovinzen weitergehen. Es ist ohne weiteres selbstverständlich, daß man für dieses Netz von Nullprovinzen die Bezeichnung NAP oder NN

beibehalten kann oder soll. Es gibt nichts anderes oder besseres, es bleibt der einzige Landeshorizont und ist die getreue Fortsetzung des NAP oder NN von heute. Man kann es ungefähr wie folgt umschreiben:

Landeshorizont ist das Mosaik von Ortshorizonten, die sich ursprünglich alle in einer Aequipotenzialebene befanden, welche wenig vom Meeresniveau abweicht, und die seitdem den örtlichen Bewegungen der Erdkruste überlassen sind.

Höhendifferenzen zwischen den örtlichen Nullhöhen sind in diesem W_0 -System normal und sollen gelegentlich vom Hauptnivellementsdiensnt neu bestimmt und zur Verfügung gestellt werden. Man kann leicht die Ergebnisse jedes neuen Nivellements in den Gewässerkundlichen Jahrbüchern veröffentlichen.

Dabei muß jede Möglichkeit, Pegelnullhöhen als „falsch“ zu bestimmen und korrigieren zu wollen, von vornherein ausgeschlossen werden. Alle Nullpfähle sind gleichwertig, und es darf nie aufs neue eine Hegemonie entstehen, ein Superhorizont, der dem oben definierten NAP überlegen sein würde.

Wir müssen dann folgende Schreibart anwenden:

$$\text{NAP}_{\text{Rotterdam}} - \text{NAP}_{\text{Vlaardingen}} = + 3,6 \text{ mm (1960)}$$

Aus der Beifügung 1960 geht hervor, daß diese 3,6 mm-Differenz das Ergebnis eines Feinivellements des Jahres 1960 ist.

Man sollte sich darauf beschränken, diese Differenzen nur für Nachbarpegel zu errechnen und zu veröffentlichen.

Es ist leicht einzusehen, daß sich dieses fünfte System gut dazu eignet, neue Komplexe von Küstenpegeln auf ähnliche Weise anzuschließen.

Von besonderer Bedeutung ist es, daß die Einführung des Systems W_0 allmählich, ja sogar mit ganz willkürlichem Tempo, stattfinden kann. Es braucht nicht plötzlich oder vollständig eingeführt zu werden.

VI. Einige konstruktive Einzelheiten der Nullpfähle

Die Pfähle müssen durch alle alluvialen Schichten hindurch bis ins Diluvium gehen. Einspülen ist bestimmt unzulässig, einrammen unnötig teuer. Es wurde deshalb das System „De Waal“ gewählt: Betonrohre werden eingebracht und der Boden analysiert, bis das Diluvium erreicht ist. Das Rohr wird mit Beton ausgefüllt, mit einer Verdickung am Pfahlfuß. Meistens wird das Diluvium zwischen NAP — 12 m und — 20 m erreicht (Abb. 2).

Ein Mantelrohr wird angebracht, nicht um eine Belastungserhöhung durch Reibung zu verhüten, sondern um einer Aufwärtsbewegung durch Grundwasseranstieg, Frost u. a. vorzubeugen.

Abbildung 3 zeigt das Hineindrücken von den 4 m langen Teilstücken. Abbildung 4 zeigt das Herstellen eines Haupthöhenpunktes, der nicht zugleich Pegelnull ist und nur geodätischen Zwecken dient.

In Rotterdam wurde das Diluvium erst auf NAP — 55 m angetroffen. Der Nullpfahl besteht hier aus einem stählernen Kern von $\frac{5}{4}$ " Durchmesser, am Fuß mittels angelaschter Flanschen von einem Betonpfropfen eingefaßt. Der stählerne Kern ist von einem Trovidurrohr mit 3" Durchmesser geschützt (Abb. 5).

Zwischen Trovidurrohr und stählernen Kern ist Erdöl gegossen, um eine Ansammlung von Sand oder Grundwasser zu verhüten.

Die Abbildungen 6 und 7 zeigen den Pegel Hoek van Holland und den außerhalb des Häuschens angebrachten Nullpfahl, der bis NAP — 24 m reicht, Gesamtlänge 30 m.

VII. Die günstigste Stelle für den Nullpfahl

Wie bekannt, kann die Höhenlage des Ufergeländes einer kleinen periodischen Tidewirkung unterworfen sein. Die alluvialen Schichten haben, weil der Nullpfahl jedenfalls bis ins feste Diluvium geht, in dieser Hinsicht keine Bedeutung.

In den höheren diluvialen Schichten ist es die Grundwasserspannung, die im Tiderhythmus kleine Höhenänderungen hervorrufen kann. Durch Tieffundierung der Nullpfähle wird auch dieser Einfluß beseitigt.

Weiter übt auf die ganze Erdkruste die wechselnde Masse des Meeres eine wechselnde Belastung aus. In Liverpool am Tidal Institute im Bidston Observatory ist infolge eine 11 m großen Springtidehubs eine periodische Höhenänderung des örtlichen Felsbodens bis zu 10 mm beobachtet worden. An den meisten Küsten ist der Tidehub viel kleiner und der erwähnte Einfluß wird dort zu vernachlässigen sein. Der Nullpfahl, in ausreichender Tiefe im Diluvium fundiert, ist also auch in dieser Hinsicht als „fest“ zu deuten.

Es empfiehlt sich natürlich immer, etwaige Bewegungen der ganzen Erdkruste im Gezeitenrhythmus festzustellen. Wenn diese für geodätische Zwecke von Bedeutung sind, dann kann man sie leicht berücksichtigen. Meiner Meinung nach sind von der Seite der Geodäten keine Bedenken gegen die Anwendung der Nullpfähle als Haupthöhenmarken des Nivellementsnetzes zu erwarten.

Aus rein wasserbautechnischen Überlegungen könnte man eine kleine Entfernung der Nullpfähle von den Pegeln bevorzugen.

Aber man hat der Verlockung zu widerstehen, dem Festpunkt einen entfernteren Platz zu geben. Man kommt dann leicht dazu, den Festpunkt noch ein bißchen weiter weg zu projektieren mit der Absicht, zwei oder mehr Pegel an diesen Festpunkt anzuschließen.

Diesen Weg darf man nicht gehen. Denn an seinem Ende liegt ja gerade das System III (N_0), das wir nicht weiter beibehalten wollen. Dagegen empfiehlt es sich aus mehreren technischen Überlegungen, den Nullpfahl so dicht wie möglich beim Pegel anzubringen, d. h. mit zunehmendem Vorrang:

1. höchstens bis auf eine Zielweite;
2. eine Verbindung mittels (permanenter) Schlauchwaage (Abb. 7);
3. Nullpfahlkopf im Pegelhäuschen;
4. Schreibpegel selbst auf dem Nullpfahl aufgestellt.

Die Bedeutung dieser so festen Kupplung wird an Hand des Abschnittes VIII einleuchten. Gibt es am Pegelort nur Lattenpegel, dann ist die Reihenfolge:

1. Nullpfahl bis auf eine Zielweite;
2. die täglich benutzten Lattenpegelteile unmittelbar auf den Nullpfahl anbringen, und zwar so, daß Erneuerungen möglich sind, ohne daß man je die Nullpunkthöhe des Pegels zu bezweifeln braucht.

VIII. Unveränderlichkeit der Meßanlage

Es ist, wie ich glaube, wohl allgemein üblich, die Feder eines Schreibpegels auf die Wasserhöhe zu setzen, die am zugehörigen Lattenpegel abgelesen wird. Eingeweihte werden sich darüber einig sein, daß viel gewonnen wäre, wenn man den Lattenpegel beseitigen könnte. Man muß heutzutage einen großen Umweg machen vom Festpunkt bis zum Pegelbogen:

- a) die zugehörigen Marken im System N_0 sind für jedes Hauptnivellement neu anzuschließen;
- b) fortwährend ist nur darauf zu achten, ob die Höhen noch untereinander stimmen; dann und wann sind Kontroll-Nivellierungen durchzuführen;
- c) alle zwei Jahre sind die Lattenpegel zu prüfen, dann und wann Sonderprüfungen;
- d) jedes Halbjahr sind die Lattenpegelablesungen und die Pegelbögen peinlich genau abzustimmen. Man hat dabei Wellenschlag, Verschmutzung des Lattenpegels, Verschlammung des Zuflußrohres, kleine Zufallselemente beim Stand der Feder und der Höhe des Pegelbogens, Feuchtigkeit, immer wechselnde Dichteunterschiede zwischen Außenwasser und Wasser im Pegelschacht, Ungewißheit über die Länge des Schwimmerdrahtes oder der Kette zu bedenken.

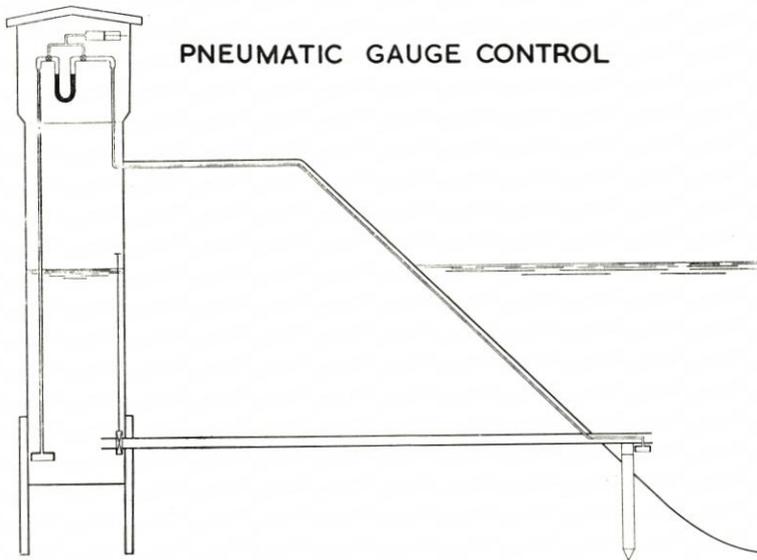


Abb. 8. Arbeitsprinzip der automatischen Pegelschachtkontrolle

Das sind mehr als zehn Faktoren, die einen störenden Einfluß ausüben können. Ausschalten des Lattenpegels ist also sehr erstrebenswert. Das hier entwickelte fünfte System (ebenso wie das vierte, D_0) bietet die gewünschte Möglichkeit. Einige Konstruktionselemente möchte ich hier nennen.

Das Aufhängen des Schwimmers an einem gelochten Stahlband. Für jede Umdrehung des Schwimerrades fehlt ein Loch, weshalb das Band nur auf eine Weise auf dem Rad liegen kann. Bandlänge und Befestigung sind normiert.

Der Schwimmer hat ein Zeichen für seine Tauchtiefe. Wird der Schwimmer hochgezogen, bis das Zeichen mit einer festen Höhe am Nullpfahl zusammenfällt (falls dieser im Pegelhäuschen steht), dann schreibt die Feder auf dem Blatt gerade diese feste Höhe. Diese wichtige halbautomatische Kontrolle kann je nach Wunsch ausgeübt werden und läßt das Büropersonal zum Zeugen werden.

Wenn wir nun weiter noch wissen, daß der Wasserstand im Schwimmerschacht genau derselbe ist, wie der im Außenwasser, dann können wir schon den Lattenpegel entbehren. Zu diesem Zweck ist der Pegelschacht-Kontrollapparat konstruiert. Er arbeitet nach dem in Abbildung 8 dargestellten Prinzip. Sowohl im Pegelschacht als auch im Außenwasser sind auf ungefähr gleicher Höhe Luftkolben angebracht worden. Diese sind mittels Luftleitungen mit einem U-Rohr verbunden (Abb. 9).

Mit Hilfe der Handluftpumpe wird das Wasser aus den Leitungen gepreßt. Befinden sich die beiden Kolben auf ungefähr derselben Höhe, dann zeigt das U-Rohr die Differenz. Arbeitet das Zuflußrohr ganz richtig, so zeigt das U-Rohr die an sich beliebige Differenz der Kolbenhöhen von z. B. 4 cm, unabhängig von der Höhe des Wasserspiegels. Ist aber der Zufluß verschlamm, so ändert sich diese Höhendifferenz. Das gibt die gewünschte Kontrolle, und zwar ohne Hilfe eines Lattenpegels.

Die beiden Luftkolben dürfen nicht auf genau derselben Höhe stehen, denn dann gäbe es überhaupt keine Kontrolle, wenn der Luftdruck weggefallen wäre.

Mit diesen drei Maßnahmen:

- gelohtes Schwimmerband mit Normallänge,
- Pegelschacht-Kontrollapparatur,
- Vergleichszeichen für angehobene Schwimmer am Nullpfahl,

ist erreicht worden, daß man grundsätzlich den Lattenpegel entbehren kann. Der örtliche Festpunkt übt seine Höhenkontrolle unmittelbar auf den Schreibpegel aus.

Wenn auch nicht unbedingt notwendig, so hat es doch gewisse große Vorteile, daß der Nullpfahl, in dem die feste Höhe vorhanden ist, so nahe angebracht wird, daß man diese feste Höhe auch ständig im Meßpunkt selbst zur Verfügung hat. Es ist klar, daß damit der Nullpfahl ein sehr wesentlicher Bestandteil einer Pegelmeßstelle geworden ist. Der Nullpfahl ist nicht etwas, das hinzukommt, das „auch“ noch berücksichtigt werden muß, sondern er müßte zuerst gesetzt werden, um von der ganzen Meßstelle etwas Gutes erwarten zu können.

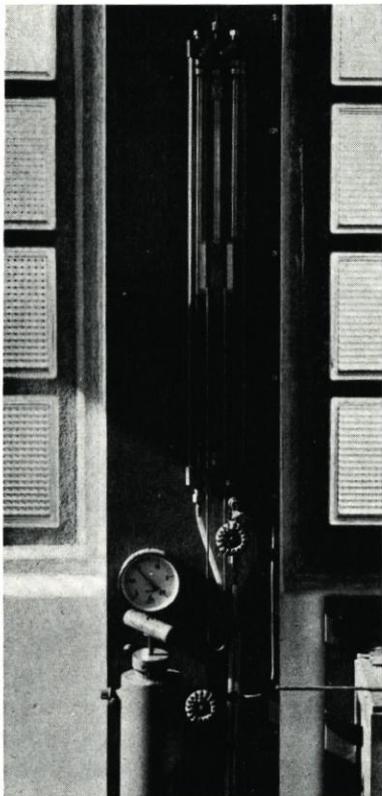


Abb. 9. Pneumatische
Pegelschachtkontrollapparatur
(LOBITH)

IX. Schluß und Zusammenfassung

Aus unserer Darlegung geht hervor, daß ein System No, bei dem Pegelnull immer auf Landeshorizont nachgestellt wird (seit 150 Jahren in den Niederlanden), große Nachteile hat.

Zum Wesen der Wasserstandsmeßtechnik gehört es, daß Pegelnull, nachdem es auf einen einheitlichen Horizont (nach LOHRBERG hauptsächlich eine „optische“ Angelegenheit) gebracht worden ist, unverändert bleibt. Ich bin deswegen grundsätzlich einverstanden mit LOHRBERG (1959), HAHN (1958), LANGE (1958) und GRONWALD (1959).

Eine Differenz zwischen Ortshorizont und Landeshorizont ist jedenfalls für niederländische Verhältnisse bestimmt abzulehnen. In dieser Hinsicht muß ich PETERSEN (1958) beipflichten.

Die Kontroverse „Einheitlicher Pegelhorizont“ versus „Ortshorizont“ ist grundsätzlich zu lösen, indem man den Pegeln ihre festen Nullpfähle mit örtlichem unveränderlichen Null gibt und den Nationalhorizont gerade durch diese materiellen Punkte legt.

Die Pegelnullpunkte werden damit Haupthöhenpunkte des Landesnivellementsnetzes. Dieses Netz strebt nicht an, eine Horizontalebene oder eine Aequipotentialebene zu sein, denn sie

ist materiell durch die Festpunkte festgelegt. Die Ebene macht also die Bewegungen der Erdkruste mit, wenn das Diluvium in Mitleidenschaft gezogen wird.

Für alle praktischen Zwecke gibt ein solcher Horizont eine vollauf gute und einfache Lösung. Für Sonderforschungen kann ein Feinnivellement die genauen Differenzen zwischen den Nullpunkthöhen geben, so oft man dieses braucht.

Man kann also eine „Horizontalebene“ zu jedem gewünschten Zeitpunkt rechnerisch realisieren und für wissenschaftliche Arbeiten verwenden. Diese Horizontalebene ist nicht identisch mit dem offiziellen Landeshorizont, der, wie gesagt, die tektonischen Bewegungen mitmacht.

X. Schriftenverzeichnis

- GRONWALD, W.: Zur Frage der Erhaltung der Höhenlage von Pegeln im Küstengebiet. Dtsch. Gewässerkundl. Mitt. **3**, 3, S. 56—57, Koblenz 1959.
- HAHN, A.: Zur Frage der Erhaltung der Höhenlage von Pegeln im Küstengebiet. Dtsch. Gewässerkundl. Mitt. **2**, 4, S. 88—90, Koblenz 1958.
- LANGE, O.: Zur Frage der Erhaltung der Höhenlage von Pegeln im Küstengebiet. Dtsch. Gewässerkundl. Mitt. **2**, 4, S. 90—92, Koblenz 1958.
- LOHRBERG, W.: Sollhöhenunterschiede bei Pegeln im Küstengebiet. Dtsch. Gewässerkundl. Mitt. **2**, 2, S. 39—45, Koblenz 1958.
- PETERSEN, M.: Kann ein einheitlicher Pegel-Bezugshorizont im deutschen Küstengebiet gehalten werden? Dtsch. Gewässerkundl. Mitt. **2**, 2, S. 35—38, Koblenz 1958.
- SAARLOOS, J. M.: De geringe nauwkeurigheid van het bodemdalinggetal ten opzichte van zeeniveau, afgeleid uit de aflezingen op de Nederlandse kustpeilschalen, en de methode om daarin verbetering te brengen. Tijdschr. Kon. Nederl. Aardr. Gen. **68**, 2, S. 101—122, Amsterdam 1951.
- VAN VEEN, J.: Necessity of subsidence-gauges. Netherlands Geodetic Commission. Report presented at the eleventh general assembly of the International Association of Geodesy at Toronto 1957.
- VELSEN, C.: Rivierkundige Verhandeling. Amsterdam 1749.

Planung und Ausführung von Deicherhöhungen und Flußabdämmungen im Lande Bremen*)

Von Günther Traeger

Inhalt

I. Einleitung	108
II. Zwifache Gefährdung Bremens durch Sturmfluten der Nordsee und Hochwasser der Weser und ihrer Nebenflüsse	109
III. Überlegungen auf Grund der Holland-Sturmflut am 1. Februar 1953	111
IV. Sicherungen im Bermerhavener Raum	111
1. Allgemeine Betrachtungen	111
2. Modellversuche für die Sperrwerke in der Geeste	113
3. Ausbildung der Bauwerke	115
V. Sicherungen im Unterweserraum	118
1. Allgemeine Betrachtungen	118
2. Ergebnisse der Modellversuche	119
3. Schwierigkeiten bei Deicherhöhungen im Raum Lesum/Wümme	121
4. Plan Lesum-Sperrwerk	122
5. Weitere Abschleusungen	122
VI. Zusammenarbeit von Bund und Ländern	123

I. Einleitung

Von den Problemen, die der Küstenausschuß Nord- und Ostsee in den letzten Jahren untersucht und einer Klärung zugeführt hat, kommt aus der Sicht der bremischen Wasserwirtschaftsverwaltung der Frage nach den an den deutschen Nordseeküsten zu erwartenden Sturmflutwasserständen¹⁾ und nach dem hier erforderlichen Deichbestick eine besondere Bedeutung zu. Im Lande Bremen konnte man auf diesen Untersuchungen aufbauen, die notwendigen Folgerungen ziehen und die Maßnahmen in die Wege leiten, die zum Schutze der Bevölkerung und ihrer Wohn- und Arbeitsstätten nach den jetzigen Erkenntnissen unerlässlich sind.

Auf bremischem Gebiet befinden sich rund 150 km Deiche, davon etwa 88 km See-, Strom- und Flußdeiche unter dem Tideeinfluß der Nordsee, bei denen Maßnahmen zur Erhöhung zu treffen sind.

Beide Städte, Bremen und Bremerhaven, mit ihren Hafenanlagen und Industrien und dem größten Teil ihrer Wohngebiete sind auf Deichschutz angewiesen, da die Geländeoberfläche größtenteils zwischen NN + 1,0 m und + 3,0 m liegt und mit folgenden Wasserständen in der Weser gerechnet werden muß:

In Bremen: MThw (1941/50) NN + 2,22 m, HHThw (errechnet) an der Großen Weserbrücke künftig etwa NN + 6,0 bis + 6,5 m.

In Bremerhaven: MThw (1941/50) NN + 1,61 m, HHThw (errechnet) NN + 5,50 m.

*) Nach einem Vortrag auf der 3. Arbeitstagung des Küstenausschusses Nord- und Ostsee am 15. Oktober 1959 in Bremen.

¹⁾ Unter „Sturmflut“ wird in diesem Aufsatz ein Windstau von mehr als 1,75 m über MThw und unter „Windflut“ ein Windstau von 1,00 bis 1,75 m über MThw verstanden, vgl. LÜDERS, K.: Kleines Küstenlexikon. Bremen 1958.

II. Zwifache Gefährdung Bremens durch Sturmfluten der Nordsee und Hochwasser der Weser und ihrer Nebenflüsse

Fragen wir uns, welche Teile von Bremen-Stadt nicht durch Sturmfluten von der See her und Hochwasser vom Oberlauf der Weser und ihrer Nebenflüsse gefährdet sind, so finden wir nur den hohen Geesthang in Bremen-Nord mit den Ortsteilen Lesum, St. Magnus, Vegesack, Blumenthal und den Bereich der Düne im alten Stadtkern von Bremen. Das sind flächenmäßig nur etwa 15 % des Gesamtgebiets.

Für das Gebiet zwischen Lesum, Wümme und Ochtum zeigt eine alte Überschwemmungskarte von 1881 (Abb. 2) recht anschaulich, welche Flächen in den Jahren 1880 und 1881 überflutet wurden und auch heute als gefährdet angesehen werden müssen. Die Überschwemmungskatastrophe des Jahres 1880 entstand für den Bereich des rechten Weseruferes aus einem Wümmehochwasser, das einen großen Deichbruch im Niederblockland verursachte und in Verbindung

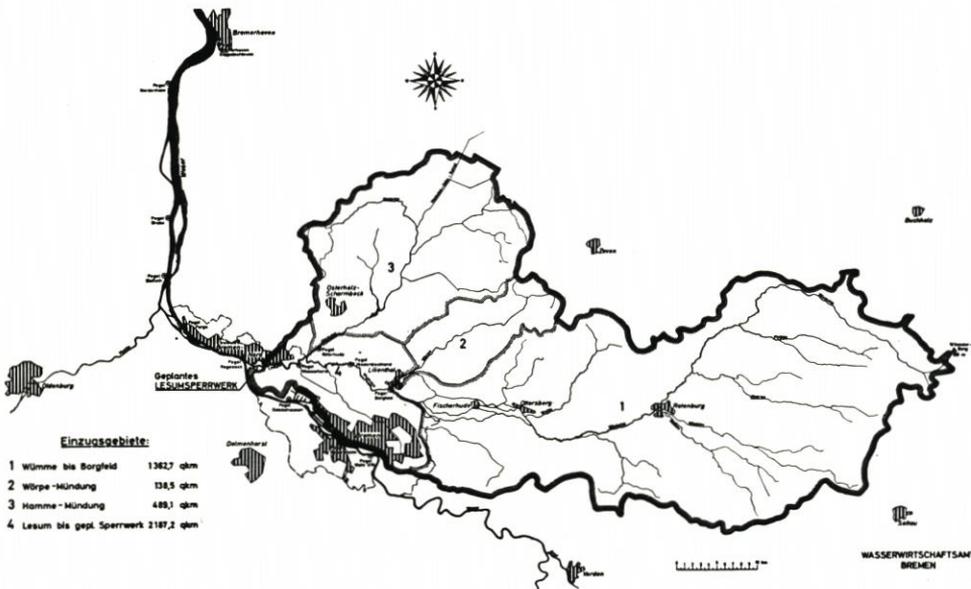


Abb. 1. Übersichtskarte der Unterweser und des Einzugsgebietes der Lesum

mit ungünstigen Tiden zu einer monatelangen Überschwemmung führte, und für den Bereich des linken Weseruferes 1881 aus einem Weserhochwasser, das bei Thedinghausen die Deiche überflutete und zu einer Überschwemmung der gesamten Ochtumniederung bis an die Tore von Bremen führte.

Für das Gebiet von Bremen-Stadt sind also nicht nur die Weser, sondern auch die Nebenflüsse Lesum, Wümme und Ochtum als mögliche Ausgangspunkte für Überschwemmungskatastrophen anzusehen, wobei für den Bremer Raum erschwerend ist, daß hier Sturmfluten und Hochwasser der Weser im Falle eines Zusammentreffens besonders hohe Wasserstände verursachen können.

Auch für das Gebiet von Bremerhaven wissen wir von zahlreichen Überschwemmungen bis in die jüngste Zeit hinein. Hier werden regelmäßig die Deiche der Geeste überströmt und weite Flächen der Geestniederung unter Wasser gesetzt, wenn die Sturmfluten der Nordsee ihren Weg über die Außenweser in die Geeste, die das Stadtgebiet durchschneidet, nehmen.

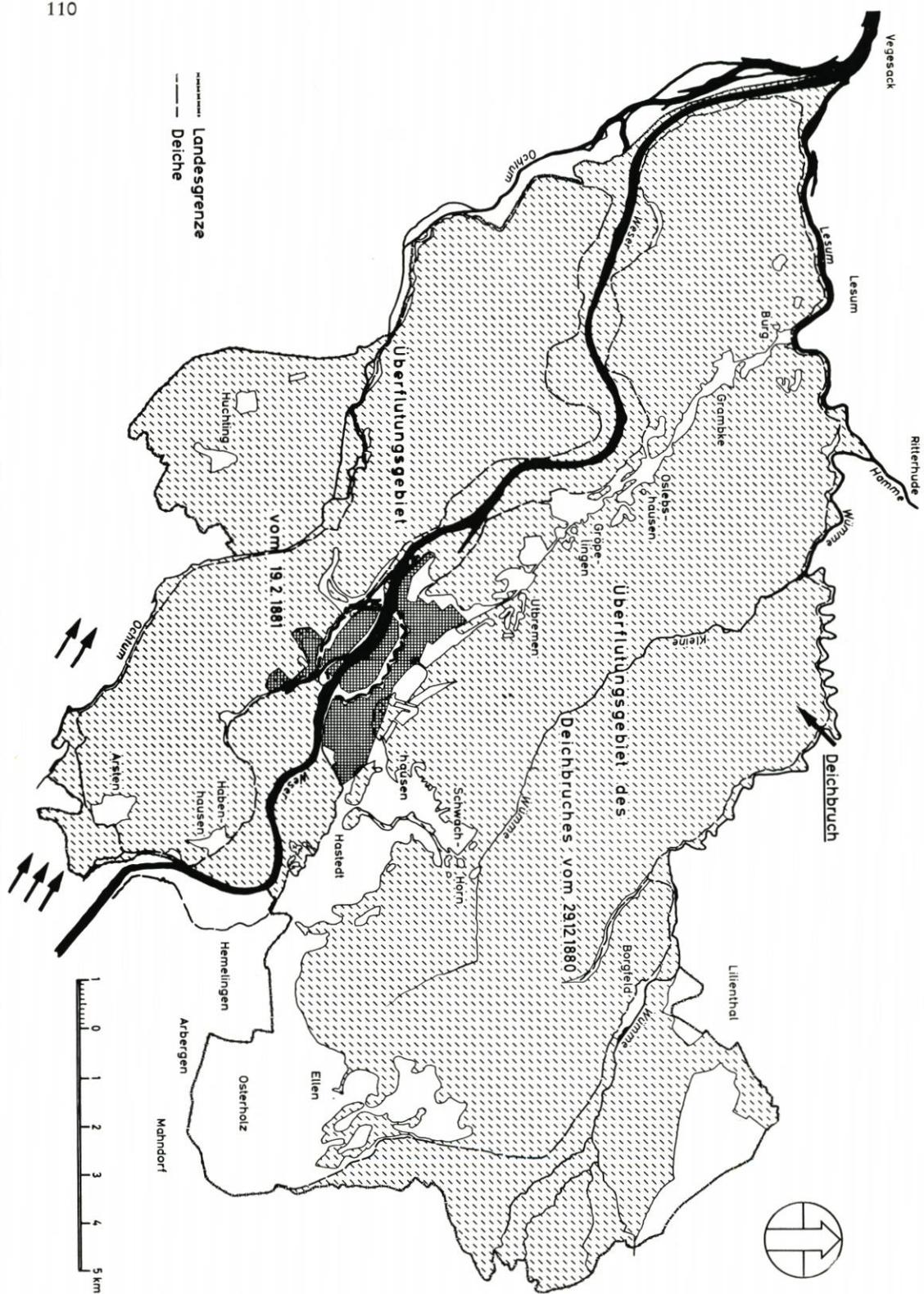


Abb. 2. Das Überflutungsgebiet der Katastrophenjahre 1880/81 im Bereich der Freien Hansestadt Bremen

Im Gegensatz zu den Bewohnern von Bremerhaven, wo die Geestedeiche stets Sorgen bereiteten und wo nach dem 1. Weltkrieg wiederholt Pläne zur Abschleusung der Geeste erörtert wurden, fühlte sich die Bevölkerung der Stadt Bremen nach den umfangreichen Deicherhöhungen, die Ende des vorigen Jahrhunderts nach den Katastrophenjahren von 1880/81 durchgeführt wurden, einigermaßen sicher, zumal auch der Ausbau der Unterweser durch Vertiefung und Verbreiterung des Flußbettes und Beseitigung gefährlicher Stromkrümmungen die Gefahr von Eisversetzungen und damit des Aufstaus des Frühjahrhochwassers stark vermindert hatte.

III. Überlegungen auf Grund der Holland-Sturmflut am 1. Februar 1953

Um so mehr mußte die Holland-Katastrophe vom 1. Februar 1953 erschrecken und die Meldung, daß dort mancherorts Sturmflutwasserstände beobachtet worden seien, die 0,50 bis 0,70 m über den höchsten bisher bekannten Wasserständen gelegen hätten. Umgehend angestellte Überlegungen führten zu der Schlußfolgerung, daß nach den neu gewonnenen Erkenntnissen sowohl in Bremerhaven als auch in Bremen mit dem Auftreten höherer Sturmflutwasserstände, als bisher angenommen, gerechnet werden müsse. Bei diesen Überlegungen fanden die vom Küstenausschuß herausgestellten, für das Auflaufen der Sturmfluten maßgeblichen Faktoren gebührende Berücksichtigung:

- a) Art des Sturmtiefs, verschieden hinsichtlich Tiefe, Ausdehnung, Fortpflanzungsgeschwindigkeit und Zugbahn; davon abhängig Windstärke, Sturmdauer und Windrichtung,
- b) Zeitpunkt des Auftretens des Sturmes bezüglich des Zusammentreffens mit einer Springtide oder Nipptide,
- c) Zeitpunkt des größten Sturmeffektes (Windstau z. Z. des astronomischen Niedrig- oder Hochwassers),
- d) säkulare Verschiebung des Höhenunterschiedes zwischen Meeresspiegel und Küste,
- e) Menge des Oberwassers der Weser und ihrer Nebenflüsse.

Für den Bereich Bremerhaven konnte zwischen den daran interessierten Verwaltungen verhältnismäßig schnell eine Einmütigkeit dahin erzielt werden, daß hier künftig allen Planungen ein Sturmflutwasserstand von NN + 5,50m zugrunde gelegt werden soll anstelle von bisher NN + 5,04m, dem Höchstwasserstand der Sturmflut von 1825.

Für die Unterweser bis Bremen mußte hingegen infolge ihres Ausbaues für die Schifffahrt und infolge landeskultureller Maßnahmen, z. B. Bedeichung und Abdämmungen in den ständig überschwemmungsgefährdeten Niederungsgebieten, mit Veränderungen schwerwiegender Art nicht nur gegenüber den Verhältnissen von 1825, sondern auch gegenüber den Verhältnissen von 1906²⁾ gerechnet werden. In dieser Erkenntnis faßten die Wasserwirtschaftsverwaltungen der Länder Niedersachsen und Bremen und die Bundeswasser- und -schifffahrtsverwaltung den Entschluß, sich durch einen großzügigen Modellversuch für die Unterweser von Bremerhaven bis Bremen und für ihre Nebenflüsse über die jetzt bestehende Sturmflut- und Hochwassergefährdung Klarheit zu verschaffen.

IV. Sicherungen im Bremerhavener Raum

1. Allgemeine Betrachtungen

Im Raum Bremerhaven hingegen konnte umgehend die Abschleusung der Geeste eingeleitet werden. Diese zeichnet sich vor den übrigen dort notwendigen Baumaßnahmen, und zwar Ufersicherungsarbeiten und Deicherhöhungen an der Außen- und Unterweser und in der

²⁾ HThw am Pegel Bremerhaven am 13. 3. 1906 : NN + 4,83 m.

Geestemündung, durch ihre Größe und Bedeutung aus. Sie bringt neben dem Schutz gegen Sturmfluten für die Geesteniederung gleichzeitig auch Vorflutverbesserungen.

Die Geeste durchfließt oberhalb Bremerhavens ein mehrere 1000 ha großes, entwässerungsbedürftiges Niederungsgebiet, dessen größter Teil von Mooren bedeckt ist, die eine Mächtigkeit von 4 bis 5 m haben.

Am niedrigsten liegt das Gebiet um den Altluneberger See, etwa 23 km von der Geestemündung entfernt, und zwar auf NN. Weiter nach der Küste zu hat sich das Gelände infolge des bei Überflutung stärker auftretenden Schlickfalles auf etwa NN + 2,0 m aufgehöhht.

Die Gezeiten der Nordsee

MThw (1941/50) bei Bremerhaven = NN + 1,61 m, MTnw (1941/50) = NN - 1,79 m beeinflussen die Vorflut im Unterlauf der Geeste auf einer Strecke von etwa 28 km.

Als erste größere Meliorationsmaßnahme wurde gegen Ende des 19. Jahrhunderts ein Sperrwerk, bekannt als Schiffdorfer Schleuse (Abb. 3), 9 km oberhalb der Mündung errichtet und durch Anlegung von sechs Durchstichen in der Geeste eine Verkürzung des Geestelaufes um etwa 7 km und damit eine Verbesserung des Abflusses erreicht. Das Sperrwerk erhielt drei Öffnungen von je 8 m lichter Weite, die durch Stemmtore geschlossen werden. Es sollten zunächst nur die höher auflaufenden Sommerfluten abgehalten werden, die zur Unzeit die Geesteniederung zu überschwemmen pflegten. Dem gleichen Zweck dienen auch die Sommerdeiche, die von der Schiffdorfer Schleuse bis an den Stadtrand von Bremerhaven den Geestelauf einfassen. Während des Winterhalbjahres werden diese Deiche regelmäßig bei Sturmfluten überströmt und die Niederungen weithin unter Wasser gesetzt. Kappstürze und Grundbrüche der Deiche sind dabei unausbleiblich. Versuchte Deicherhöhungen führten bei der Scharlage der Deiche am Geesteuß und dem moorigen Untergrund regelmäßig zu Rutschungen und Sackungen der Deiche.

Dieser Zustand ist für die Landwirtschaft in der Geesteniederung und für die sich nach der Niederung zu erweiternde Stadt Bremerhaven wenig erfreulich. Daher sind bereits seit 1923 Bestrebungen im Gange, die Geesteniederung von jeglichen Überflutungen freizuhalten und die Vorflutverhältnisse grundlegend zu verbessern. Bereits vor dem zweiten Weltkrieg lagen feste Planungen vor, die nach dem Kriege wieder aufgegriffen wurden. Endgültige Maßnahmen wurden zwingend notwendig, als sich in der zweiten Hälfte des Jahres 1956 an der Schiffdorfer Schleuse eine stärkere Unterläufigkeit bemerkbar machte, welche die Benutzbarkeit der Schleuse in Frage stellte.

Bei der Gemeinschaftsplanung, die zwischen den Wasserwirtschaftsämtern Bremen und Stade mit dem Ziel durchgeführt wurde, die Vorflutverhältnisse der Geeste durch ein näher zur Mündung anzulegendes Sielbauwerk zu verbessern und einen Schutz gegen alle Sturmfluten zu erreichen, stellte sich die Notwendigkeit heraus, im Geestelauf zwei Sperrwerke vorsusehen, und zwar:

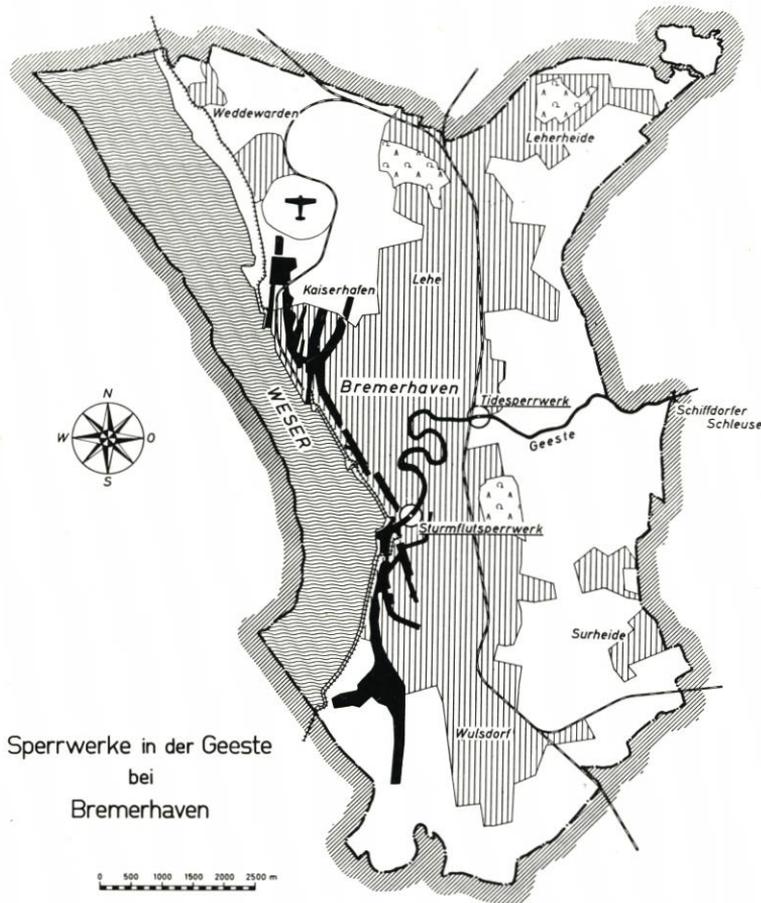
das Tidesperrwerk in der Geeste oberhalb des Stadtgebietes von Bremerhaven, das der Regulierung der Wasserstände im unteren Geestelauf entsprechend den Erfordernissen der Landeskultur dienen und alle Fluten, die bis zu 1,0 m über MThw auflaufen, kehren soll, und

das Sturmflutsperrwerk in der Mündung der Geeste innerhalb des Stadtgebietes, das nur bei Fluten, die höher als 1,0 m über MThw auflaufen, geschlossen werden, in der übrigen Zeit aber der Schifffahrt freie Durchfahrt gewähren soll (Abb. 3).

Die Schifffahrt auf der Geeste im Stadtgebiet von Bremerhaven, nämlich der Verkehr zu den am Ufer gelegenen Lösch- und Ladeplätzen und besonders zu den hier befindlichen größeren Seeschiffswerften, mußte Berücksichtigung finden.

Die Sicherung des Bremerhavener Raumes wird erst nach der geplanten Erhöhung der

Deiche an der Außenweser und an der Geeste vor dem Sturmflutsperrwerk abgeschlossen sein. Das Bestick dieser Deiche ist je nach der Lage zur Richtung des Wellenangriffs und dem Vorhandensein eines Vorlandes und dessen Höhe verschieden. Es ist auf NN + 7,00 m an der Weser im Anschluß an den Deich des Landes Wursten, auf NN + 6,50 m an der Geeste und auf mindestens NN + 7,60 m an der der Strömung und dem Wellenangriff besonders ausgesetzten Schardeichstrecke zwischen Geestemündung und Lunesiel vorgesehen.



Sperrwerke in der Geeste
bei
Bremerhaven

Abb. 3. Übersichtsplan Bremerhaven mit Eintragung der im Bau befindlichen Sperrwerke in der Geeste

2. Modellversuche für die Sperrwerke in der Geeste

Bei der Planung der beiden Sperrwerke ergaben sich einige Fragen, deren Klärung durch einen Modellversuch erforderlich erschien. Dieser Modellversuch wurde im Franzius-Institut der Technischen Hochschule Hannover durchgeführt, wobei der Unterlauf der Geeste von der Mündung bis zur Schiffdorter Schleuse verkleinert im Maßstab 1 : 100 in der Versuchshalle des Instituts aufgebaut wurde. Es zeigte sich bei der Durchführung des Planfeststellungsverfahrens, daß es wertvoll ist, diese Versuchsergebnisse zur Hand zu haben. Da sich die Fragen

auch auf die Abmessungen der Durchflußöffnungen der geplanten Bauwerke bezogen, seien zunächst die entwurfsmäßigen Abmessungen genannt.

Tidesperrwerk :

Zwei Sielöffnungen von je 8 m lichter Weite und eine Kammerschleuse von 35 m Länge und 5,20 m Weite, Sohlenschwellen rund 2,4 m unter MTnw.

Sturmflutsperrwerk :

Eine Durchfahrtsöffnung von 24 m lichter Weite und eine Spül- bzw. Entlastungsöffnung von 7 m lichter Weite. Drempel auf rund 4,20 m unter MTnw.

Durch die Untersuchungen im Modell fanden die gestellten Fragen folgende Beantwortung:

A. Tidesperrwerk

1. Die geplanten Lichtweiten der beiden Sielöffnungen und der Schleuse sind ausreichend. Tritt höchstes Winterhochwasser auf ($Q = 38,4 \text{ m}^3/\text{s}$) und werden nur die beiden Sielöffnungen zur Entwässerung herangezogen, dann ergibt sich ein Sperrwerksstau von 3 cm, der auf 1 cm zurückgeht, wenn man zusätzlich die Schleuse zur Entwässerung heranzieht.
2. Eine stärkere Verschlickung der Geeste ist nach Anlage des Tidesperrwerks nicht zu befürchten, vielmehr ist zu erwarten, daß die Schlickzone flußabwärts rückt. Zu diesem Ergebnis kam das Institut auf Grund zahlreicher Messungen der zu erwartenden Strömungsgeschwindigkeitsänderungen. Als Vergleichsmaßstab wurde der Flächeninhalt der Geschwindigkeitskurven („ideeller Flutweg“ und „ideeller Ebbeweg“) herangezogen. Es ergab sich, daß das Verhältnis der „ideellen Ebbewege“ zu den „ideellen Flutwegen“ nach Einbau des Tidesperrwerks günstiger wird.
3. Die Frage, ob bei Auftreten einer Sturmflut während des Baues des Tidesperrwerks wesentliche Behinderungen des in die Geeste einströmenden Flutwassers und dadurch ungünstigere Wasserstände unterhalb des Sperrwerkes zu erwarten seien, solange das Sturmflutsperrwerk noch nicht betriebsfertig ist, wurde dahin beantwortet, daß die zu erwartenden Wasserstandserhöhungen gering sein würden (maximal 4 cm).

B. Sturmflutsperrwerk

1. Die Durchfahrt eines Schiffes von 140 m Länge und etwa 19 m Breite ist durch die planmäßig 24 m weite Durchfahrtsöffnung des Sperrwerks möglich. Hierzu ist eine Entlastungsöffnung nicht unbedingt notwendig, aber erwünscht. Bei den Untersuchungen zum Zwecke der guten Ansteuerung durch das geschleppte Fahrzeug erwies es sich als günstiger, die Achse der Durchfahrtsöffnung soweit wie möglich zur Mitte zu rücken.
2. Die Tonnenhofskaje am rechten Ufer unterhalb des Sturmflutsperrwerks kann vor zusätzlicher Verschlickung nur bewahrt werden, wenn eine Spülöffnung an diesem Ufer von mindestens 7 m Weite im Sperrwerk eingebaut wird. Dabei soll der rechte Sperrwerkspfeiler möglichst schmal werden — nicht stärker als 8 m (gewählt 7 m) —, wodurch auch eine gute Strömungsverteilung auf die ganze Flußbreite erreicht wird.
3. Wegen ihrer Spülaufgabe kann die Entlastungsöffnung nicht durch eine Vergrößerung der Sperrwerksdurchfahrt ersetzt werden. Günstig ist es für die Spülung, wenn zur Hochwasserstauzeit das Sturmfluttorpaar geschlossen und zunächst nur die Entlastungsöffnung für den Abfluß freigegeben wird. Die Tore sollen erst geöffnet werden, wenn der Wasserstandsunterschied binnen und außen den Betrag von 30 cm erreicht. Dies ist gegen Ende der Ebbe der Fall.

4. Auskolkungen können beiderseits des Sperrwerks entstehen. Eine Sohlensicherung muß vorgesehen und nach Bedarf eingebaut werden.
5. Während des Baues und nach Fertigstellung des Sturmflutsperrwerks treten keine besonderen Veränderungen in den Tidewasserständen ein.
6. Durch das Sturmflutsperrwerk wird keine stärkere Verschlickung der Geeste eintreten. Das Verhältnis der „ideellen Ebbewege“ zu den „ideellen Flutwegen“ ist günstig.
7. Die Wasserdrücke, die bei einem Schließen der Stemmtore der Hauptöffnung während des Auflaufens einer Sturmflut durch den Schwall vor und den Sunk hinter dem Tor auftreten können, wurden untersucht. Da der Schließvorgang selbst im Modell nicht naturgetreu nachgebildet werden konnte, wurde ein bestimmter Schließzustand untersucht. Die

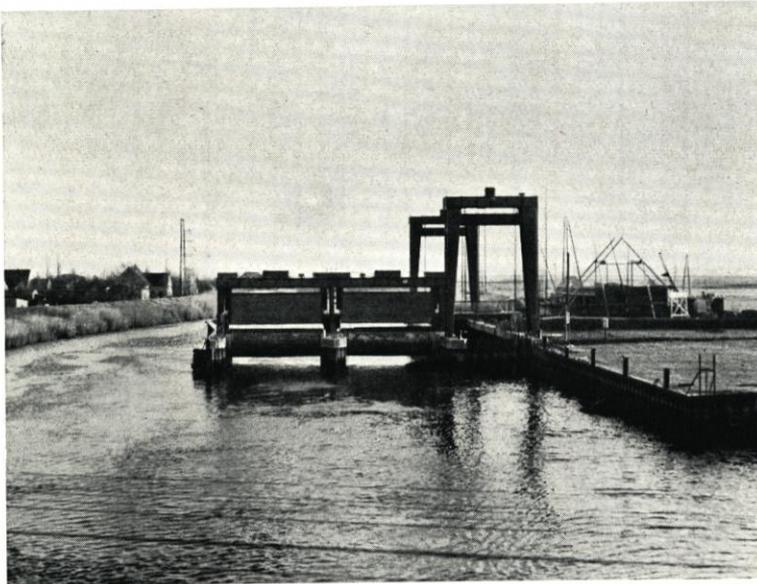


Abb. 4.
Tidesperrwerk,
Bauzustand 1959.
Die anschließende
Flußdurch-
dämmung
ist noch nicht
fertiggestellt

Entlastungsöffnung, die durch Schütze verschlossen wird, blieb dabei offen. Die Ergebnisse wurden durch Rechnung überprüft, hierzu wurde durch einen weiteren Modellversuch der Stoßeinfluß des bei Sturmflut zu erwartenden Wellenganges ermittelt. Als Ergebnis wurde festgelegt, daß Tore und Antriebsvorrichtungen für einen Wasserüberdruck bemessen werden sollen, der einem erhöhten Wasserstand von 66 cm während des Schließvorganges bei einem Pegelstand von rund 1 m über MThw entspricht.

8. Der Stauraum zwischen Sturmflut- und Tidesperrwerk wird bei hohem Oberwasser der Geeste, wenn das Sturmflutsperrwerk zum Kehren der Tide eingesetzt wird, ein Absinken der Binnenwasserstände zur Folge haben.

3. Ausbildung der Bauwerke

Da die Modellversuchsergebnisse die Richtigkeit der gewählten Abmessungen des Tidesperrwerks bestätigt hatten und auch sonst keine nachteiligen Auswirkungen befürchten ließen, konnte mit seinem Bau begonnen werden.

Auf Grund der örtlichen Gegebenheiten wurden kombinierte Peiner-Krupp-Spundwände

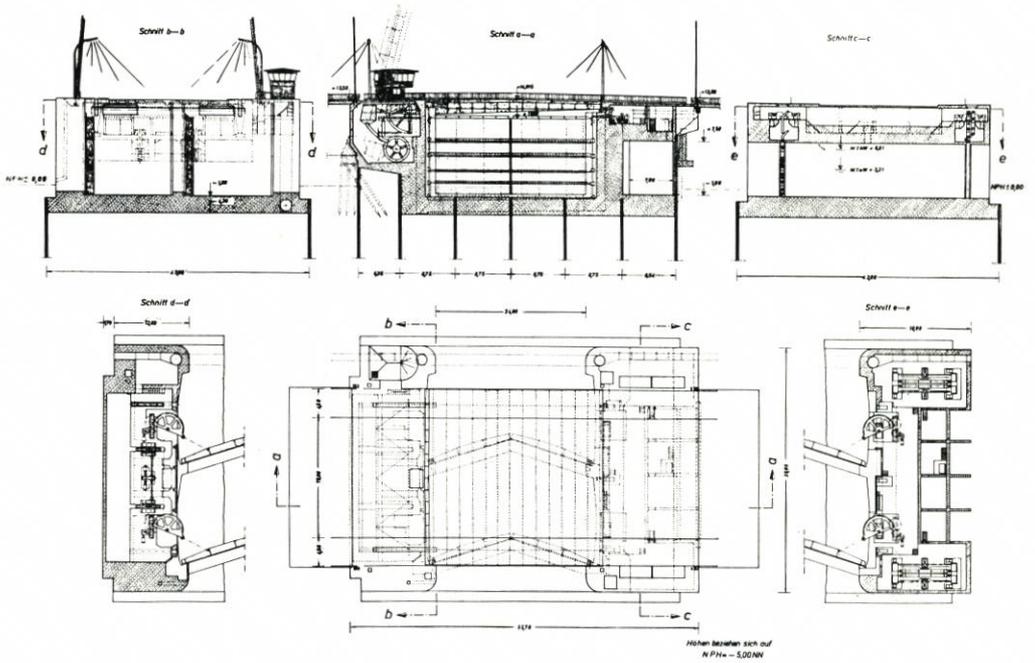


Abb. 5. Sturmflutsperrwerk in der Geeste (Entwurfszeichnung)

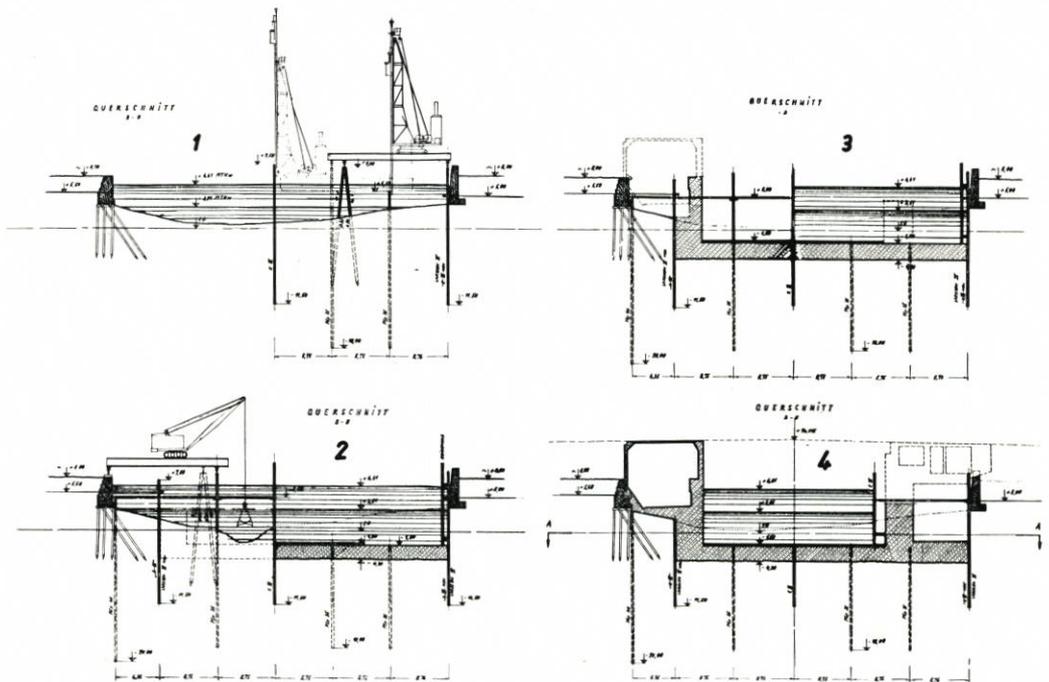


Abb. 6. Sturmflutsperrwerk in der Geeste (Darstellung der Bauzustände)

als Schleusenammerwände und Sielpfeiler sowie an den Spundwänden verankerte Colcrete-Betonsohlen für die Bauausführung des Tiefbauteils vorgesehen.

Die Schleuse erhält als Verschlüsse Hubtore, die sich auf die Sohle aufsetzen und in Nischen gleiten. Das Ausspiegeln des Wasserstandes beim Schleusen erfolgt durch geringes Anheben der Hubtore. Das eigentliche Sperrwerk mit seinen zwei Durchflußöffnungen erhielt Sieltore, die sich gegen den Drempel und den Aussteifungsbalken aus Stahlbeton abstützen. Dahinter wurden geteilte Hubschütze eingebaut, die es gestatten, bestimmte Wasserstände im Oberwasser zu halten und gegebenenfalls durch etwas verzögertes Öffnen beim Einsetzen des Sielzuges eine günstige Spül- und Räumwirkung im Unterlauf zu erzielen. Schlitze zum Einbau von Dammbalken als Notverschlüsse sind an der Schleuse und den Sielöffnungen vorgesehen.

Die Anlage soll 1960 in Betrieb genommen werden, nachdem die Durchdämmung der Geeste erfolgt ist.

Wesentlich größer ist die Baustelle des Sturmflutsperrwerks in der hier 50 m breiten Mündungstrecke der Geeste.

Die Notwendigkeit, das Sturmflutsperrwerk in dem unter starkem Schlickbefall leidenden unteren Geestelauf im Flußbett selbst herzustellen und während der Bauzeit eine Hälfte des Flusses für den Schiffsverkehr freizuhalten, war für den Entwurf und die gewählte Bauausführung von ausschlaggebender Bedeutung. Als günstig muß dabei gelten, daß das Bauwerk mit seiner Sohle in tragfähigen Sandschichten liegen wird, die eine Gründung unmittelbar auf den Sand gestatten. Auf Gründungsarbeiten in trockener Baugrube mußte verzichtet werden, da bei der hierfür erforderlichen weitreichenden Grundwasserabsenkung erfahrungsgemäß in diesem Raum mit nicht zu übersehenden Folgeschäden gerechnet werden mußte.

Die Notwendigkeit, Seeschiffen mit hohen Aufbauten die Durchfahrt zu gestatten, zwang dazu, für die große Durchfahrtsöffnung als Verschlusskörper Stemmtore vorzusehen, die auch bei strömendem Wasser geschlossen werden können. Die Oberkante der Tore wurde nur rund 40 cm über dem zu erwartenden HHThw festgelegt, da das gelegentliche Überschlagen von Wellen dem Bauwerk nicht schaden kann. Für die Entlastungsöffnung konnten hingegen Rollschütze gewählt werden. Aus Sicherheitsgründen waren doppelte Verschlüsseinrichtungen vorzusehen. Damit ergaben sich zwangsläufig die Abmessungen des Baukörpers von rund 56 m \times 42 m Grundfläche.

Eingefaßt wird das Bauwerk von Stahlspundwänden, wobei Flügelwände zum Schutz gegen seitliche Umläufigkeit ins Ufer einbinden und Flügeldämme den Anschluß an die Geeste-deiche bilden.

Der Bauvorgang erforderte weiterhin eine Mittelspundwand, die es ermöglicht, zunächst die Sohle des nördlichen Bauwerkteils in umspundeter Baugrube herzustellen und dann nach vorläufiger Freigabe der nördlichen Baugrube die südliche Bauwerkshälfte zu umspunden und in ihr den südlichen Pfeiler fertigzustellen. Anschließend sollen die Mittelwand und die Querwände der Südseite über der Sohle abgebrannt und als Stellwände um den noch zu errichtenden nördlichen Pfeiler gesetzt werden. Nach Freigabe der ganzen Hauptöffnung können die an Land montierten Stemmtore mit Hilfe eines großen Schwimmkranes eingesetzt werden. Mit der Montage der maschinellen und elektrischen Anlagen wird der eigentliche Bau des Sturmflutsperrwerks abgeschlossen werden.

Durch den Sperrwerksbau ergibt sich für die Stadt Bremerhaven gleichzeitig eine günstige Gelegenheit, eine bewegliche Brücke über die Geeste vorzusehen, die als Rollklappbrücke mit versenktem Gegengewicht ausgebildet werden soll.

Für die Ausbildung der Sohle und Pfeiler dieses Bauwerks kommt ein Sondervorschlag der

bauausführenden Firmengemeinschaft zum Zuge. Er sieht für die Sohle die Herstellung aus Colcrete-Beton (Betongüte B = 225) in einer durchgehenden Stärke von 2,5 m mit einer oberen Ausgleichsschicht aus Stahlbeton von 0,30 m Stärke vor. Die Sohlenfläche wird durch die Mittelspundwand und drei Reihen Stahlzugpfähle in fünf Felder Spannweite geteilt. Die Verankerung der Sohle gegen Auftrieb erfolgt durch Konsolen, die an die Spundwände bzw. an die Pfähle angeschweißt werden. Der auskragende Teil des Südpfeilers wird durch eine Reihe Stahlstützpfähle abgefangen.

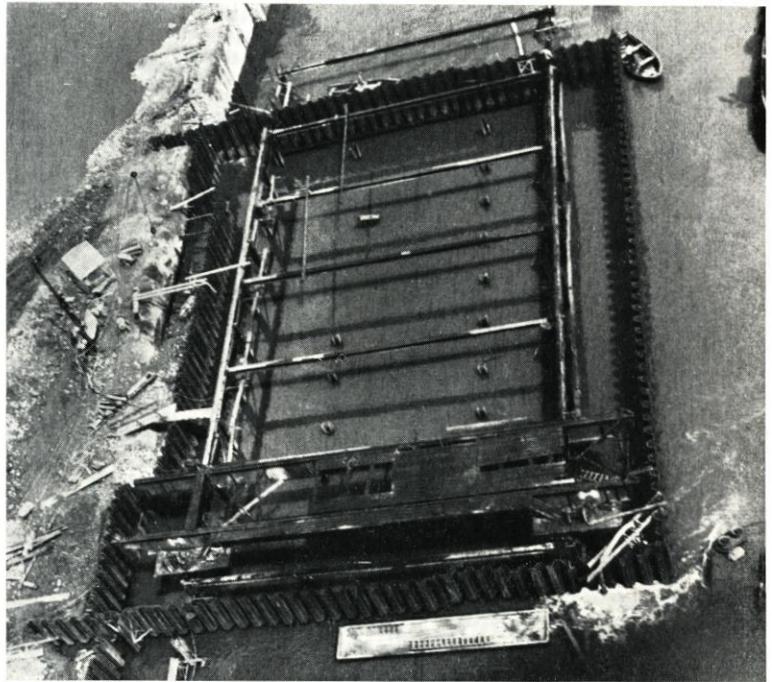


Abb. 7.
Bau des Sturmflutsperr-
werks in der Geeste.
Draufsicht auf die
Baugrubenumspondung
des nördlichen
Bauwerkteiles

Das Arbeitsprogramm sieht eine Fertigstellung des gesamten Betonbaues im Frühjahr 1960 und die Inbetriebnahme der Verschlusseinrichtungen im Herbst 1960 vor.

V. Sicherungen im Unterweserraum

1. Allgemeine Betrachtungen

Während durch die geschilderten Maßnahmen die Deichsicherheit von Bremerhaven nach den jetzigen Erkenntnissen in absehbarer Zeit gewährleistet sein dürfte, bietet die Sicherung des Unterweserraumes bis einschließlich Bremen noch erhebliche Schwierigkeiten.

Zwar hat man auf bremischem Gebiet bereits nicht unerhebliche Deicherhöhungen und Deichverstärkungen durchgeführt und hierbei zunächst die Stellen an Weser, Lesum und Ochtum vorgezogen, bei denen die Sturmflut vom 22. Dezember 1954, die in der Weser in Bremen etwa 2,20 m bis 2,30 m über MThw auflief, bereits dicht unter der Deichkrone stand, bzw. die Wellen diese sogar überfluteten. Dann aber wurden die Sicherungsmaßnahmen auf die Arbeiten zur Erhöhung der Deiche am Weserstrom begrenzt, da man Zeit benötigte, um zu prüfen, ob es nicht zweckmäßiger sei, anstelle von recht schwierigen und risikoreichen Deicherhöhungen an den

Nebenflüssen Sperrwerke an deren Mündung vorzusehen. Dieser Gedanke ist nicht neu, man hat ihn z. B. für den Lesum-Hamme-Wümme-Bereich seit Jahrhunderten verfolgt. Die voraussichtlichen Auswirkungen solcher Abschleusungen auf die Stromstrecken vor den Sperrwerken haben aber bisher stets zu gewichtigen Einsprüchen geführt, so daß man über unbefriedigende Teillösungen nicht hinauskam. Ein wichtiger Punkt der eingangs erwähnten Modellversuche für die Unterweser mußte daher die Feststellung der Auswirkungen von Abschleusungen der Nebenflüsse, und zwar der Hunte, der Lesum und der Ochtum, sein.

2. Ergebnisse der Modellversuche

Im Januar 1959 lag der Abschlußbericht des Franzius-Instituts zu den „Modellversuchen für die Unterweser und ihre Nebenflüsse“ vor, die an einem im Freigelände des Instituts im Maßstab
der Längen und Breiten 1 : 500
der Höhen, Tiefen und Gefälle 1 : 100

errichteten und als Tidemodell betriebenen Modell durchgeführt wurden³⁾. Aus ihm sollen die Punkte herausgegriffen werden, die für die Fragen der Deichsicherheit und Vorflut im Bremer Raum von besonderer Bedeutung sind.

1. Im Unterweser-Bereich unterhalb der stadtbremischen Häfen muß mit einem gegenüber den früheren Annahmen erheblichen Höherauflaufen der Sturmfluten gerechnet werden.

Die Ursachen hierfür sind zu suchen:

in der allgemeinen Möglichkeit des Höherauflaufens der Sturmfluten in der Wesermündung bei Bremerhaven gegenüber den bisherigen Annahmen,

in dem Ausbau der Unterweser, der das Auflaufen der Sturmfluten in der Weser begünstigt, in dem Fortfall früher zur Verfügung stehender Aufnahmeräume (Teufelsmoorgebiet, St. Jürgensland) und

in den laufenden Erhöhungen der Sommerdeiche, die vielfach mit dem Höherauflaufen der Windfluten in Zusammenhang stehen, welches wiederum durch den Ausbau der Unterweser verursacht wurde.

2. Im Lesum-Wümme-Gebiet sind bei höherem Wümmeoberwasser Wasserstände zu erwarten, die bereits bei nur wenig erhöhten Tiden eine Überflutung der ausgedehnten Wümmeniederungen zwischen Borgfeld und Fischerhude und damit im Sommer Ernteverluste herbeiführen und bei Zusammentreffen mit Sturmfluten zum Überlaufen der Winterdeiche an der Wümme führen müssen. Hierbei werden zunächst die etwas niedrigeren Deiche des St. Jürgenslandes auf niedersächsischer Seite, dann aber auch die bremischen Deiche betroffen.
3. Ein Wümmeausbau durch Begradigung des stark gewundenen Flußlaufes und Profilverbreiterungen im Unterlauf kann zwar bei hohem Oberwasser zu bestimmten Zeiten eine gewisse Entlastung für die Deiche an der Wümme bringen, wird andererseits aber Wind- und Sturmfluten den Weg ins Land öffnen und damit dort höhere Wind- und Sturmflutwasserstände hervorrufen.
4. Der Bau eines Sperrwerks in der Wümmemündung wird zwar eine Entlastung für den Wümmeaum, aber sehr wesentliche Wasserstandserhöhungen im Lesum-Hamme-Bereich (Pegel Wasserhorst), und zwar sowohl bei Windfluten als auch bei Sturmfluten (+ 0,90 m) verursachen und damit Lesum- und Hammedeiche, die Ritterhuder Schleuse

³⁾ Veröffentlicht in den Mitteilungen der Hannoverschen Versuchsanstalt für Grundbau und Wasserbau, Franzius-Institut der Technischen Hochschule Hannover, Heft 15a und 15b.

und das Schöpfwerk Wasserhorst, das den Bremer Raum mit einer Schöpfwerksleistung von max. 18 m³/s trocken hält, ferner Ortsteile von Lesum gefährden. Da bei einer Wümmeabschleusung der Aufnahmebereich für hohes Wümmeoberwasser kleiner als bei einer Lesumabschleusung sein würde, ist die nachgenannte Lesumabschleusung wirksamer als eine Wümmeabschleusung.

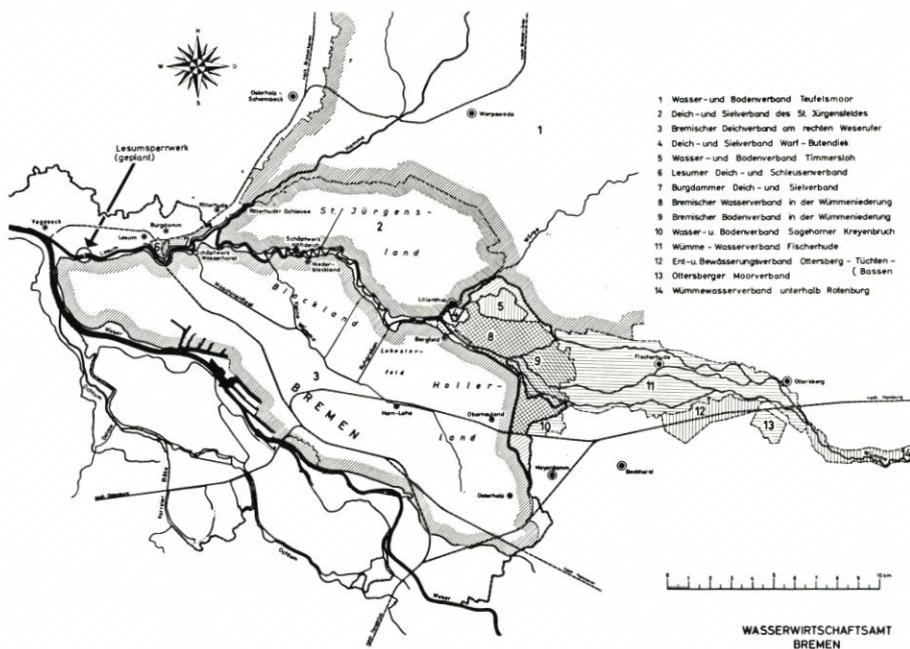


Abb. 8. Die Lage der an der Lesum-Abschleusung interessierten Gebiete und Verbände

5. Durch eine sturmflutkehrende Abschleusung der Lesum ist es möglich, den gesamten Lesum-, Hamme- und Wümme-Raum vor den Einwirkungen von Wind- und Sturmfluten in einer solchen Weise zu schützen, daß
 - a. Erhöhungen der Winterdeiche an Lesum, Hamme und Wümme sowohl auf bremscher wie niedersächsischer Seite vermieden werden und weiterhin auch die bremsischen Anwohner des Steindammes bei Lesum und die Bewohner des niedersächsischen Ortes Lilienthal Sicherheit gegen Überflutungsgefahr erhalten und
 - b. daß unerwünschte Überflutungen der großen Wümmeniederung von Borgfeld bis Ottersberg durch ergänzende kleine Sommerdeicherhöhungen auf Bremer Gebiet und zusätzlichen Ausbau der Wümme auf niedersächsischem Gebiet vermieden werden.
6. Vor einer Lesumabschleusung durchgeführte Bedeichungsmaßnahmen und Ausbauten des oberen Wümme-Gebietes, insbesondere auch Regulierungsmaßnahmen in den weiten Niederungs- und Moorgebieten des Kreises Rotenburg, werden die Nöte des unteren Gebietes noch vermehren und zu Gefährdungen von Wohngebieten des Raumes Borgfeld, Lilienthal und Burgdamm-Ritterhude sowie der Wümme-Winterdeiche auf bremscher und niedersächsischer Seite führen.
7. Durch einen Sperrwerksbau in der Lesum wird bei Sturmfluten beim jetzigen Ausbaustand der Weser bei Vegesack in der Weser eine zusätzliche Wasserstandserhöhung

von etwa 25 bis 30 cm verursacht werden und eine Wasserstandserhöhung von 7 bis 10 cm bei Elsfluth, die im Gebiet der Hunte jedoch abklingt. Die an der Ochtummündung zu erwartenden Wasserstandserhöhungen werden infolge des derzeitigen großen Aufnahmevermögens der Ochtumniederung sehr schnell abklingen.

8. Auch eine Abschleusung der Hunte, die zum Schutze der Stadt Oldenburg in Erwägung gezogen wird, wird zur zusätzlichen Erhöhung der Sturmflutwasserstände in der Unterweser bis Bremen führen und sich bei Vegesack mit etwa 22 cm bemerkbar machen.
9. Ähnliches gilt für die Ochtumabschleusung.
10. Durch die Abschleusung von Hunte, Lesum und Ochtum wird eine Summierung der zusätzlichen Wasserstandserhöhungen bei Sturmflut eintreten, die bei Vegesack etwa 58 bis 68 cm betragen wird.
11. Sollten die Sperrwerke auch bei Windfluten geschlossen werden, so muß auch mit einem Höherauflaufen der Windfluten vor den Sperrwerken gerechnet werden und dieses Berücksichtigung finden.
12. Auch weitere Winterbedeichungen im Unterweserraum werden Erhöhungen der Sturmflutwasserstände um mehrere Dezimeter mit sich bringen. Da sie sich im Falle gleichzeitiger Nebenflußabschleusungen mit den von diesen verursachten Wasserstandserhöhungen addieren würden, darf man sie nicht außer acht lassen und muß den Wert oder Unwert neuer Eindeichungen auch in dieser Hinsicht genau abwägen.
13. Günstig ist die Beobachtung, daß in der Weser für den eigentlichen Stadtbereich von Bremen in Zukunft nicht mehr mit so hohen Wasserständen zu rechnen ist, wie es in früheren Zeiten vor dem Ausbau der Unterweser der Fall war. In diesem Gebiet hat ehemals der Einfluß des Oberwassers der Weser überwogen. Hier hat sich der Ausbau des Strombettes im günstigen Sinne ausgewirkt.

Die Modellversuche bestätigten, daß im Unterweser-Gebiet ein Höherauflaufen der Fluten zu erwarten ist, daß Deicherhöhungen unvermeidbar sind und daß schließlich ein wirksamer Schutz der Nebenflußgebiete durch Bau von Sperrwerken an ihren Mündungen unter tragbaren Wasserstandserhöhungen in der Weser erreicht werden kann.

3. Schwierigkeiten bei Deicherhöhungen im Raum Lesum/Wümmе

Eingangs wurde erwähnt, daß der letzte große Deichbruch im Bremer Raum an der Wümmе eintrat. Hier ist auch jetzt die Deichsicherheit infolge unzureichender Höhe der Deiche auf einer Strecke von mehr als 25 km Länge nicht mehr gewährleistet. Die erforderlichen Deicherhöhungen würden auf sehr erhebliche Schwierigkeiten stoßen.

Erstens befinden sich im Untergrund der Deiche sowohl im Lesum-Gebiet, vor allem aber im Wümmе-Gebiet unter einer Kleidecke von wechselnder Stärke Schlick-, Torf- und Moorschichten, bei denen zusätzliche Belastungen durch Deicherhöhungen sofort eine Bruchgefahr befürchten lassen. Auf den zahlreichen Schardeichstrecken am Wümmelauf ist diese Gefahr besonders groß.

Zweitens liegen auf bzw. erhöht am Deich die zahlreichen Bauerngehöfte der Ortsteile Oberblockland und Niederblockland. Es bestehen somit nicht nur Bedenken, daß bei Deicherhöhungen Grundbrüche eintreten und der ganze erhöhte Deich in die Wümmе abrutscht, was in früheren Zeiten häufig beobachtet wurde, sondern es ist auch damit zu rechnen, daß die zahlreichen Gehöfte bei Deicherhöhungsarbeiten durch Setzungen des Untergrundes Schaden erleiden, daß die Gebäude Risse erhalten, ja, daß sie sogar vom Einsturz bedroht sind. Prak-

tisch würde die Durchführung der erforderlichen größeren Deicherhöhung in diesem Gebiet bedeuten, daß ein sehr großer Teil der Gehöfte verlegt und neu aufgebaut werden müßte.

Deichboden schließlich steht in den Gebieten nicht zur Verfügung, sondern müßte unter erheblichen Kosten herangeschafft werden.

Ähnliche Verhältnisse liegen auch am anderen Wümme-Ufer im Gebiet des St. Jürgenslandes vor, wo der Deich noch etwas niedriger als der Bremer Deich ist und bei der Sturmflut kurz vor Weihnachten 1954 bereits erheblich bedroht war.

Im Deichsicherungsinteresse muß gefordert werden, daß die auf Grund der Erkenntnisse des Höherauflaufens der Fluten notwendig werdenden Deicherhöhungen auf möglichst kurze Strecken und auf das Gebiet beschränkt werden, auf dem der Untergrund solche Erhöhungen fraglos zuläßt. Dies ist das Gebiet der Weserdeiche.

4. Plan Lesum-Sperrwerk

Für das Nebenflußgebiet von Lesum, Hamme und Wümme ist die Sicherung gegen Sturmfluten durch ein Sperrwerk an der Mündung der Lesum aus den im Vorstehenden genannten Gründen die einfachste, sicherste und wirtschaftlichste Lösung (Abb. 8, links).

Hinsichtlich der Betriebsweise des Sperrwerks würde seitens der bremischen interessierten Verbände und Wasserwirtschaftsverwaltung der Wunsch bestehen, das Öffnen und Schließen des Sperrwerks der Oberwasserführung von Hamme und Wümme anzupassen. Windfluten müssen im Sommer und Sturmfluten jederzeit, im Sommer und Winter, gekehrt werden; sonst sollte das Sperrwerk geöffnet gehalten werden. Hierdurch würden erreicht:

1. Möglichst geringe Änderung der bisherigen Wasserstands- und Strömungsverhältnisse (Erhaltung des bisherigen Sielzuges und der Bewässerungsmöglichkeit für die landwirtschaftlich genutzten Gebiete).
2. Keine Veränderung der Geschiebepbewegung in Weser, Lesum, Hamme und Wümme, da sonst vermutlich die Gefahr von Fahrwasserverflachungen in der Unterweser und von Aufsandungen des Flußbettes von Hamme, Wümme und Lesum besteht.
3. Keine Störung der Abwasseraufnahmefähigkeit von Lesum und Wümme (Abwassereinleitungen aus dem Ortsteil Lesum, aus Osterholz-Scharmbeck, Ritterhude, Lilienthal und aus den Notauslässen von Bremen).
4. Keine Behinderung der Schifffahrt und des Wassersports.
5. Keine Störung der Fischereiverhältnisse.
6. Erhaltung der natürlichen Verhältnisse der Flußgebiete (Naturschutz).

5. Weitere Abschleusungen

Wenn die Bedeutung einer künftigen Abschleusung der Lesum zum Schluß der Ausführungen herausgestellt wurde, so ist dies im Hinblick auf die besondere Dringlichkeit dieser Planung sowohl für das Bremer Gebiet am rechten Weserufer als auch für die niedersächsischen Niederungen an Hamme und Wümme geschehen. Zweifellos kommt auch der Frage der Abschleusung der Hunte für die Stadt Oldenburg und der Ochtum für das bremische und niedersächsische Gebiet am linken Weserufer im Rahmen der notwendigen Sicherungsmaßnahmen hervorragende Bedeutung zu. Im Rahmen dieses Berichtes näher darauf einzugehen, würde aber zu weit führen und die gesteckten Grenzen überschreiten.

VI. Zusammenarbeit von Bund und Ländern

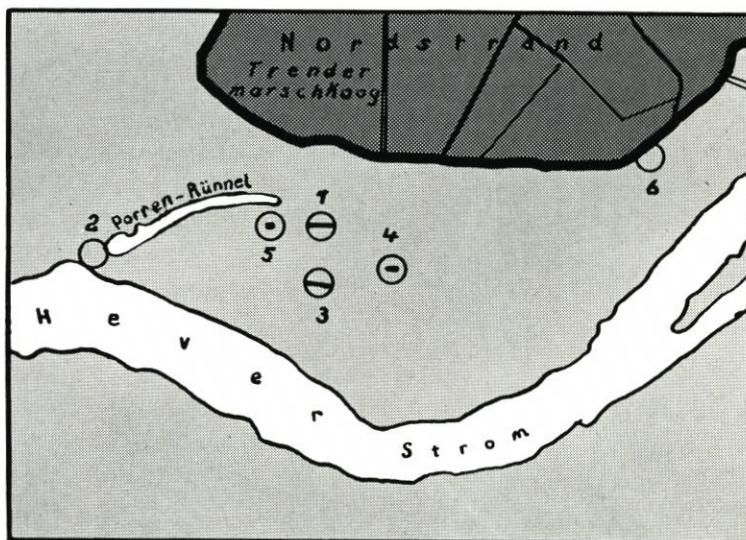
Abschließend sei dem Wunsch und der Hoffnung Ausdruck gegeben, daß es gelingen möge, die als notwendig erkannten Maßnahmen zur Wiederherstellung der Deichsicherheit durchzuführen und abzuschließen, ehe eine neue Katastrophensturmflut eintritt.

Möge der Geist der guten Zusammenarbeit zwischen Dienststellen des Bundes und der Länder Niedersachsen und Bremen, wie er sich beim Bau der Geesteabschleusung und bei dem Modellversuch für die Unterweser bewährt hat, für den gesamten Unterweserraum ein gutes Omen sein.

Eine alte Landoberfläche und Kulturspuren im Nordstrander Watt

Von Andreas Busch

Von Nordstrander Deicharbeitern, die reichlich 1 km südlich des Trendermarschkooges im Watt ihre Fischnetze (Büttsticken) auszusetzen pflegen, sowie von dem Bauern HANS CHR. JENSEN aus dem genannten Koog erfuhr ich bereits vor Jahren, daß dort im Watt Reste einer Schleuse und sonstige Kulturspuren freigespült worden seien. Daraufhin habe ich am 9. Juni, 13. Juli, 12. und 28. Oktober des Jahres 1937 in Begleitung von Hans Chr. JENSEN die gemeldeten Funde an Ort und Stelle in Augenschein genommen, eingemessen und fotografiert. Das in Frage stehende Gebiet ist in der Karte [Abb. 1 (1)] wiedergegeben.



Zeichnung HARBECK

Abb. 1. Die Lage der neuen Fundstellen im Watt zwischen der Insel Nordstrand und dem Hever-Ström

- | | |
|---|--|
| 1 = Alte Schleuse | 4 = Pfahlwerk mit Weidengeflecht
als Deichsicherung |
| 2 = Feldeinteilung | 5 = Rest einer Warf mit vier Sodenbrunnen |
| 3 = Graben in der
untergegangenen Flur | 6 = Untergegangener Friedhof von Hersbüll |

Dort, im oberen Gebiet des Porren-Rünnels, fanden wir die restlichen Holzteile einer einstigen Schleuse. Diese waren größtenteils von einer weichen Schlickmasse verdeckt¹⁾. In der kurzen Ebbezeit am 13. Juli 1937 gelang es, einen kleinen Teil freizugraben (Abb. 2)²⁾.

¹⁾ Als ich mich 1921 mit der Rungholtforschung zu beschäftigen begann, zeigte mir der Deicharbeiter HARRO MICHELSEN zum ersten Mal im Nordstrander Watt südlich Trendermarsch Reste einer Schleuse und eine Strecke eines Deichuntergrundes, in welchem auch Äste und Baumwurzeln steckten. Es wird sich um dieselbe Schleuse und denselben Deichuntergrund gehandelt haben, die ich hier beschreibe.

²⁾ Hieran beteiligte sich auch Dr. TIDELSKI.



Abb. 2.
Der Rest einer
ehemaligen
Schleusenammer
wird freigelegt
Aufn. A. BUSCH



Abb. 3.
Ehemalige Land-
oberfläche als
Untergrund des
vernichteten Deiches
Aufn. A. BUSCH

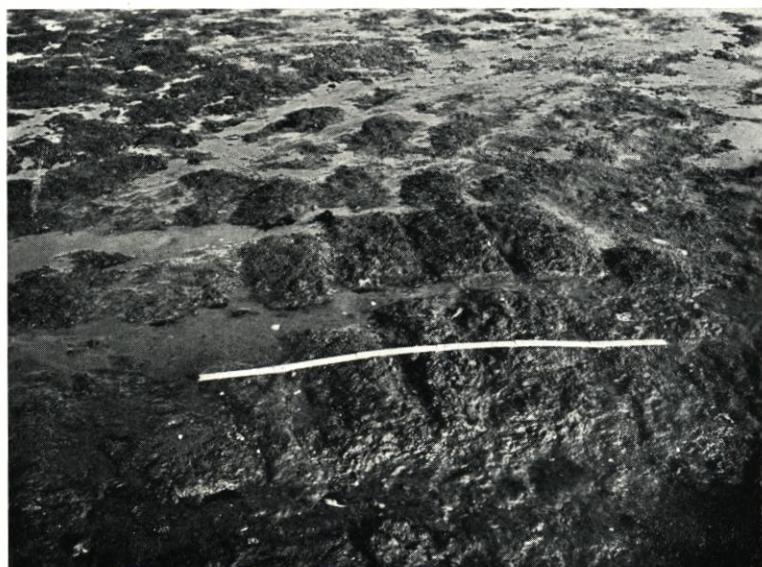


Abb. 4.
Eine Sodenpackung
vermutlich als
Sicherung gegen einen
ehemaligen Deichschaden
Aufn. A. BUSCH

Die Bohlen der Schleusenkammersohle waren teilweise bis zu 38 cm breit, während die Seitenwandbalken 25 cm hoch und 12 bis 15 cm dick waren. Letztere waren durch Holzpflocke zusammengefügt gewesen, wie die Plocklöcher noch erkennen ließen. Die lichte Weite der Kammer hatte 1,05 m betragen. Die Länge der Schleusenammer konnte nicht festgestellt werden³⁾. Quer zu ihrer Längsrichtung war hier noch die Basis vom ehemaligen Deich in einer Länge von 270 m und einer Breite von 11 bis 14 m (Abb. 3) erkennbar. An der Binnenseite war dort, wo der Sielzug in die Schleuse einmündete, eine Anzahl dickerer Pfähle eingerammt, die wahrscheinlich die Böschungen befestigt haben.

Bei dem hier in west-östlicher Richtung verlaufenden Untergrund des einstigen Deiches (Abb. 3) handelt es sich um die ehemalige Landoberfläche. Auffallend war der geringe Betrag von nur 0,60 m, um den die Schleusensole tiefer lag als die einstige Landoberfläche, so daß die Entwässerung der damaligen Marsch sehr mangelhaft gewesen sein muß.

Auch waren hier noch Grüppen aus der Zeit vor dem Deichbau erkennbar (Abb. 3). Das Bild zeigt ganz im Hintergrund, daß der Untergrund infolge der Deichlast muldenartig eingedrückt war. Die Tiefe dieser Mulde betrug bis zu 30 cm.

Zu Osten in der Richtungslinie des Deichuntergrundes stellte ich auf einer Fläche, die etwa die Größe einer Viehtränkkuhle hatte, gepackte Soden fest (Abb. 4). Sie hatten folgende Größen: 50 × 18, 55 × 20, 44 × 20 und 48 × 20 cm. An einer Stelle war Reisig mit hineingepackt. Nachdem ich mit dem Spaten mehrere Schichten ausgegraben hatte, wurde mir der Zweck dieser Sodenpackung verständlich. Hier muß ein kleiner Deichdurchbruch gewesen sein. Ein kleiner Kolk (Wehle) war bereits herausgespült gewesen, und um diesen zu verstopfen, hat man Sode an Sode und Schicht auf Schicht gelegt⁴⁾.

Übrigens zeigte der Deichuntergrund in bezug auf das frühere Pflanzenleben noch einen wichtigen Oberflächenaufschluß aus der Zeit vor dem betreffenden Deichbau. Es kam hier nämlich als obere Schicht eine etwa 25 cm dicke, moorige Schicht zutage, in der außer Moorpflanzen auch Baumwurzeln (Abb. 5), Äste und Zweige von Erlen und Weiden lagen. Sie bezeugen somit eine Süßwasservegetation. Es muß also eine Zeit gegeben haben, in der diese Gegend noch nicht unter dem Einfluß des salzigen Meerwassers lag.

Außer diesen sind noch andere Funde und Beobachtungen von Interesse.

Am 9. Juni 1937 fanden wir etwas weiter nach Südosten eine zweite Schleuse, die abgespundet, also planmäßig außer Betrieb gesetzt worden war. Diese Fundstelle ist danach mit Sand und Schlick überlagert und seitdem nicht wieder gesehen worden.

Ungefähr dort, wo der Porren-Rünnel in den Heverstrom mündet [Abb. 1 (2)], beobachtete der Kaufmann und Jäger O. SCHLICHTING am 24. August 1935 deutliche Spuren einer einstigen landwirtschaftlichen Bodenbearbeitung. Auch fand er einen eigenartigen, unglasierten Kugeltopf (Krug), an dem der Hals fehlt und der weder Füße noch eine Standfläche hat⁵⁾.

Etwa 1600 m südlich vom heutigen Außendeich des Trendermarschkooges fand HANS CHR. JENSEN 1937 im Watt [Abb. 1 (3)] in beträchtlicher Längenausdehnung sich mitunter kreuzende Reihen von daumen- bis armdicken Ästen von Erlen und Weiden. Der Abstand der Äste, die noch 5 bis 15 cm aus dem Watt ragten, betrug nur 6 bis 8 cm voneinander. Die Stöcke waren unten angespitzt. Eine derartige Fanganlage, die bis vor vierzig Jahren bei uns

³⁾ Die Kammerlänge der älteren Schleuse (13. bis 14. Jahrhundert) im Rungholt-Watt betrug ungefähr 25 m (vgl. BUSCH 1923).

⁴⁾ Lose Erde war natürlich nicht zum Halten zu kriegen. Auch konnten die Soden von Hand zu Hand bis an die Verwendungsstelle gereicht werden, wohin man mit Pferd und Wagen nicht immer gelangen konnte. Schiebkarren gab es damals nicht.

⁵⁾ Das Stück wird im Nissenhaus in Husum aufbewahrt.



Abb. 5.
Baumwurzel in
Wachstumslage auf dem
moorigen Deichunter-
grund der Abb. 3
Aufn. E. WOHLBERG,
Juni 1950



Abb. 6.
Der Rest einer Warf
am heutigen
Porrenrönnel
(vgl. Fundplatz 5
auf Abb. 1).
Im Hintergrund die
Insel Nordstrand
Aufn. E. WOHLBERG,
Juni 1950



Abb. 7.
Auf dem am
Porrenrönnel liegenden
Warfrest konnten vier
Sodenbrunnen fest-
gestellt werden
(vgl. Abb. 1 [5]
und Abb. 6)
Aufn. E. WOHLBERG,
Juni 1950

noch gebräuchlich war, nennt man „Sticken“ (von „einstecken“) und, dem Fangzweck entsprechend, auch „Büttsticken“⁶⁾. Der vorherrschende Bestand an Erlenästen spricht dafür, daß die Fangeinrichtung alt ist, denn im neuen Nordstrand gibt es heute fast keine Erlen.

In unmittelbarer Nähe dieser Fischfangeinrichtung fanden HANS CHR. JENSEN und ich am 23. Juni 1940 einen gut erkennbaren, 50 bis 60 m langen Graben, der in West-Ost-Richtung bis auf eine kurze Biegung am östlichen Ende gradlinig verlief. Durch Kreuzpeilung nach bekannten Landmarken konnten wir die Stelle festlegen und in unserer Wattkarte vermerken. Der im Watt draußen [Abb. 1 (3)] festgestellte Graben spricht dafür, daß dort, nicht sehr weit vom heutigen Heverstrom entfernt, Kulturland, also einstmals eingedeichtes Land, gewesen ist. Für diese Annahme spricht noch ganz besonders eine Fundstätte [Abb. 1 (4)], die der Bauingenieur HARBECK von der Forschungsstelle Westküste in Husum im Jahre 1938 gelegentlich der Wattvermessung fand. Dort ragten viele etwa 8 bis 10 cm dicke Pfähle, fast flach liegend, aus dem Watt heraus. Stellenweise waren diese Pfähle durch ein regelmäßiges Weidengeflecht miteinander verbunden. Als dann diese Fundstätte in Anwesenheit des Watten- und Warfenforschers Dr. BANTELMANN freigegeben wurde, erkannten wir zu dritt, daß es sich hier um eine Sicherungsmaßnahme für einen Deich handeln mußte. Es wurden alsdann von HARBECK Einzelvermessungen (Pfahlstärken, -längen und -abstände) vorgenommen und auch fotografische Nahaufnahmen gemacht⁷⁾.

Zum Abschluß dieses Berichtes möchte ich noch auf einen Siedlungsplatz in dem gleichen Wattgebiet eingehen. Nach meinem Watten-Tagebuch machte ich zusammen mit HANS CHR. JENSEN am 18. Juni 1944 abermals eine Wattenwanderung. Schon von weitem erkannten wir, daß sich ein größerer Bezirk dunkel von den übrigen Watten abhob. Als wir dort hinkamen, stellten wir fest, daß hier in der Nähe des Porren-Rünnels in größerer Ausdehnung alter Kulturboden und auch Flachmoorstellen (Abb. 6 und 7) freigespült zutage lagen. Besonders deutlich erkennbar lag hier eine größere — heute natürlich eingeebnete — Warf mit vier Sodenbrunnen und einer breiten Graft an den Seiten [Abb. 1 (5)]. Die Größe der Warfbasis betrug 48×35 m. Die Forschungsstelle Westküste, die hier auch die Wattenvermessungen vornehmen ließ, hat diese Siedlungsstätte in dankenswerter Weise in allen Einzelheiten vermessen. Nach fünf Höhenmessungen lag die Warfbasis am 1. Februar 1949 auf NN — 0,34 m. Da südlich Nordstrand das MThw heute auf etwa NN + 1,41 m liegt, so liegt die Warfbasis 1,75 m unter dem heutigen MThw.

Nach 1949 ist besonders JENSEN mehrmals im Jahre dort draußen gewesen. Dann wurde stets die ehemalige Graft nach Funden, besonders nach Topfscherben, abgesucht. Es darf angenommen werden, daß diese Wohnstätte im 14. Jahrhundert zerstört wurde. Die zahlreichen an dieser Stelle gefundenen Scherben werden gesondert bearbeitet. Außerdem fand JENSEN noch zwei heile Krüge rheinischer Keramik (Abb. 8). Auch hiernach ist es recht wahrscheinlich, daß diese Wohnstätte durch eine Sturmflut zerstört, also nicht vorher vorsorglich aufgegeben wurde. Außer den rheinischen Krügen fand JENSEN Kleider- bzw. Lederbeschlüge aus Bronze und Messing. Nach dem Urteil von Sachkennern werden sie, besonders im Hinblick auf die Verzierungen, als spätromanisch (14. Jahrhundert) datiert (Abb. 9)⁸⁾.

Außer diesen Keramiken und Beschlügen wurden hier Teile eines Wagenrades, ein kleines Holzfaß sowie Teile von Holzsohlen geborgen (BUSCH 1956).

⁶⁾ Bütt = Plattfische.

⁷⁾ Die Bearbeitung dieses Fundplatzes hat Dr. BANTELMANN übernommen. Er wird die Einzelheiten demnächst veröffentlichen.

⁸⁾ Die Metallteile liegen in der Schausammlung (Rungholt-Abteilung) des Nissenhauses in Husum.



Abb. 8.
Rheinisches Steinzeug
(14. Jh.). 1947
und 1948 bei der Warf
am Porrenrönnel
(Abb. 1, 6 und 7)
von HANS CHR. JENSEN,
Trendermarsch, gefunden
und dem Nissenhaus
geschenkt
Aufn. Archiv Nissenhaus
Husum

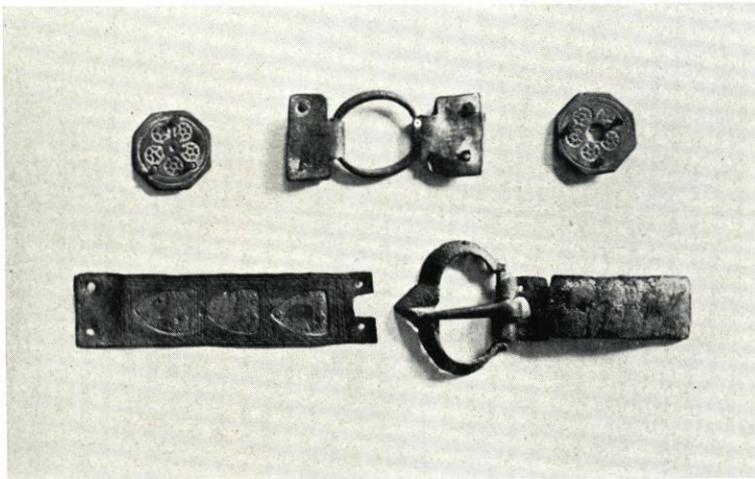


Abb. 9.
Lederbeschläge und
Riemenspangen
(14. Jh.). Gefunden
und dem Nissenhaus
geschenkt von
HANS CHR. JENSEN,
Trendermarsch (Fundort
wie bei Abb. 8)
Aufn. Archiv Nissenhaus
Husum



Abb. 10.
Warfrest südlich
Trendermarsch. Durch
die Auflast der ehemali-
gen Warf bildet der
zentrale Teil heute eine
muldenartige Vertiefung
gegenüber den
Randzonen der Warf
Aufn. A. BUSCH

In nächster Nähe dieser Warf fiel uns in den letzten Jahren eine weitere Fläche auf, wo die freigespülte Flachmoorschicht im ovalen Umkreise bis zu etwa 40 cm eingedrückt war, so daß es von weitem aussah, als befände sich hier ein Teich (Abb. 10). Auch in diesem Fall dürfen wir die flache Vertiefung auf eine stärkere Zusammenpressung durch Erddruck, also durch die Auflast einer einstigen Warf, zurückführen. Allerdings ist es bei dieser Warf nicht wahrscheinlich, daß es sich um eine Wohnstätte handelt. Wir fanden dort nämlich weder Topfscherben noch Ziegelsteine noch einen Brunnen. Bei der vorher beschriebenen Warf fanden wir in der Graft nur vereinzelte Ziegelbrocken. Vielleicht dürfen wir angesichts der hier fehlenden Kulturreste annehmen, daß hier eine alte Kirchstätte gelegen hat, die 1362 oder noch früher zerstört wurde. Nach meinen früheren Untersuchungen muß in dieser Gegend Uthermarschlot gelegen haben (BUSCH 1956 und unveröffentlichtes Manuskript über „Sax' CLADES RUNGHOLTINA“).

Wie die Karte (Abb. 1) zeigt, sind also im Nordstrander Watt im Abschnitt südlich Trendermarsch allein an fünf Stellen Kulturspuren nachweisbar. Somit kann man sagen, daß fast auf allen Watten vor der nordfriesischen Festlandsküste immer wieder, besonders durch Strom- und Prielverlagerungen, Kulturspuren aus alter Zeit sichtbar werden. Aber leider sind nicht immer Beobachter rechtzeitig zur Stelle, um die Funde zu kartieren und vor weiterer Vernichtung zu bewahren. Die oben geschilderten Funde aber können nunmehr in die weitere Forschungsarbeit einbezogen werden, nachdem sie durch Aufgrabung freigelegt und ihre Standorte nivellistisch eingemessen wurden, wofür der Forschungsstelle Westküste des Marschenbauamts Husum auch an dieser Stelle gedankt sei.

Schriftenverzeichnis

- BANTELMANN, A.: Das nordfriesische Wattenmeer, eine Kulturlandschaft der Vergangenheit. Westküste 2, 1, 1939.
BUSCH, A.: Die Entdeckung der letzten Spuren Rungholts. Jahrb. Nordfr. Ver. 10, 1923.
BUSCH, A.: Handwerkliche Wattfunde. Die Heimat 63, 1956.
WOHLENBERG, E.: Das Watt schreibt unsere Geschichte. Ztschr. Ostfriesland 3, 1955.

Zur Frage der gegenwärtigen Senkung der schleswig-holsteinischen Ostseeküste

Von Rolf Köster

Inhalt

I. Einleitung	131
II. Der Wasseranstieg an der schleswig-holsteinischen Ostseeküste	132
A. Die Litorina-Transgression	132
B. Nachlitorinazeitliche Senkungserscheinungen an der schleswig-holsteinischen Ostseeküste	133
1. Vorbemerkungen zur Methode	133
a) Über den Aufbau von Strandwällen	133
b) Zur Morphologie der Kliffs	136
c) Zur Lage ur- und frühgeschichtlicher Siedlungen im Küstenraum	137
2. Die Küstenabschnitte	137
a) Die Flensburger Förde	137
b) Die Schlei	137
c) Die Eckernförder Bucht	138
d) Die Kieler Förde	140
e) Die Hohwachter Bucht	140
f) Ostwagrien und Fehmarn	141
g) Die Lübecker Bucht	143
h) Der Unterlauf der Trave	146
III. Vergleich mit benachbarten Küsten	150
A. Die südliche Ostseeküste östlich der Trave	150
B. Die dänischen Inseln und Schweden	151
IV. Zusammenfassende Betrachtung der geologischen Untersuchungen	151
V. Die Pegelmessungen	152
VI. Die Bewegungskomponenten	153
VII. Kurzer Vergleich mit der schleswig-holsteinischen Nordseeküste	155
VIII. Überlegungen zur zukünftigen Entwicklung	156
IX. Zusammenfassung	156
X. Schriftenverzeichnis	157

I. Einleitung

An zahlreichen Orten der schleswig-holsteinischen Ostseeküste sind ebenso wie in der gesamten Umgebung der südlichen Ostsee Hinweise auf jüngere Senkungen des Landes im Verhältnis zum Meeresspiegel bzw. einen Anstieg des Wassers im Verhältnis zum festen Land zu finden. Die bisherigen Beobachtungen erlauben jedoch noch keine weiträumige Erfassung der gegenwärtigen Vorgänge. Sie beruhen vor allem auf Bohrungen mit pollenanalytischer Datierung der Schichten und Transgressionskontakte sowie auf der Auswertung von Pegelmessungen. Deshalb wurde der Versuch unternommen, aus den küstenmorphologischen Formen und aus der Lage ur- und frühgeschichtlicher Funde weitere Anhaltspunkte zu gewinnen, um die großräumigen Vorgänge und Bewegungen beschreiben zu können. Weiterhin ist zu betrachten, ob eine Trennung von eustatischen Wasserstandsschwankungen und tektonischen Bewegungen des Landes möglich ist¹⁾.

¹⁾ Bei der Durchführung der von mir im Herbst 1951 zunächst unter praktischen Fragestellungen im Rahmen der von der Gewässerkundlichen Untersuchungsstelle Heiligenhafen beim Wasser- und Schiffsamt Ostsee in Kiel begonnenen Untersuchungen wurde ich von zahlreichen Fachkollegen und Dienststellen des Wasserbaues in West- und Ostdeutschland sowie Dänemark großzü-

II. Der Wasseranstieg an der schleswig-holsteinischen Ostseeküste

A. Die Litorina-Transgression

Die morphologischen Formen im Küstenraum werden bei steigendem Wasserstand oder durch spätere Abtragung schon kurze Zeit nach ihrer Entstehung leicht wieder zerstört. Dem Einfluß des Meeres können sie, wenn nicht besondere örtliche Verhältnisse vorliegen, wie es

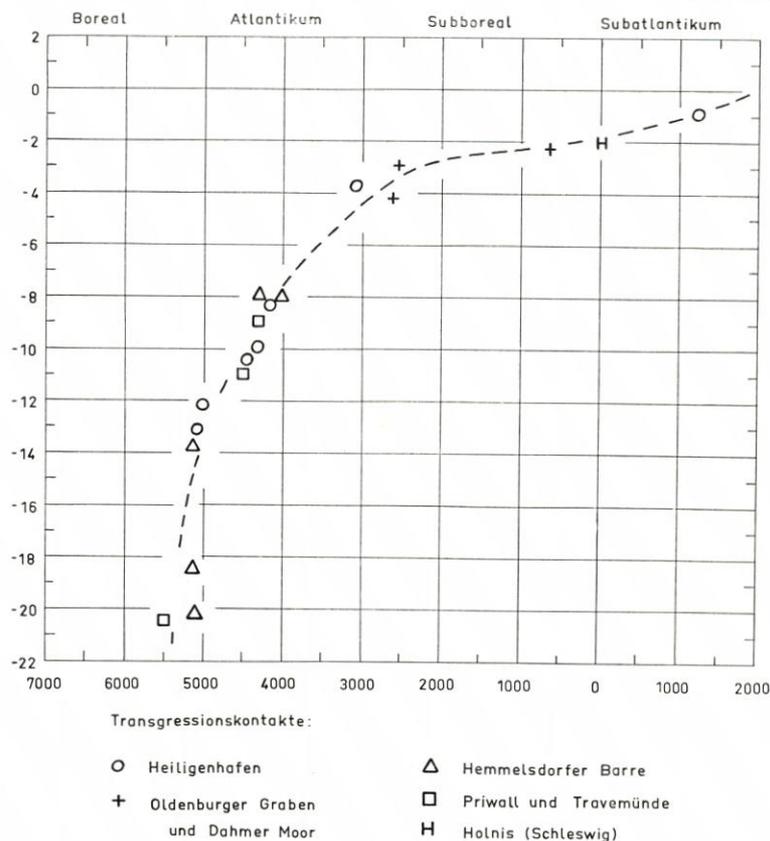


Abb. 1. Die Kurve der postglazialen Transgression in Ostholstein nach H. SCHMITZ (1953a), ergänzt nach G. SEIFERT (1955)

z. B. in der Hemmelsdorfer Barre an der inneren Lübecker Bucht (S.144) der Fall ist, auf die Dauer nur durch eine relative Landhebung entzogen werden. Deshalb bleiben bei einer relativen Senkung meist nur die Bildungen erhalten, die bei einem im Vergleich zur heutigen Lage

gig unterstützt. Allen Herren, die meine Arbeiten förderten, vor allem aber den Herren Prof. Dr. K. GRIPP, Prof. Dr. E. SEIBOLD, Prof. Dr. E. SPROCKHOFF, Prof. Dr. G. KOSSACK, Dr. E. ANER, Dr. M. PETERSEN, Dr. A. DÜCKER, Dr. C. MAGENS, Dr. G. SEIFERT, sämtlich in Kiel, Oberregierungsbaurat F. HÖHNE, Lübeck, Dr. W. NEUGEBAUER, Lübeck, Prof. Dr. TH. HURTIG, Greifswald, Prof. Dr. J. F. GELLERT, Potsdam, Prof. Dr. A. SCHOU, Kopenhagen, und Prof. Dr. J. C. BECKER, Kopenhagen, sowie der Wasser- und Schifffahrtsdirektion in Kiel möchte ich meinen herzlichen Dank aussprechen. Die Mittel zur Ausführung von Bohrungen im Gebiet von Alt-Lübeck stellte die „Deutsche Forschungsgemeinschaft“ zur Verfügung. Auch an dieser Stelle sei hierfür gedankt.

höchstens wenige Meter niedrigeren Meeresspiegel entstanden. Die Bearbeitung älterer Stadien ist aber durch Bohrungen möglich. Der Verlauf der im Nordseeraum als Flandrische Transgression bezeichneten Litorina-Transgression am Ende des Boreal, im Atlantikum und in der ersten Hälfte des Subboreal ist so besonders durch pollenanalytische Arbeiten erfaßt worden. An der Ostseeküste Schleswig-Holsteins sind es vor allem die Untersuchungen von TAPFER (1940) und SCHMITZ (1951 a, 1951 b, 1952, 1953 a, 1953 b). Aus den benachbarten Gebieten sind besonders IVERSEN (1937), JESSEN (1937), MIKKELSEN (1949) und NILSSON (1935, 1948) zu nennen.

Die Transgressionskurve von TAPFER (1940) für die schleswig-holsteinische Ostseeküste zeigt einen steilen Wasseranstieg bis etwa 2000 v. Chr. mit einer anschließenden konstanten Lage in der heutigen Höhe. Diese Aussagen wurden von SCHMITZ (1952, 1953 a, 1953 b) ergänzt und bekräftigt (Abb. 1). Nach seinen Untersuchungen in Ostholstein hörte die schnelle Hebung des Wasserstandes ebenfalls nahe 2000 v. Chr. auf, aber in einem Niveau, das etwa 3 m unter dem heutigen Meeresspiegel liegt. Aus dem anschließenden Zeitraum standen ihm nur wenige Transgressionskontakte zur Verfügung. Sie erlauben noch keine völlig sichere Darstellung der Verhältnisse, machen aber einen allmählichen Übergang in den langsamen Wasseranstieg der nachchristlichen Zeit wahrscheinlich, also der Dünkirchener Transgression des Nordseeraumes (Abb. 1). Hier beginnt der mit morphologischen Methoden erfaßbare Zeitabschnitt.

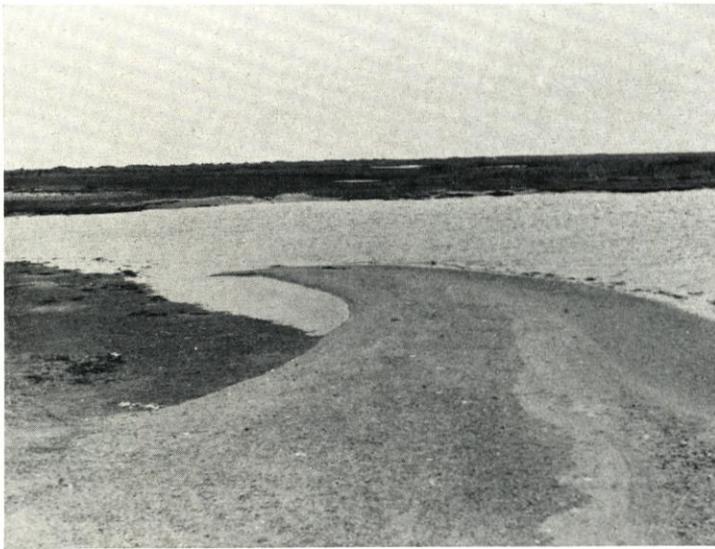


Abb. 2.
Flacher Sandhaken
im Anschluß an einen
Strandwall des Krumm
Steert (Südwest-Fehmarn)
Aufn. R. KÖSTER, September 1952

B. Nachlitorinazeitliche Senkungserscheinungen an der schleswig-holsteinischen Ostseeküste

1. Vorbemerkungen zur Methode

a) Über den Aufbau von Strandwällen

Zur Untersuchung relativer Wasserstandsschwankungen in der jüngeren Vergangenheit eignen sich vor allem die küstenmorphologischen Formen. An den Steilufern können, außer in Gebieten relativer Landhebung, in der Regel wegen des ständigen Abbruchs und Küstenrückgangs nur kurzzeitige Bildungen auftreten. Deshalb sind in erster Linie die Strandwälle in den Aufschüttungsgebieten, den Höftländern, Haken und Nehrungen, zu betrachten.

Die Anlage von Höfländern, Haken und Nehrungen erfolgt meist dort, wo die Ausgangsküste mehr oder weniger scharf zurückspringt und eine Bucht bildet (MARTENS 1927). Der Küstenstrom behält hier aber anfangs noch die alte Richtung bei. Er verteilt sich jedoch über ein größeres Gebiet, wodurch die Transportkraft abnimmt. Am Eingang der Bucht wird deshalb Sand aufgeschüttet (MARTENS 1927). Diese Sedimentation dringt im Laufe der Entwicklung immer weiter in die Bucht hinein vor und höht so den Meeresboden allmählich auf.

Wenn die Oberfläche der Riffzone bis fast an den mittleren Wasserstand heranreicht, kann der Aufbau von Strandwällen beginnen. Als erstes erscheinen bei weit überwiegendem Längstransport und Wachstum in die Bucht hinein in der Regel aus den Riffen hervorgehende kleine Sandhaken (Abb. 2). Sie ragen nur wenig aus dem Wasser heraus. Am Ufer liegt meist eine höftartige Bildung. An diese schließen sie sich in größerer Zahl so hintereinander an, daß sie insgesamt einen längeren nach rückwärts in die Bucht hinein durchgebogenen Haken bilden, der bei einer Höhe von wenigen Dezimetern über dem mittleren Wasserstand weit mehr als hundert Meter Länge erreichen kann (KÖSTER 1955). Diese Aufbauform ist noch sehr unbeständig. Bei jeder stärkeren Wasserbewegung erfolgen Umlagerungen, und neues Material wird antransportiert. Sie höhen sich auf, und die Gliederung in Einzelzungen wird zunehmend undeutlicher. Stärkere Brandung bei Sturmfluten kann auch größere Gerölle aufwerfen, so daß schließlich als dauerhafte Form ein Strandwall entsteht (Abb. 3).

Außerhalb der schnell in der Längsrichtung wachsenden Aufschüttungsgebiete erfolgt die erste Anlage eines Strandwalls durchweg auf anderem Wege. Bei küstenparallelem Anwachs, der oft mit Quertransport verbunden ist, tauchen die Riffe meist als mehr oder weniger uferparallele, langgestreckte Sandbänke auf. Auf ihnen kann es in ähnlicher Weise zur Strandwallbildung kommen, jedoch sind hier wegen der nur langsamen Ortsveränderung der Schwerpunkte des Geschehens stärkere Umlagerungen zu erwarten.

Die Höhe der Strandwälle hängt von der Brandungsenergie der den Aufbau abschließenden Sturmflut ab. Für sie sind vor allem die Windstärke und die Exposition des jeweiligen Küstenabschnittes zur Windrichtung maßgeblich. Weiterhin spielen die Größe der freien Wasserfläche und der Verlauf der Tiefenlinien eine Rolle. Es gibt Strandwälle, die nur einem einzigen Hochwasser ihre Entstehung verdanken. Ihr Profil zeigt einen sehr einfachen Aufbau (KÖSTER 1955). Über den Sanden der Riffzone und der kleinen und flachen Haken folgen Gerölle als Sturmflutablagerung (Abb. 4). Meist ist der Aufbau aber komplizierter. Die einfache Schichtung setzt voraus, daß die Sturmflut und ihre Brandungsenergie einen sehr hohen Betrag erreichen. Sind sie dagegen schwächer, dann ist der Strandwall gegenüber schweren Wetterlagen noch instabil. In diesem Falle wird neues Material hinzugefügt, und Umlagerungen können stattfinden. Eine mehrfache Wiederholung der Vorgänge kann sich im Profil in einem häufigen Wechsel von feinerem und gröberem Material zeigen (Abb. 5). Für die endgültige Höhe sind durchweg die stärksten im jeweiligen Küstenabschnitt häufiger auftretenden Sturmflutbedingungen entscheidend. An der freien Außenküste erreicht sie meist etwa 3 m. In geschützten Buchten ist sie geringer.

In entsprechender Weise bilden sich im Anschluß an den ersten Strandwall weitere (KÖSTER 1955). Das System wächst als Haken in die Bucht hinein, während gleichzeitig sein Hals im Anschluß an den Aufhängepunkt, meist ein Kliff, zurückverlegt wird. Wenn er das gegenüberliegende Ufer erreicht, wird er zu einer Nehrung. Von Höfländern spricht man dann, wenn sich die erste Aufschüttung wegen eines zu steilen Abfalls des Meeresbodens nicht von der Küste ablösen kann, so daß ein etwa dreieckiger Strandvorsprung entsteht (MARTENS 1927).

In diesen Bildungen bleiben die Strandwälle, oder zumindest Teile von ihnen, aus früheren Stadien der Küstenentwicklung erhalten. Vergleicht man die Höhen, dann müssen sich etwaige langfristige Schwankungen der Sturmflutwasserstände und ihrer Brandungsenergie abzeichnen. Findet man dabei innerhalb eines Höftlandes, eines Hakens oder einer Nehrung mit großer Regelmäßigkeit eine einseitige Verschiebungstendenz, die sich nicht durch örtliche Sonderbedingungen, wie z. B. einer während des Aufbaus veränderten Exposition der Küste, erklären läßt, muß sie auf eine entsprechende Schwankung des Meeresspiegels zurückgeführt werden. Das Erscheinungsbild der „aufsteigenden Strandwälle“ bei steigendem Wasserstand ist in schematischer Form in der Abbildung 6 b skizziert. Bei fallendem Meeresspiegel stellen sich die umgekehrten Verhältnisse ein. Auf diesem Wege lassen sich also aus der großen Zahl von Strandwällen innerhalb eines Aufschüttungsgebiets über die relativen Veränderungen der Strandwallhöhen unter im wesentlichen unveränderten örtlichen Bedingungen Schlüsse auf Wasserstandsschwankungen ziehen, obwohl aus einem einzelnen Strandwall der Wasserstand nicht abgeleitet werden kann.



Abb. 3.
Küstenparalleler
Strandwall an der
Westseite der
Markelsdorfer Huk
(Nordwest-Fehmarn)
Aufn. R. KÖSTER, August 1952



Abb. 4.
Aufschluß an einen
Strandwall an der
Nordküste von Fehmarn
bei Altentheil mit grobem
Sturmflutgeröll über Sand
Aufn. R. KÖSTER, September 1952



Abb. 5.
Schichtung in einem
Strandwallkliff an der
Westküste von Fehmarn
beim Leuchtturm Flügge
Aufn. R. KÖSTER, Oktober 1952

Der Zusammenhang zwischen der Stärke der Sturmfluten bzw. der Brandung und den Strandwallhöhen ist weniger deutlich, wenn die Materialbilanz des Strandes sehr unausgeglichener ist. Bei schwacher Ansandung können die Strandwälle nur eine geringere Höhe erreichen. Meist dürften aber für den Aufbau in einem Gebiet während längerer Zeiträume ähnliche Bedingungen vorliegen. Zudem hinterlassen größere Abweichungen ihre Spuren im Sedimentbild, so daß Täuschungen beim Vergleich vermeidbar sind.

In der Regel werden die Strandwälle schon bald nach ihrer Anlage von einer geschlossenen Vegetationsdecke überzogen (Abb. 14). Sie sind dann kaum noch weiteren Veränderungen unterworfen. Fehlt der Pflanzenbewuchs jedoch oder wird er später zerstört, sind Umformungen durch Wind und Wasser auch nach längerer Zeit möglich. Aus Wällen mit sehr viel feinkörnigem Material entstehen durch Auswehung von Sand kleine Dünen (Abb. 7 und 8)²⁾. Hohe Wasserstände können dagegen auf die ungeschützte Oberfläche zerstörend wirken. Wenn derartige Spuren vorliegen, ist ein sicherer Vergleich nicht durchführbar.

Weitere mögliche Fehlerquellen liegen darin, daß nach dem Aufbau der Strandwälle in weichen Schichten des Untergrundes Setzungen erfolgen können. Deshalb ist diese Frage mit in die Untersuchungen einzubeziehen.

b) Zur Morphologie der Kliffs

Die morphologischen Formen der Steilufer können bei relativer Landhebung bis in alle Einzelheiten erhalten bleiben, bei relativer Landsenkung sind dagegen nur in Ausnahmefällen Beobachtungen zur Küstensenkung möglich. Voraussetzung ist die Erhaltung alter Formen durch Schutz vor Veränderungen, wie z. B. früherer Abschluß vom Meer durch vorgebaute Strandwälle und Bewuchs des Hanges.

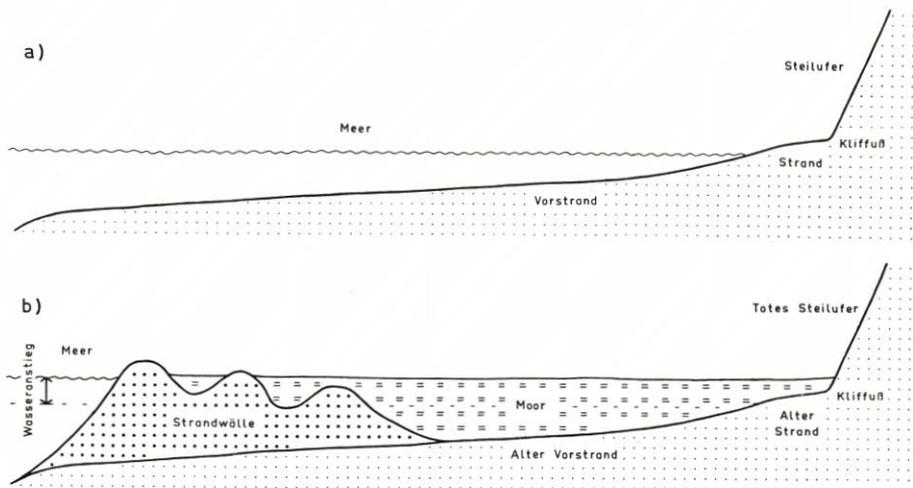


Abb. 6a. Profil eines aktiven Steilufers an der schleswig-holsteinischen Ostseeküste

Abb. 6b. Schematisches Profil eines toten Steilufers im Schutz von aufsteigenden Strandwällen nach relativer Küstensenkung

Ein Kliff in diluvialen Lockergesteinen zeigt über dem flach ansteigenden Strand einen scharfen Übergang zur mehr oder weniger steilen Wand (Abb. 6 a). Dieser Kliffuß hat nach KANNENBERG (1951) fast immer eine Höhe von mehr als einem Meter über dem mittleren Wasserstand. Findet man nun an toten Steilufers hinter Höftländern, Haken und Nehrungen durch Bohrungen den Kliffuß unter dem heutigen NN, so liegt ein eindeutiger Beweis für eine relative

²⁾ Der Aufbau von Dünen kann auch schon in früheren Entwicklungsstadien einsetzen. Einzelheiten der Dünenbildung sind hier jedoch uninteressant, weil sie keine Aussagen zur Fragestellung erlauben.

Küstensenkung nach der Anlage des Steilufers vor (Abb. 6 b), da Setzungen und andere Störungen der morphologischen Verhältnisse ausgeschlossen sind. Aufgabe weiterer Untersuchungen ist die Datierung der Vorgänge, insbesondere durch pollenanalytische Arbeiten, wenn der alte Strand von Moor überlagert wird.

c) Zur Lage ur- und frühgeschichtlicher Siedlungen im Küstenraum

Eine weitere Möglichkeit zur Festlegung junger Wasserstandsschwankungen besteht durch die Untersuchung ur- und frühgeschichtlicher Siedlungen und Anlagen nahe der Küste. Funde unter dem Wasserspiegel machen eine relative Landsenkung wahrscheinlich. Die günstigsten Bedingungen bieten im Zusammenhang ausgegrabene Anlagen, da sie Täuschungen durch Umlagerungen ausschließen. Es muß aber versucht werden, den möglichen Anteil von Setzungserscheinungen zu bestimmen.

2. Die Küstenabschnitte

Die Flensburger Förde wird durch die weit nach Norden vorstoßende Halbinsel Holnis in zwei Abschnitte geteilt. In beiden gibt es selbständige Strömungssysteme, die an der genannten Halbinsel aufeinandertreffen. In der Außenförde ist der Küstenversatz nach Westen, in der Innenförde nach Nordosten gerichtet. Die im Bereich von Holnis liegende dynamische Grenze hat sich nach Kartenvergleichen seit etwas mehr als einem halben Jahrhundert nach Osten verschoben und macht damit eine Veränderung der vorher bestehenden Gleichgewichtsverhältnisse wahrscheinlich (KÖSTER 1958). Das Holnis Noor am Hals der Halbinsel wird nur im Osten, also an der Außenförde, durch einen Strandwall von der Ostsee abgetrennt. Zur Innenförde hin befindet sich ein Deich, der erst 1924 errichtet wurde. Die Niederung wird künstlich entwässert. In ihr konnte TAPPER (1940) in 2,05 m Tiefe unter NN einen Transgressionskontakt erbohren. Das Profil wurde später von SCHMITZ (1953 a) neu gedeutet. Er ermittelte den Zeitraum nahe Christi Geburt.

Die kleineren Höfländer von Bockholmwik und Langballigau werden durch Strandwälle aufgebaut, die keine wichtigen Beobachtungen zur Fragestellung erlauben. Bemerkenswert sind dagegen die Verhältnisse in der Geltinger Birk an der Nordspitze der Geltinger Halbinsel. Sie besteht aus einem ausgedehnten Strandwallsystem, dessen älteste Teile ein Alter von etwa einem Jahrtausend haben (KÖSTER 1958). Die einzelnen Wälle werden überwiegend aus Geröll gebildet und sind nur selten überdünt. Die Aufschüttung erfolgte auf einer Abrasionsfläche. Deshalb sind Sackungen im Untergrund nicht zu erwarten. Die Strandwälle sind um so niedriger, je früher ihre Anlage erfolgte. Da das Gebiet an der offenen Meeresküste liegt und sich die Exposition zum Wind während der Aufschüttung nicht verändert hat sowie weiterhin auch eine regelmäßige Zunahme der hier vor allem wirksamen östlichen Winde während des letzten Jahrtausends nicht denkbar ist, liegt also ein eindeutiger Hinweis auf einen allmählichen Anstieg des Wassers vor.

Die kleineren Strandwallgebiete an der dänischen Nordküste der Flensburger Außenförde ergeben durchweg keine sicheren Beobachtungen. Die „Birk“ an der Südküste von Alsen wird landwirtschaftlich genutzt und ist fast völlig planiert worden.

b) Die Schlei

Vor dem Mündungstrichter der über 40 km langen und sehr schmalen Schlei liegen Strandwallsysteme, welche die natürlichen Öffnungen weitgehend verbaut haben. In der alten nördlichen Mündung im Wormshöfter Noor zwischen Angeln und dem Diluvialgebiet Öhe — Maasholm sind Einzelheiten des morphologischen Aufbaus nur noch teilweise zu erkennen, da zur Schüttung des küstenparallelen Deiches hier viel Material entnommen wurde.

Auch vor der breiteren Mündung südlich von Öhe und Maasholm liegen Haken, die von Norden und Süden aufgeschüttet wurden. Der Strandwallfächer in den Salzwiesen südlich Öhe ist nur klein und ebenfalls durch Materialentnahme stark verändert. Dagegen sind die Einzelheiten des großen südlichen Systems noch gut erhalten. Es beginnt am Kliff von Schönhagen mit einem breiten und hohen Strandwall, der sich fast genau nach Norden erstreckt. Er endet am etwa 1790 angelegten Durchstich. Hinter diesem setzt sich der Haken in der Lotseninsel in einem breiten Fächer fort, der sich im Norden in den letzten Jahren bis vor die Salzwiesen von Öhe ausgedehnt hat. Die ältesten, südlichen Strandwälle sind überdünt und kaum zu erkennen. Die jüngeren dagegen sind deutlich ausgeprägt. Zwischen beiden Abschnitten besteht kein allmählicher Übergang. Deshalb vermutet HINTZ (1955) veränderte Bildungsbedingungen. Zwischen den Phasen soll eine Ruhezeit gelegen haben. Da der Haken nach Kartenvergleichen zur Zeit des Durchstichs schon über diesen Einschnitt hinaus nach Norden reichte, dürfte allerdings kein Zusammenhang mit den technischen Eingriffen bestehen. Der Umbruch ist also einige Zeit vor dem Durchstich anzusetzen.

Die Grabungen in der Wikingerstadt Haithabu am Haddebyer Noor, nahe dem inneren Ende der Schlei, führten zu Beobachtungen, die Veränderungen des Wasserstandes wahrscheinlich machen (JANKUHN 1943). Während des Bestehens der Siedlung (9. bis 11. Jahrhundert) stieg der Unterlauf eines Baches kurz vor der Einmündung in das Noor beträchtlich an. Ein Teilbetrag ist auf einen Aufstau infolge Anhäufung von Schutt vor der Mündung, ein anderer auf einen schnellen Anstieg des Wassers während eines begrenzten Zeitraums nahe 1000 v. Chr. zurückzuführen. Er beeinflusste das unmittelbare Hinterland durch Rückstau. Spätere Untersuchungen zeigten am Ufer des Noores weitere Siedlungsreste unter dem heutigen Meeresspiegel. Sie liegen zumindest teilweise auf diluvialen Sanden und werden von Torf überdeckt (mündliche Mitteilung von Herrn Professor Dr. GRIPP, Kiel). Die Grabungen in diesem Teil von Haithabu sind noch nicht abgeschlossen. Die gesamte relative Senkung des Landes seit der Gründung der Stadt dürfte mindestens 1 m betragen.

c) Die Eckernförder Bucht

Die Nordküste der Eckernförder Bucht besteht von Langhoved bis Borby überwiegend aus Strandwallbildungen. Sie werden nur durch das Kliff von Hemmelmark unterbrochen. Die natürlichen Verhältnisse sind durch Kiesentnahme und Bebauung in starkem Umfang zerstört worden. Ähnliches gilt für den Haken vor dem Windebyer Noor, der die Stadt Eckernförde trägt, und die Nehrung vor dem Goos-See. Die Höftländer an der Südküste sind dagegen wenigstens in einigen Teilen noch unverändert erhalten. Im Strandvorsprung Kronsört finden sich östlich der Baggerstelle noch einige Strandwälle, während der Osten des Höftlandes von Noer aus sehr niedrigen Wällen gebildet wird, die nach Westen im jüngeren Teil langsam aufsteigen (SCHÜTZE 1939). Darauf folgt ein flachkuppiges Dünengelände (Abb. 7 und 8).

Bohrungen in den Küstenniederungen der Eckernförder Bucht wurden von MARTENS (1927) ausgewertet. Sowohl im Höftland von Kronsört als auch an der Nordküste befinden sich zwischen den Strandwällen und den toten Steilufern im Hinterland Moore. Sie haben sich bis über den alten Kliffuß und den ihm vorgelagerten Strand ausgedehnt. Ihre Mächtigkeit beträgt hier 1,5 bis 2 m, ihre Oberfläche liegt bei etwa + 0,5 m NN. Daraus folgt, daß der Fuß der alten Steilufer heute bei etwa - 1 m NN liegt. An den heutigen aktiven Kliffs ist er aber entsprechend dem mittleren Hochwasserstand in mehr als + 1 m NN zu finden (KANNENBERG 1951). Für die Zeit nach der Anlage der ersten Strandwälle dieser Bildungen ergibt sich also eine Absenkung von reichlich 2 m. Eine pollenanalytische Datierung ist bisher noch nicht erfolgt.



Abb. 7.
Überdünter küstenparalleler
Strandwall im Höftland
von Noer
Aufn. R. KÖSTER, April 1955



Abb. 8.
Dünen und Strandwälle im
Höftland von Noer.
Im Hintergrund
das tote Steilufer
Aufn. R. KÖSTER, April 1955



Abb. 9.
Dünengelände am
Wessecker Strand
(Hohwachter Bucht)
Aufn. R. KÖSTER, April 1955

d) Die Kieler Förde

Auch die meisten Strandwallgebiete an der Kieler Förde sind durch bauliche Arbeiten verändert worden. Eine Ausnahme bildet nur der größte Teil der Kolberger Heide im Nordosten der Außenförde. Hier konnte HINTZ (1958 b) einen Aufbau in zwei Phasen wahrscheinlich machen, deren zeitliche Stellung jedoch unklar ist. Sie unterscheiden sich vor allem in den Sedimentationsbedingungen. Die ältesten Strandwälle sind nur undeutlich zu erkennen.



Abb. 10.
Strand, Vordüne und
Hauptdüne am
Wesseker Strand
(Hohwacher Bucht)
Aufn. R. KÖSTER, April 1955



Abb. 11.
Angeblicher
jungsteinzeitlicher
Grabhügel im
Dünengelände am
Wesseker Strand
(Hohwacher Bucht)
Aufn. R. KÖSTER, April 1955

e) Die Hohwacher Bucht

An der Hohwacher Bucht finden sich in drei Gebieten größere Strandbildungen: beiderseits des Höhenrückens mit dem Ort Hohwacht und am Wesseker Strand. Das Niederungsgebiet zwischen dem Kliff von Todendorf im Westen und dem von Hohwacht im Südosten

wird durch die kleine und flache Diluvialhöhe von Lippe unterbrochen. In beiden Abschnitten sind breit auslaufende Strandwallfächer zu erkennen, die deutlich das Aufsteigen der jüngeren Strandwälle, also das Ansteigen des Ostseespiegels, zeigen.

Der größte Teil der Strandwälle zwischen Lippe und Hohwacht verdankt dem Transport nach Süden und Südosten seine Entstehung. Von Hohwacht her wuchs diesem Haken ein weiterer, bedeutend kleinerer nach Westen entgegen. Zwischen beiden blieb ein breiter Durchlaß erhalten. Er wurde erst nach dem Anfang des 17. Jahrhunderts verschlossen (MARTENS 1927). In seinem Bereich befindet sich heute eine flachkuppige Dünenlandschaft. Damit sind alle Strandwallbildungen zwischen Todendorf und Hohwacht unter Einschluß der Lippe-Insel zu einer langgestreckten Nehrung zusammengewachsen. Die Küste wird durch einen Deich geschützt. Heute erfolgen, abgesehen von einer stärkeren Abtragung vor Lippe, keine größeren Veränderungen mehr.

Die Dünen am Wessecker Strand (Abb. 9 und 10) wurden von TAPPER (1940) als neolithisch datiert, da auf ihnen jungsteinzeitliche Grabhügel (Abb. 11) errichtet worden seien. Diese Deutung ist jedoch unzutreffend. Es ist zunächst fraglich, ob es sich überhaupt um vorgeschichtliche Gräber handelt (mündliche Mitteilung von Herrn Professor Dr. G. KOSSACK, Kiel). Außerdem liegen die Hügel auf Diluvium nahe einem alten Kliff. Am Strand vor diesem erfolgte der Aufbau von Dünen, der auch zur Überwehung des Hinterlandes mit Flugsand führte. Eine Datierung der Küstenveränderungen ist also auf diesem Wege nicht möglich.

f) Ostwagrien und Fehmarn

Der Transgressionsverlauf im Gebiet von Heiligenhafen ist durch Bohrungen (SEIFERT 1955) und deren pollenanalytische Auswertung (SCHMITZ 1953 a, 1953 b) bekannt geworden.

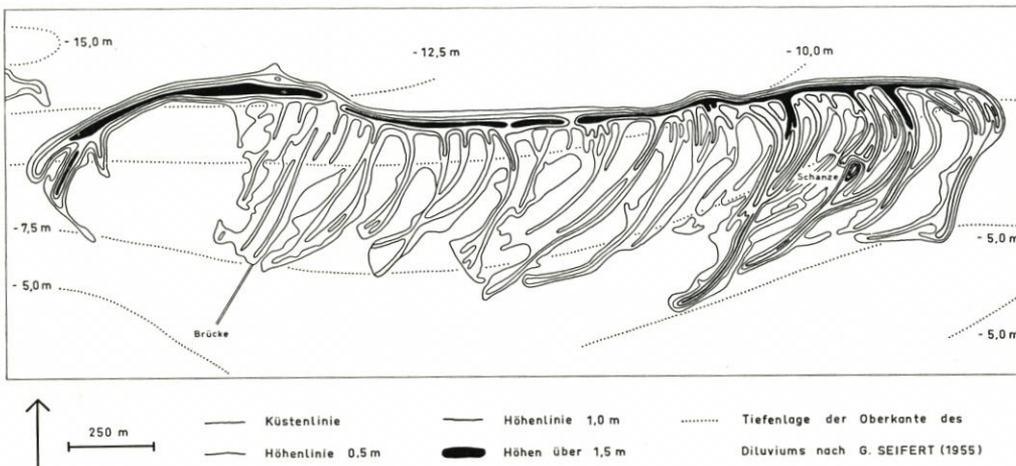


Abb. 12 Vereinfachte Höhenlinienkarte des Graswarders vor Heiligenhafen nach einer tachymetrischen Aufnahme des schleswig-holsteinischen Landesvermessungsamtes im Herbst 1951 und die Tiefenlage der Oberkante des Diluviums nach G. SEIFERT (1955)

Im Zungenbecken nördlich der Heiligenhafener Stauchmoräne befand sich ein verlandender See, der während der Litorina-Transgression vom Meer überflutet wurde. Dieser Vorgang ist durch verschiedene Transgressionskontakte belegt (Abb. 1). Der jüngste in — 0,57 m Tiefe in der benachbarten Eichholz-Niederung wurde von SCHMITZ (1953 a) auf ungefähr 1250 n. Chr. datiert. Die Setzung beträgt nach SEIFERT (1955) nur wenige Zentimeter. Etwa um 1000 n. Chr.

begann, mit dem Heiligenhafener Kliff als Aufhängepunkt, die Bildung eines Hakens (SEIFERT 1955). Er legte sich mit einer mächtigen Sand- und Kiesschüttung über die älteren, postglazialen Sedimente. Seine Spitze erreichte zu Anfang des 15. Jahrhunderts den Westteil des heutigen Graswarders. Die Frühstadien wurden später vom Meer wieder zerstört, so daß sich jetzt zwischen dem Steilufer und dem älteren Teil des Strandwallgebiets jüngere Bildungen befinden (KÖSTER 1955).



Abb. 13.
Überdünnte Strandwälle,
Strandmoor und totes Kliff
beim Gut Flügge an der
Westküste von Fehmarn
Aufn. R. KÖSTER, April 1952

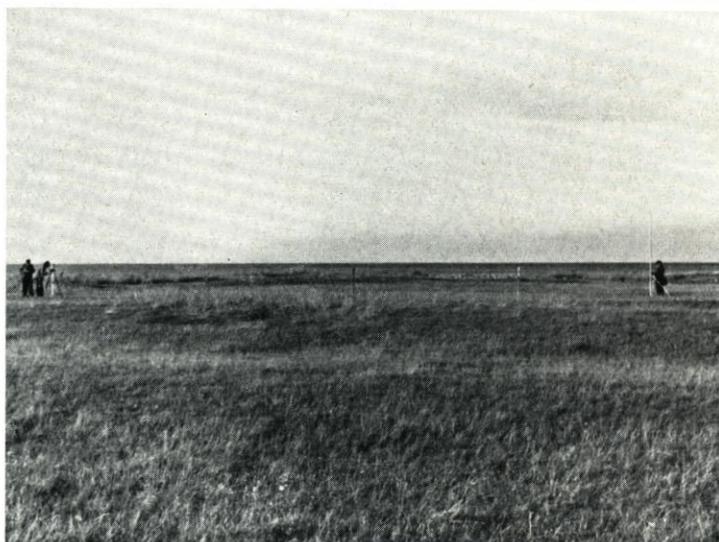


Abb. 14.
Grasbewachsene Strand-
wälle der Markelsdorfer
Huk (Nordwest-Fehmarn).
Vermessung des Gebietes
durch einen
Tachymetertrupp der
Gewässerkundlichen
Untersuchungsstelle in
Heiligenhafen
Aufn. R. KÖSTER, September 1952

Der Graswarder wuchs im Laufe von fünf Jahrhunderten zu einer Länge von etwa 2,8 km an. In der Richtung des Aufbaus, von Westen nach Osten, steigen die Strandwälle deutlich auf. Die ältesten in seinem Westteil überragen bei einer durchschnittlichen Höhe von 50 bis 60 cm die sie umgebende Moorfläche nur um wenige Zentimeter, die jüngsten erreichen dagegen bis zu 2 m (Abb. 12). Diese Anhebung erfolgt nicht völlig gleichmäßig. Im Bereich der etwa im 17. Jahrhundert gebildeten Wälle ist ein sprunghafter Anstieg zu erkennen. Ein Teil der Höhendifferenz ist zweifellos auf eine unterschiedliche Exposition zu den für den Aufbau

entscheidenden Windrichtungen zurückzuführen (KÖSTER 1955). Daneben besteht hier, wie ein Vergleich der Morphologie des Graswarders mit der Tiefenlage der Oberkante des Diluviums zeigt (Abb. 12), die Möglichkeit von Sackungen. Da die Sedimente über dem Geschiebemergel aber in sehr starkem Umfang aus Riffsanden bestehen (SEIFERT 1955), dürften sie keinen großen Betrag erreichen. Jedenfalls können diese Erscheinungen weder den deutlichen systematischen Anstieg noch den Höhengsprung im 17. Jahrhundert vollständig erklären, so daß die aufsteigenden Strandwälle vor Heiligenhafen auch ein Anzeichen für steigendes Wasser darstellen.

In der benachbarten Bucht von Großenbrode haben die Aufschüttungen einen viel geringeren Umfang und sind sehr jung (KÖSTER 1955). Die Vorgänge haben erst gegen Ende des vorigen Jahrhunderts mit größerer Intensität eingesetzt. Um diese Zeit muß sich also auch hier das küstendynamische Gleichgewicht verschoben haben.

An mehreren Orten der Südküste von Fehmarn sind ähnliche Verhältnisse wie in der Bucht von Großenbrode zu erkennen. Das große Strandwallsystem an der Westküste der Insel zeigt das Aufsteigen der Wälle weniger deutlich. Hier spielt die Überdünung eine größere Rolle (Abb. 13). An der Nordküste (Abb. 14) lassen sich zwei Strandwallgruppen verschiedenen Alters trennen, von denen jede aufsteigende Strandwalle aufweist und die untereinander eine durchschnittliche Höhendifferenz von 50 bis 60 cm haben. Da im Untergrund weiche Sedimente nur eine geringe Rolle spielen, sind Sackungen von wesentlichem Umfang ausgeschlossen. Die Anlage des älteren Strandwallsystems dürfte um etwa 1000 n. Chr. begonnen haben (KÖSTER 1955), die des jüngeren etwa in der Mitte des 17. Jahrhunderts. Dazwischen lag wahrscheinlich eine Ruhezeit, in der die Intensität der Vorgänge sehr gering war (KÖSTER 1955).

g) Die Lübecker Bucht

Am Dahmer Moor versuchte TAPPER (1940) wie am Wessecker Strand das Ende der Litorina-Transgression durch die angebliche Lage eines neolithischen Grabes auf dem Strandwall zu bestimmen. Dieses steht jedoch ebenfalls auf Diluvium und fällt so für die Datierung des Strandwalls aus (KANNENBERG 1956).

Ein ausgedehnter Strandwallfächer liegt vor der Niederung mit dem künstlich entwässerten Klostersee zwischen Kellenhusen und Grömitz. Der Küstenabschnitt wird heute durch einen Deich geschützt. Vor ihm befindet sich mit unterschiedlicher Breite eine langgestreckte, jüngere Küstendüne. Im nordöstlichen Abschnitt zwischen beiden Badeorten liegt sie auf einem sehr schmalen und flachen Geschiebemergelrücken. An diesen schließt sich in der Mitte und im Südwesten eine aus einem nach Südosten vorgebauten Haken entstandene Nehrung an. Sie wird heute zum größten Teil landwirtschaftlich genutzt. Deshalb sind viele Einzelheiten der Morphologie verwischt. Eine deutliche Höhenzunahme der jüngeren Strandwälle ist aber trotzdem zu beobachten.

Im Höftland Pelzerhaken bei Neustadt/Holstein sind die aufsteigenden Strandwälle wieder gut erkennbar. Im nördlichen Abschnitt liegen sie teilweise unter dem Meeresspiegel und sind durch Bohrungen zu erfassen. Nach Süden heben sie sich immer mehr heraus, bis sie uns schließlich nahe dem Leuchtturm in großer Zahl deutlich entgegentreten (SPETHMANN 1953). An der inneren Lübecker Bucht sind auf dem Priwallhaken vor der Travemündung keine wesentlichen morphologischen Beobachtungen mehr möglich, da die Halbinsel völlig planiert und durch künstliche Aufschüttungen umgestaltet worden ist (KANNENBERG 1953). Ein dichtes Bohrnetz erlaubt hier jedoch eine ungewöhnlich genaue Rekonstruktion der Verhältnisse um Travemünde in den einzelnen Stadien der Litorina-Transgression (z. B. FRIEDRICH u. HEIDEN 1912, GAGEL 1910, SCHMITZ 1952, 1953a, 1953b, SEIFERT 1952).

In der dem Priwall benachbarten Niederung vor dem Hemmeldorfer See zwischen Niendorf und Timmendorfer Strand sind demgegenüber die natürlichen Verhältnisse noch weitgehend erhalten. Das heutige morphologische Bild ist im Vergleich mit entsprechenden anderen Gebieten an der schleswig-holsteinischen Ostseeküste recht eintönig. Die Senke wird im Westen und Osten von diluvialen Hochgebieten begrenzt, wobei vor allem im Osten vielfach tote Steilufer auftreten. Am Ufer der Lübecker Bucht findet sich ein mehrere hundert Meter breiter Strandwall- und Dünenstreifen. Im Gebiet von Niendorf, nahe dem Brodtener Ufer, besteht er vorwiegend aus Sand- und Geröllstrandwällen, weiter im Westen dagegen meist aus flachkuppigen Dünen. Das Hinterland, zwischen diesem Sandgebiet und dem Ufer des Hemmeldorfer Sees gelegen, ist statt dessen ein fast tischebenes Moorgebiet. Meist folgt aber in weniger als 2 m unter der Oberfläche Strandsand, dessen in mehreren Ost-West-Profilen durch Peilstangen-Bohrungen von oftmals nur 5 m Abstand erfaßte Oberfläche die typische Gliederung einer Strandwall-Landschaft zeigt. Die höchsten Rücken liegen hier einige Dezimeter unter NN. Als Beispiel ist in Abbildung 15 ein Ausschnitt aus dem südlichsten bisher aufgenommenen Profil dargestellt, während die Abbildung 16 den Übergang von den völlig im Moor untergetauchten Strandwällen zu den sich hoch heraushebenden zeigt, auf denen ein großer Teil des Ortes Niendorf liegt.

Beide Profile berühren ältere Bohrungen, die bis in den diluvialen Untergrund reichen. Ihre Schichtfolgen können hier nur in abgekürzter Form wiedergegeben werden.

Profil 1 (vgl. Abb. 15)

Bohrung H 1 (aus SCHMITZ 1951 b)

Höhe + 0,36 m NN		
0 — 0,23	Moorerde, kultiviert	} Alluvium
0,23— 0,59	Seggentorf, schilfig	
0,59— 0,92	Gyttja, sandig	
0,92— 6,10	Sand, humos, meist grau	
6,10— 8,00	Feinsand, humos, grau in Wechsellagerung mit feinsandiger Gyttja	
8,00— 8,37	Gyttja	
8,37—14,01	Diluvium	

Bohrung H 2 (aus SCHMITZ 1951 b)

Höhe + 0,59 m NN		
0 — 0,40	Mutterboden	} Alluvium
0,40— 0,89	Seggentorf, schilfig	
0,89— 1,70	Gyttja, torfig	
1,70—15,67	Sand, humos, meist grau	
15,67—15,80	feinsandig-tonige Gyttja	
15,80—19,35	Gyttja mit einzelnen Feinsandlagen	
19,35—19,68	Bruchwaldtorf, tonig	
19,68—20,99	Diluvium	

Profil 2 (vgl. Abb. 16)

Bohrung N 1 (aus dem Archiv des Geologischen Landesamtes für Schleswig-Holstein)

Höhe vermutlich etwas unter + 1 m NN		
0 — 0,8	Humuserde	} Alluvium
0,8— 8,0	gelber Sand	
8,0—13,0	grober Schotter	
13,0—15,1	Sand mit Muscheln	
15,1—15,3	Pflanzenreste	
15,3—21,0	Sand	
21,0—25,0	festgelagerte Pflanzenstoffe	
25,0—49,0	Diluvium	

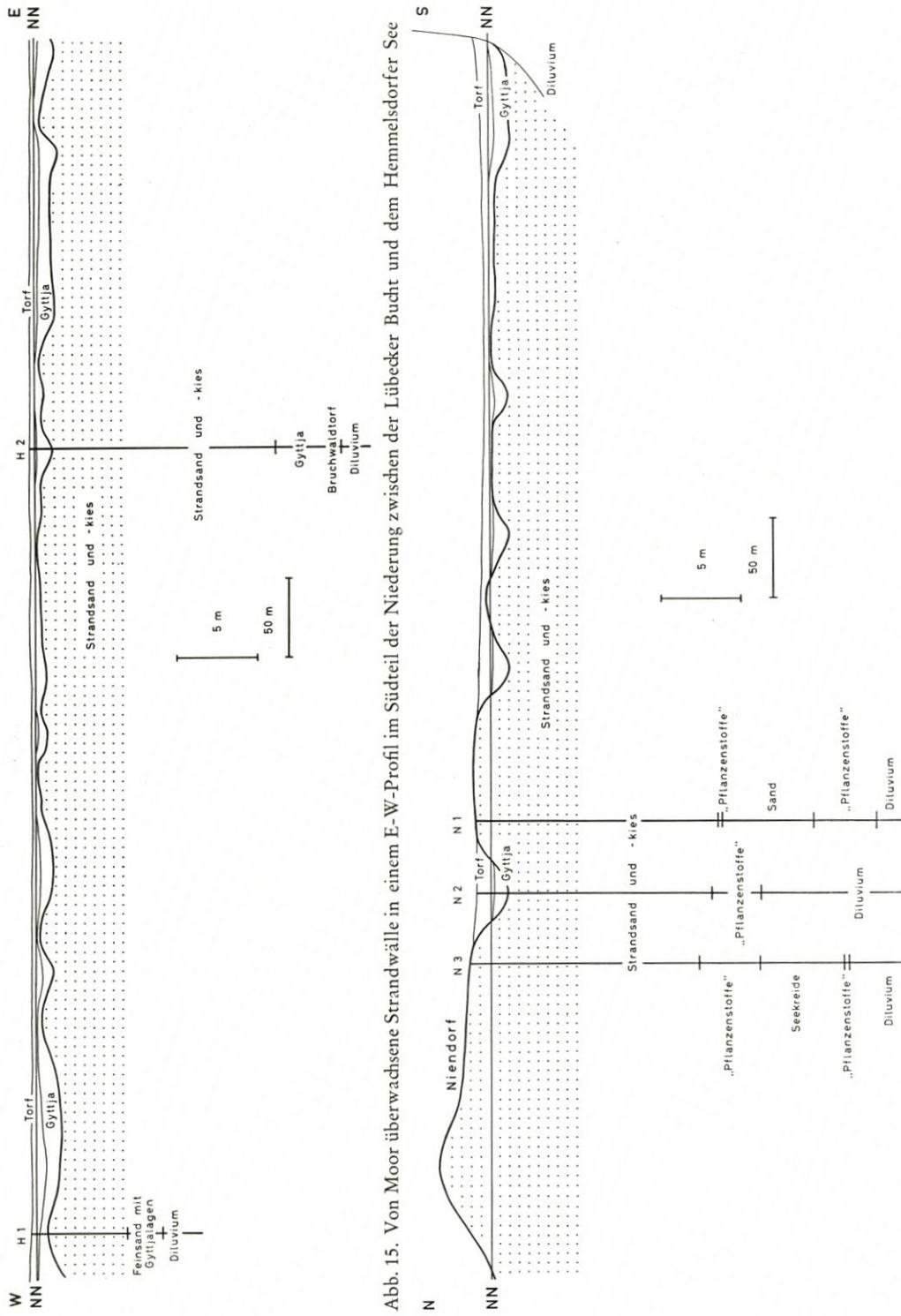


Abb. 15. Von Moor überwachsene Strandwälle in einem E-W-Profil im Südteil der Niederung zwischen der Lübecker Bucht und dem Hemmeldorfer See

Abb. 16. Aufsteigende Strandwälle in einem N-S-Profil im E der Niederung zwischen der Lübecker Bucht und dem Hemmeldorfer See im Ortsgebiet Niendorf

Bohrung N 2 (aus dem Archiv des Geologischen Landesamtes für Schleswig-Holstein)

Höhe vermutlich etwas unter + 1 m NN

0 — 1,0 Humuserde	}	Alluvium
1,0— 2,0 Torf		
2,0—11,0 steiniger, grober Kies		
11,0—13,0 Kies		
13,0—14,5 grober Kies mit Schotter		
14,5—17,5 festgelagerte Pflanzenstoffe mit Holz		
17,5—48,6 Diluvium		

Bohrung N 3 (aus dem Archiv des Geologischen Landesamtes für Schleswig-Holstein)

Höhe vermutlich etwas über + 1 m NN

0 — 0,9 Humuserde	}	Alluvium
0,9—10,0 grober Kies mit Schotter		
10,0—14,2 grober Kies		
14,2—18,0 festgelagerte Pflanzenstoffe		
18,0—23,3 Kalkmergel		
23,3—23,5 Pflanzenstoffe		
23,5—29,5 Diluvium		

Eine Erklärung der tiefen Lage der inneren und damit zwangsläufig auch älteren Strandwälle durch Sackungen im Untergrund ist nur zum kleinen Teil möglich, da die organogenen Schichten unter dem Sand durchweg nur eine verhältnismäßig geringe Mächtigkeit haben und die Zusammendrückung schon mit dem Einsetzen der mächtigen Sandschüttung begann. Sie hat sich nach SCHMITZ (1951 b) auf Grund der Ergebnisse der pollenanalytischen Untersuchungen über fast 3000 Jahre erstreckt. Deshalb dürfte die Sackung zur Zeit der Entstehung der Strandwälle schon weitgehend abgeschlossen gewesen sein. Die Ablagerung organogenen Materials über dem Sand begann im Subatlantikum (SCHMITZ 1951 b). Da die Ausfüllung der Senken zwischen den Strandwällen schon bald nach deren Entstehung beginnt, dürfte die Anlage der ältesten an der Oberfläche des Sandkörpers liegenden Strandwälle etwa im beginnenden ersten nachchristlichen Jahrtausend erfolgt sein.

Der Fuß der toten Steilufer im Osten der Niederung liegt ebenso wie in den Strandgebieten der Eckernförder Bucht unter einer Moordecke. Die heutige Lage des Kliffußes mit nahe — 0,5 m NN entspricht einer Absenkung von mehr als 1,5 m und steht im Einklang mit der Lage der Oberkante der benachbarten Strandwälle, die das Steilufer dem Einfluß der Brandung entzogen, dicht unter NN.

Aus den Angaben ist eine Abschätzung der relativen Küstensenkung in diesem Gebiet möglich. Die ursprüngliche Höhe der Strandwälle ist auf Grund der Exposition zu den vorherrschenden Windrichtungen und der obigen Überlegungen mit fast 2 m anzusetzen. Die gegenwärtige Oberkante liegt aber etwas unter NN. Daraus ergibt sich eine relative Absenkung von nahezu 2 m in etwa 1¹/₂ Jahrtausenden.

h) Der Unterlauf der Trave

Der Mündungstrichter der Trave wird heute durch den Priwall stark eingengt. Trotzdem sind alle Schwankungen des Ostseespiegels noch in Lübeck ohne wesentliche Verzögerungen deutlich zu beobachten. Die Wasserstandsverhältnisse der unteren Trave passen sich also völlig denen der freien Ostsee an. Deshalb sind die Funde slawischer Siedlungsreste in Alt-Lübeck (zwischen Bad Schwartau und Dänischburg) aus dem Ende des ersten nachchristlichen Jahrtausends bis zum Beginn des 13. Jahrhunderts in Tiefenlagen bis zu reichlich 2 m unter NN trotz der Lage an einem Flußlauf für die Frage der Küstensenkung von großer Bedeutung. Die ersten Beobachtungen stammen bereits aus dem Anfang dieses Jahrhunderts, während NEUGEBAUER (1950, 1951, 1952, 1953) die beträchtliche Verbreitung der Kulturspuren nachweisen konnte.

Die Ausdeutung dieser Funde war bisher sehr umstritten. NEUGEBAUER (1950) erklärte die Änderung der Höhenlage mit einem starken Wasseranstieg in der Zeit nach der slawischen Besiedlung. Diese Ansicht wurde von SPETHMANN (1953) in scharfer Form abgelehnt. Es sollte sich ausschließlich um Sackungserscheinungen handeln. Zur Klärung der Verhältnisse wurden

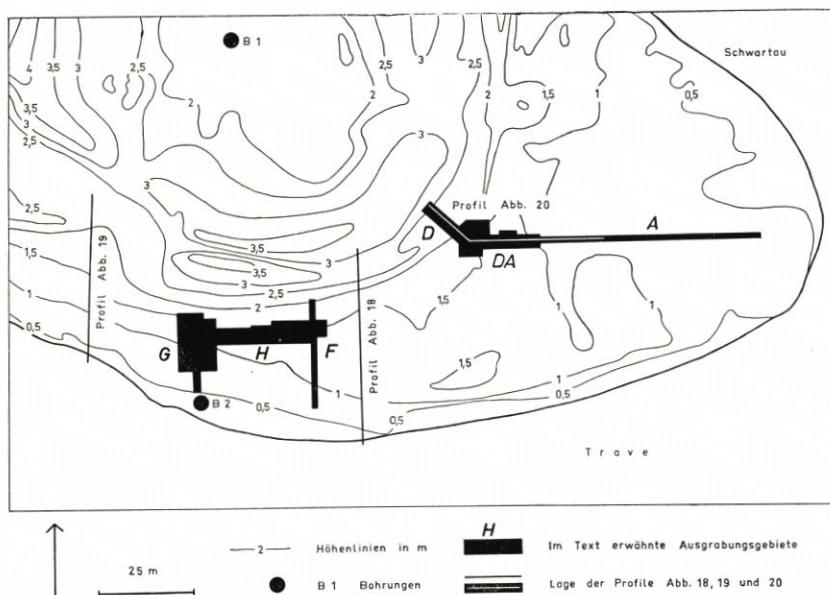


Abb. 17. Süd- und Ostteil von Alt-Lübeck mit der Lage der im Text genannten Ausgrabungsgebiete von W. NEUGEBAUER, der Bohrungen und der Sondierprofile. Die Höhenlinien entstammen einer Aufnahme des Katasteramtes der Hansestadt Lübeck

mit Unterstützung der „Deutschen Forschungsgemeinschaft“ vom Verfasser neue Untersuchungen eingeleitet. Sie sind noch nicht abgeschlossen, so daß an dieser Stelle nur eine vorläufige Mitteilung über die Ergebnisse erfolgen kann.

Der Ringwall von Alt-Lübeck liegt am südöstlichen Ende eines langgestreckten, sehr schmalen und niedrigen diluvialen Sandrücken, der die Niederungen der Trave und Schwartau voneinander trennt. Die größte Höhe über NN der im 13. Jahrhundert zerstörten Burganlage beträgt heute etwa 5 m, während der Innenraum um das Kirchenfundament durchschnittlich bei + 1,80 m NN liegt. Der Aufbau des Untergrundes geht aus der Schichtfolge einer Bohrung hervor, die in der Mitte des Kirchenfundaments (Abb. 17) angesetzt wurde³⁾. Ihr gekürztes Profil lautet:

Bohrung B 1 Alt-Lübeck, Kirchenfundament

Höhe + 1,80 m NN

0 — 1,3 Aufschüttung mit vielen Kulturresten, sandig-tonig, dunkelgrau bis schwarzgrau

1,3— 4,5 Schmelzwassersand, meist fein, grau

4,5— 6,3 Beckenton, schluffig, gebändert, graugrün bis braun

6,3—13,5 Schmelzwassersand, gemischt, grau

13,5—17,6 Beckenton, schluffig bis feinsandig, z. T. gebändert

17,6—18,0 Geschiebemergel, grau

} Diluvium

³⁾ Die Ausführung der Bohrungen und Sondierungen erfolgte Ende Oktober 1959 durch die Firma Dr. Norbert Piele, Kiel. Herrn Dr. N. PIELES und seinen Mitarbeitern danke ich für die sorgfältige Ausführung der Arbeiten trotz sehr ungünstiger Witterung.

Über dem Geschiebemergel in einer Tiefe von rund 16 m unter NN liegt also eine Schichtfolge aus Schmelzwassersanden und schluffigen Beckentonen, die der in RANGE (1938) beschriebenen typischen Sedimentation im spätglazialen Lübecker Becken entspricht. Sie stellt einen standfesten Untergrund dar, der sich unter der Last der frühgeschichtlichen Siedlung kaum gesetzt haben dürfte. Deshalb ist es bemerkenswert, daß die Untergrenze des besiedelten Innenraumes nur bei + 0,50 m NN liegt.

Weitere Zeugnisse menschlicher Tätigkeit, vor allem Reste von Hausgrundrissen, Weganlagen und Zäunen, finden sich im Südwesten und Süden sowie in geringerem Umfang auch im Osten des Ringwalls. Im Süden wurden sie von NEUGEBAUER (1951, 1952, 1953) in mehreren Grabungsschnitten untersucht. Zwischen der dicht an der Trave gelegenen Fläche G (Abb. 17) und dem Ufer wurde eine weitere Bohrung niedergebracht.

Bohrung B 2 Alt-Lübeck, Traveufer

Höhe + 0,35 m NN

0 — 0,5	Aufschüttung, sandig-schllickig, graubraun	}	Alluvium
0,5 — 1,4	Flußschlick, sandig, schwarz		
1,4 — 2,5	Torf mit vielen Holzteilen, dunkelbraun		
2,5 — 8,4	Gyttja mit Schalenresten, verschiedene Feinsandlagen, grünbraun		
8,4 — 8,9	Feinsand, stark humos, schwarz		
8,9 — 12,7	Schmelzwassersand, gemischt, grau	}	Diluvium
12,7 — 16,3	Beckenton, schluffig, grau		
16,3 — 16,5	Geschiebemergel, grau		

In der Schichtfolge liegen über dem diluvialen Untergrund alluviale organogene Sedimente von beträchtlicher Mächtigkeit. Deshalb ist mit erheblichen Setzungs- und Sackungserscheinungen zu rechnen. Die wichtigsten Funde stammen aus dem Raum zwischen dieser Bohrung und dem Ringwall. Er wurde deshalb durch eine große Zahl von Sondierbohrungen näher untersucht. In den Abbildungen 18 und 19 sind zwei Profile wiedergegeben. Das erste (Abb. 18) liegt östlich der Grabungsflächen G und H sowie des Grabens F (Abb. 17). Hier haben die slawischen Bewohner Alt-Lübecks nur wenige Spuren hinterlassen. Der Aufbau ist demjenigen in der Bohrung 2 sehr ähnlich. Das Diluvium steigt von der Trave in Richtung auf die Burganlage schnell an. Es wird von einer Gyttja überlagert. In etwas mehr als 2 m unter NN folgt eine reichlich 1 m mächtige Torfschicht. Sie wird im inneren Abschnitt von Wallschutt aus dem Anfang des 13. Jahrhunderts (NEUGEBAUER 1950) überlagert, der in der Hauptsache aber schon auf Diluvium liegt, d. h. das Wallmaterial greift nur randlich auf die alluvialen Sedimente über. Es reicht bis über 1 m unter den heutigen Travespiegel hinab. Unter seinem Gewicht haben sich die weichen Schichten eingesenkt. Darüber folgt ein schwarzer Flußschlick. Er überdeckt sowohl den Torf als auch den Fuß des Wallschutts. Seine Oberkante liegt 2 bis 3 Dezimeter unter NN. Der Flußschlick wird schließlich von Baggermaterial überlagert. Nach einer freundlichen mündlichen Mitteilung von Herrn Dr. G. SEIFERT, Kiel, ist durch die Wirkung dieser Auflast im Hauptteil des Profils mit einer Setzung von etwa 0,5 m zu rechnen. Ein wesentlich höherer Betrag ist ohnehin ausgeschlossen, da sich der schwarze Flußschlick sonst in erheblicher Höhe über NN gebildet haben müßte.

Ein Parallelprofil (Abb. 19) im Westen der Fläche G (Abb. 17) erschloß in Ergänzung der Beobachtungen bei der Ausgrabung die Lage der frühgeschichtlichen Funde in der Schichtfolge. Sie finden sich in, auf und — im wallnahen Teil — auch über der Torfschicht. Deshalb ist es wahrscheinlich, daß die Torfoberkante der ursprünglichen Siedlungsschicht entspricht und viele Holzanlagen im Laufe der Zeit in den Torf einsanken. Gleichzeitig höhte sich die Kulturschicht durch immer neue Bauten auf. Im ufernahen Teil liegt über ihr wieder schwarzer Schlick. Auch an dieser Stelle wird die Schichtfolge durch Baggermaterial abgeschlossen.

Als Ausgangspunkt für eine Abschätzung der relativen Küstensenkung muß also die Torf-oberkante dienen. Die Setzung ist nach obigen Ausführungen mit etwa 0,5 m zu veranschlagen, andererseits dürften die Wohnstätten mehr als 0,5 m über dem derzeitigen mittleren Wasserstand gelegen haben. Aber auch dann müssen sie noch bei jedem stärkeren Ostwind unter Wasser geraten sein. Deshalb ist wahrscheinlich mit einem etwas höheren Wert zu rechnen. Man gelangt so zu einer relativen Küstensenkung von merklich mehr als 1 m in 700 Jahren oder reichlich 1,50 m während des zweiten nachchristlichen Jahrtausends.

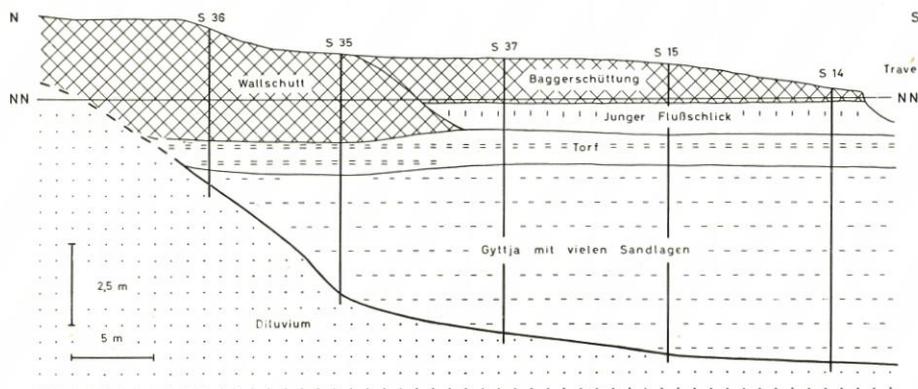


Abb. 18. Alt-Lübeck. Geologisches Profil östlich des Suchgrabens F

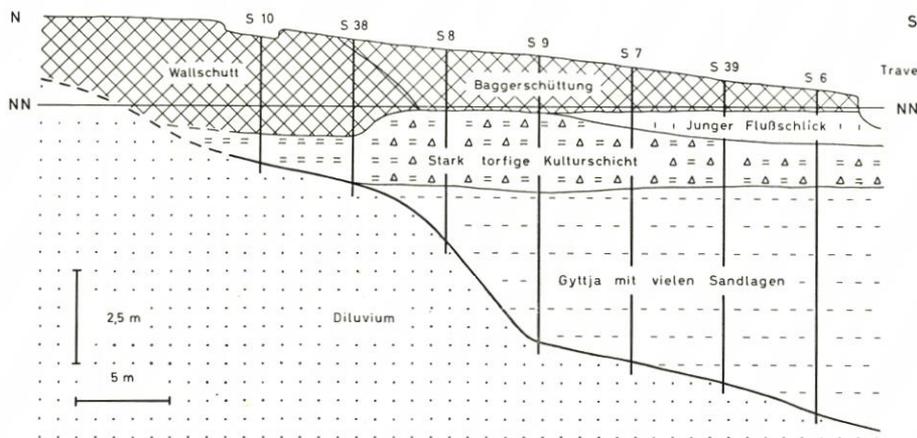


Abb. 19. Alt-Lübeck. Geologisches Profil westlich der Grabungsfläche G

Während aber im Bereich der Grabungsfläche G wegen der großen Mächtigkeit der organogenen Sedimente bei der Bestimmung der Wasserstandsschwankungen noch eine gewisse Unsicherheit bestehen bleibt, entfällt diese im Osten der Wallanlage im Graben D und der Fläche DA (Abb. 17 und 20), obwohl hier die frühgeschichtlichen Funde nicht so eindrucksvoll sind wie im Süden. Nach den Ergebnissen der Grabung⁴⁾ und der Sondierungen reicht der Wall mit seinen Holzkonstruktionen bis zu einer Tiefe von 1,20 bis 1,30 m unter NN hinab und ruht dabei auf diluvialen Schmelzwassersand. Östlich hiervon in und unter dem Graben A

⁴⁾ Herrn Dr. W. NEUGEBAUER, Lübeck, danke ich für die großzügige Überlassung des bei der Grabung im Maßstab 1:20 aufgenommenen Profils.

entsprechen die Verhältnisse wieder vollständig denen der anderen Profile. Auf dem Diluvium liegen Gyttja und Torf, in dessen oberen Abschnitten verschiedene Kulturreste gefunden wurden. Das Schuttmaterial des Walls liegt randlich darauf und drückt die weichen Sedimente etwas zusammen. Auf dem Torf und dem Walltschutt liegt wieder schwarzer Flußschlick, und als Abschluß folgt Baggermaterial.

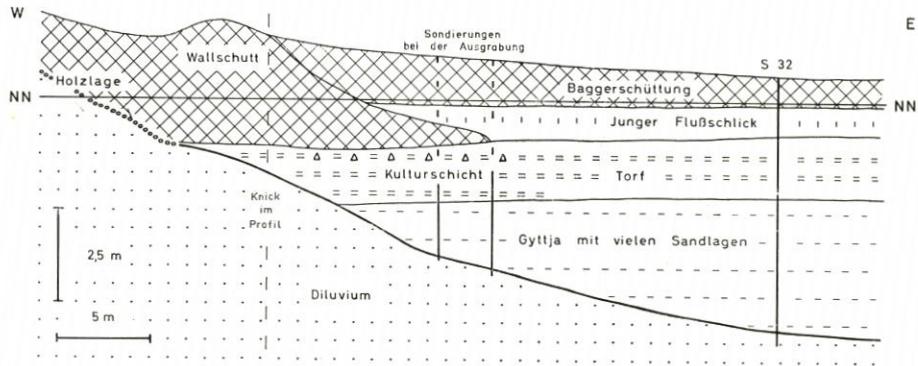


Abb. 20. Alt-Lübeck. Geologisches Profil unter den Suchgräben D und A sowie unter der Fläche DA

Die bisherigen Ergebnisse zeigen also eindrucksvoll einen relativen Wasseranstieg von mehr als 1,5 m im letzten Jahrtausend. Im Einklang hiermit stehen die ähnlichen Ergebnisse in dem Strandwallgebiet vor dem Hemmelsdorfer See. Die Ansichten von NEUGEBAUER (1950 und später) zur Ausdeutung der Grabungsbefunde werden also in allen wichtigen Punkten bestätigt. Aufgabe der weiteren Untersuchungen wird es sein, neben einer möglichst genauen Erfassung der Setzungsbeträge vor allem zu prüfen, ob aus der Schichtfolge weitergehende Schlüsse über den nachlitorinazeitlichen Transgressionsverlauf gezogen werden können.

III. Vergleich mit benachbarten Küsten

A. Die südliche Ostseeküste östlich der Trave

Im Küstengebiet von Mecklenburg und Vorpommern bestehen ähnliche Verhältnisse wie an der schleswig-holsteinischen Ostseeküste. Der Wasseranstieg seit dem Ende der Litorina-Transgression vor der Rostocker Heide wird von BRINKMANN (1958) mit 1 bis 2 m angegeben. In der Entwicklung des großen Dünengebietes des Darß zeichnet sich eine ähnliche Gliederung in einzelne Phasen ab (HURTIG 1954). Neben älteren Bildungen aus der Zeit des ersten nachchristlichen Jahrtausends sind die gleichen Abschnitte wie an der schleswig-holsteinischen Ostseeküste zu beobachten. SCHMIDT (1957) konnte auch in den großen Nehrungen der Insel Rügen, der Schaabe und der Schmalen Heide, derartige Vorgänge erkennen⁵⁾. Der größte Teil der Aufschüttung beider Gebiete dürfte im ersten nachchristlichen Jahrtausend erfolgt sein.

Die Arbeiten von KLIEWE (1959) im Odermündungsgebiet zeigen, daß hier auf die litorinazeitliche Transgression ein bis zur Gegenwart andauernder Anstieg des Ostseespiegels folgte. Neue Grabungen polnischer Prähistoriker machen eine Transgression in der Größen-

⁵⁾ Nach der Pegelbearbeitung von MODEL (1950) weicht der Raum der Inseln Rügen, Hiddensee und Greifswalder Oie vom Verhalten der Umgebung ab, da er sich relativ zu ihr langsam hebt.

ordnung von 0,5 bis 1 m im Jahrtausend seit Beginn des Subatlantikum wahrscheinlich (KLEIWE 1959). Der westliche Abschnitt der Küste Hinterpommerns ist nach der Litorinazeit langsam weiter gesunken (ROSA 1959). Die Umgebung des Leba-Sees wurde dagegen seit dem Atlantikum um etwa 4 m gehoben (ROSA 1959). Im Weichseldeltagebiet fand wiederum eine beträchtliche Senkung des Landes statt, die durch starke Sackungen noch betont wird (ROSA 1959). Östlich der Danziger Bucht schließt sich erneut eine Zone relativer Landhebung an (ROSA 1959).

B. Die dänischen Inseln und Schweden

Der Senkungsraum wird im Gebiet der dänischen Inseln durch die Forchhammersche Linie, die morphologische 0-Isobase der postlitorinazeitlichen Landhebung, begrenzt. An ihr sind weder Hebung noch Senkung zu beobachten. Sie beginnt am Nissum-Fjord an der jütischen Nordseeküste, quert den Kleinen Belt bei Middelfart und verläuft durch Fünen, das Smaalandsfarvand und den Nordteil von Falster nach Ost-südost (MERTZ 1924). Nördlich von ihr hebt sich das Land. Im Inselgebiet werden die größten Werte im Nordosten Seelands mit etwa 7,5 m erreicht (MERTZ 1924).

Die Strandlinie des Litorina-Maximums ist morphologisch durch gehobene, jetzt fossile Steilufer und gehobene Strandbildungen gekennzeichnet. Die älteren Strandwälle sind umgekehrt wie an der schleswig-holsteinischen Ostseeküste durchweg höher als die jüngeren. Hierin spiegelt sich der allmähliche Rückgang des Wasserstandes wider. In der Regel ist der Küstenzustand, außer in geschützten und flachen Buchten, durch einen weit fortgeschrittenen Küstenausgleich geprägt (SCHOU 1945). Trotzdem sind aber an einigen Orten, wie z. B. an der Sejerö-Bucht und an der Köge-Bucht, lebhafte junge Entwicklungen zu erkennen. Nach der Beschreibung dieser Gebiete durch SCHOU (1945) und nach Kartenvergleichen haben diese Vorgänge erst im letzten Viertel des vergangenen Jahrhunderts eingesetzt. Sie weisen auf eine Störung des bis zu diesem Zeitpunkt vorhandenen küstendynamischen Zustandes hin.

Der Übergang in den benachbarten schwedischen Raum ist nicht kontinuierlich. Die schwedische Küste des Öre-Sunds ist gegenüber der dänischen um einige Meter stärker gehoben (MADSEN 1928, SCHOU 1945). Auch die Landhebungserscheinungen auf Bornholm fügen sich nicht in den allgemeinen Rahmen ein. Während der Anstieg an der Südküste der Insel nur etwa 1 m beträgt, überschreitet er im Nordwesten bei Sandvig 9 m (MERTZ 1924). Da an der Südküste von Schonen die postlitorinazeitliche Landhebung wesentlich geringer ist, muß die Insel durch lokale Bewegungen stark gekippt worden sein. Von hier wird der Anstieg nach Norden immer größer, bis sie am nördlichen Bottnischen Meerbusen mit etwa 120 m ihren Höchstwert erreicht (MAGNUSSON, LUNDQVIST u. GRANLUND 1957).

IV. Zusammenfassende Betrachtung der geologischen Untersuchungen

Überblickt man die großräumigen Verhältnisse, dann erweist sich die morphologische Ruhelage zwischen relativer Landhebung und Landsenkung, die Forchhammersche Linie, als auffallendste Grenze (Abb. 21). An ihr halten sich die vertikalen Bewegungen des Landes und des Wassers im Durchschnitt über einen längeren Zeitraum das Gleichgewicht. Im Norden steigt das Land auf. Die Beträge wachsen mit zunehmender Entfernung von dieser morphologischen Nulllinie. Innerhalb des Hebungsräume fallen einige Gebiete durch lokale tektonische Sonderbewegungen auf. Sie ordnen sich in einem Streifen an, der dem Grenzsaum des skandinavischen Schildes folgt (Abb. 21).

Der Ostseeraum südlich und südwestlich der morphologischen Null-Linie erweist sich bei kritischer Wertung aller Beobachtungen als relatives Senkungsgebiet. Die ermittelten Beträge des Wasseranstiegs sind, wenn man ihre Höhe für das letzte Jahrtausend als Vergleichswert zugrunde legt, je größer, desto weiter die Orte von der 0-Isobase entfernt sind (z. B. Holnis Noor 1 m, Haithabu mehr als 1 m, Heiligenhafen 0,8 bis 1,0 m, Nordküste von Fehmarn 0,6 m, Hemmelsdorfer Barre nahe 1,5 m, Alt-Lübeck reichlich 1,5 m, Rostocker Heide mehr als 0,5 m, Odermündung 0,5 bis 1,0 m). Auffällig ist ferner, daß alle Aufschüttungslandschaften sehr jung sind. Die ältesten bisher bekannten Bildungen liegen in der mecklenburgisch-vorpommerschen Boddenlandschaft und zählen knapp 2000 Jahre. Gleiches Alter dürften die inneren Strandwälle vor dem Hemmelsdorfer See haben. Die Entwicklung ist in deutliche Phasen gegliedert, die sich im gesamten Gebiet bemerkbar machen. Sie äußern sich in verstärkt einsetzenden Abtragungs- und Anlandungsvorgängen nach Zeitabschnitten relativer Ruhe. Vor allem die um etwa 1000 n. Chr., im 17. Jahrhundert und Ende des 19. Jahrhunderts einsetzenden Entwicklungsabschnitte sind scharf ausgeprägt. Sie sind mit Veränderungen der durchschnittlichen Strandwallhöhen verknüpft, also auch mit schnellen Erhöhungen des Wasserstandes, und demnach als eine Folge des Transgressionsfortgangs anzusehen.

Diese Zusammenstellung läßt zwei verschiedene Komponenten der vertikalen Bewegungen erkennen. Der Übergang von relativer Landhebung zu relativer Landsenkung mit von Ort zu Ort wechselnden Beträgen ist auf ein uneinheitliches Verhalten des festen Landes zurückzuführen, während die im gesamten Gebiet auftretenden und mit Wasserstandsschwankungen verknüpften Entwicklungsphasen an weiträumige eustatische Vorgänge gebunden sind. Diese überlagern sich den Bewegungen des Landes teils verstärkend, teils abschwächend.

V. Die Pegelmessungen

Die regelmäßigen Pegelablesungen reichen höchstens etwa ein Jahrhundert zurück. Zusammenstellungen von Beobachtungen in allen Kontinenten sind bei GUTENBERG (1941) und VALENTIN (1954) zu finden. Sie zeigen einen weltweiten Anstieg des Wasserstandes, der in der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts einsetzte, gleichzeitig mit einer Störung des küstendynamischen Gleichgewichts und dem Beginn einer Periode verstärkten Abschmelzens der Gletscher. Er ist mindestens im überwiegenden Teil als glazial-eustatisch anzusehen (VALENTIN 1954). Fallende Werte gibt es nur an verhältnismäßig wenigen Stationen. Eine regionale Übersicht, wie sie VALENTIN (1954) für die gesamte Erdoberfläche gibt, ist insofern unsicher, als die Verteilung der Pegel sehr ungleich ist. Die relative Landhebung ist vor allem an den skandinavischen und den kanadischen Schild gebunden. Allgemeine Schlüsse dürfen daraus aber nicht abgeleitet werden, da andere Gebiete ähnlicher geotektonischer Stellung keine Hebungserscheinungen oder sogar relative Senkung zeigen, wie z. B. der patagonische Schild. Außerhalb der Urkontinente finden sich gelegentlich fallende Wasserstände, z. B. in Südafrika, meist jedoch steigende.

Die Pegelmessungen im Ostseeraum wurden in den letzten Jahren von mehreren Autoren bearbeitet (BERGSTEN 1930, 1954, EGEDAL 1934, 1946, GAYE 1951, HAHN u. RIETSCHEL 1938, MODEL 1950). In den einzelnen Untersuchungen fanden verschiedene Auswertungsmethoden Verwendung. Ein Vergleich der einzelnen Angaben ist nicht ohne weiteres möglich. In den grundsätzlichen Zügen stimmen jedoch alle Arbeiten mit den geologischen Beobachtungen überein. Im nördlichen Teil des Ostseeraumes *fallen* die Wasserstände, d. h. hier herrscht relative Landhebung, im südlichen *steigen* sie, hier liegt relative Landsenkung vor. Mit zunehmender Entfernung von der Null-Linie werden die negativen oder positiven Werte größer.

Mit der Analyse der Beobachtungen im südwestlichen Ostseeraum haben sich vor allem MODEL (1950) und GAYE (1951) beschäftigt. MODEL (1950) setzte sich besonders mit Veränderungen zwischen benachbarten Pegeln auseinander. Dabei ergab sich eine ähnliche Gliederung der südlichen Ostseeküste in relative Hebungs- und Senkungsgebiete wie in den geologischen Untersuchungen. Die Erscheinungen führte er vor allem auf Bewegungen des Untergrundes zurück. GAYE (1951) betrachtete weitere Erklärungsmöglichkeiten. Er kam auf Grund einer kritischen Auswertung der Pegelaufzeichnungen und ihrer Aussagen zu folgenden Schlüssen:

- „1. Die Wasserstände steigen seit etwa 100 Jahren im westlichen Teil der Ostsee und fallen im östlichen Teil der Ostsee. Die Form des Jahresganges hat sich in dieser Zeit so verändert, daß eine Hebung des MW eingetreten ist. Die Amplitude des Jahresganges hat sich im Laufe der letzten 100 Jahre vergrößert, und zwar im Osten, wo sie an sich größer ist als im Westen, wesentlich stärker als im Westen. Auch damit ist eine Hebung des MW verbunden.
2. Eine Entleerung des Ostseebeckens im Osten (ohne Abflußmöglichkeit im Osten!) gleichzeitig mit einer Füllung im Westen ist unmöglich.
3. Eine Verringerung des Binnenwasserzuflusses im Osten des Ostseebeckens gleichzeitig mit einer Verstärkung des Binnenwasserzuflusses im Westen ist nicht wahrscheinlich.
4. Eine Verstärkung der Verdunstung im Osten des Ostseebeckens mit einer Verringerung der Verdunstung im Westen ist ebenfalls unwahrscheinlich.
5. Die unter 1. aufgeführten Tatsachen können demnach nur erklärt werden
 durch eine starke Küstenhebung im östlichen Teil der Ostsee und eine geringe Küstensenkung im westlichen Teil bei gleichzeitiger Wasserstandshebung in der gesamten Ostsee infolge meteorologischer oder (und) ozeanographischer Einflüsse,
 oder durch einen Stillstand der Küste im Westen und eine starke Küstenhebung im Osten bei gleichzeitiger Wasserstandshebung infolge meteorologischer oder (und) ozeanographischer Einflüsse.“

Die Grenze zwischen den Bereichen der Hebung und Senkung im Bild der Pegelaufzeichnungen folgt nicht der morphologischen 0-Isobase als durchschnittlicher Gleichgewichtslage zwischen den Bewegungen des Landes und des Wassers, sondern sie ist beträchtlich nach Norden verschoben und liegt etwa in dem gleichen Streifen wie die 10 m-Isobase der nachlitorinazeitlichen Landhebung (Abb. 21). Daraus ist ein Überwiegen der Wasseranstiegsgeschwindigkeit der letzten Jahrzehnte über den durchschnittlichen Wert der nachchristlichen Zeit zu erkennen. Für die Vergangenheit läßt sich also schließen, daß sich die Gleichgewichtslage zu Beginn der einzelnen Entwicklungsphasen von der Durchschnittslage weit nach Norden verschob und bei Nachlassen des Wasseranstiegs bis über diese hinaus nach Süden zu wanderte, so daß sich für das Übergangsgebiet ein häufiger Wechsel zwischen Transgressionen und Regressionen ergibt.

VI. Die Bewegungskomponenten

Die Trennung der beiden am Bewegungsbild beteiligten Komponenten ist außerordentlich schwierig und beim gegenwärtigen Stand der Untersuchungen nur als Abschätzung durchführbar. Die Grundzüge des Gedankengangs sollen hier nach KÖSTER (1960) kurz skizziert werden.

Die mittlere morphologische Gleichgewichtslage eines längeren Zeitraums finden wir im Gebiet der dänischen Inseln in der Forchhammerschen Linie. Hier erreicht der zunächst unbekannte eustatische Anstieg des Meeresspiegels den gleichen Betrag wie die Landhebung. Die gegenwärtige Gleichgewichtslage zwischen beiden Bewegungen folgt aber ungefähr der Litorina-Isobase für 10 m. Betrachtet man nun die Pegelablesungen in der Umgebung der morphologischen Null-Linie, muß sich ein Hinweis auf den Betrag des heutigen eustatischen Anstiegs ergeben, der

den Durchschnittswert überschreitet. Er erreicht etwa 10 cm im Jahrhundert. Da aber die Gleichgewichtslage des Durchschnittswertes nahe dem äußeren Rand des Hebungsrums in einer Zone sehr geringen Aufstiegs liegt, muß dieser merklich kleiner als der augenblickliche Betrag sein. Deshalb dürfte der heutige eustatische Gesamtanstieg höchstens 15 bis 20 cm im Jahrhundert betragen. Es bleibt nun zu überlegen, ob sich dieser Wert genauer erfassen läßt.

Die größten Absenkungsbeträge im Ostseeraum werden in Übereinstimmung von Geologie und Pegelmessungen an der inneren Lübecker Bucht beobachtet. Sie entsprechen einer durchschnittlichen relativen Landsenkung von über 15 cm im Jahrhundert und liegen also in einer ähnlichen Größenordnung wie der maximale eustatische Anstieg. Da dieser oder ähnliche Be-

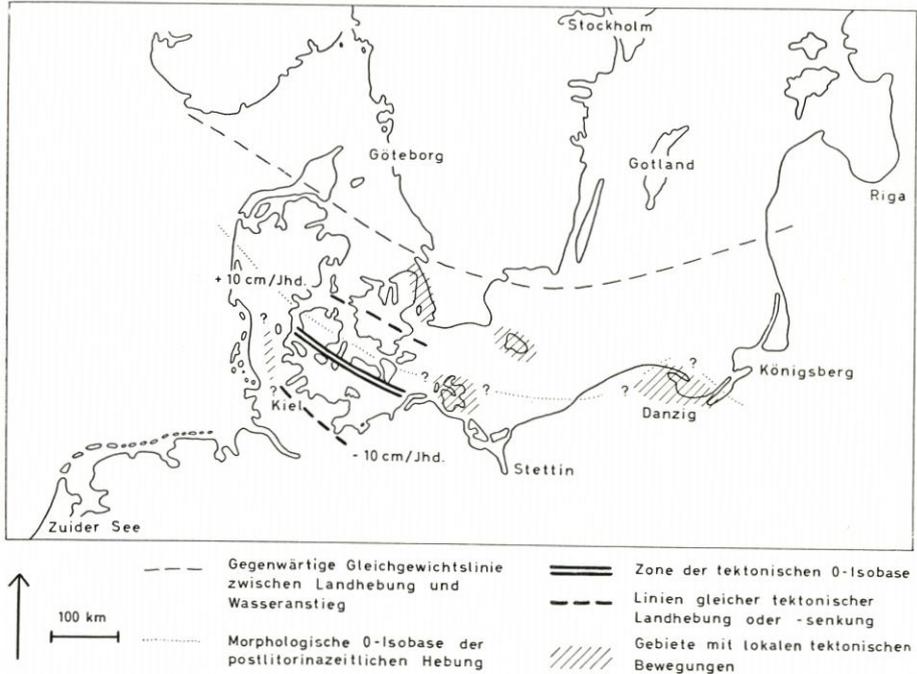


Abb. 21. Vorläufige Skizze der gegenwärtigen tektonischen Vorgänge im südlichen Ostseeraum nach dem Untersuchungsstand im Frühjahr 1959 mit einigen Ergänzungen

träge nach den obigen Ausführungen aber nur für einen verhältnismäßig kleinen Teil der gesamten Zeit gelten, der Durchschnittswert jedoch viel geringer ist, muß hier also auch ein Absinken des Landes vorliegen. Die Grenze zwischen Landhebung und Landsenkung nach Abzug der eustatischen Wasserstandsschwankungen, die tektonische Null-Linie, befindet sich dann zwischen der Forchhammerschen Linie als nördlicher und der Travemündung als südlicher Grenze. Daran schließt sich die Frage, ob sie noch genauer festgelegt werden kann. Überschlägt man die zeitlich wechselnden Beträge des nachchristlichen Wasseranstiegs in ihrer Größenordnung, dann gelangt man zu dem Ergebnis, daß die tektonische Null-Linie in der nördlichen Hälfte des genannten Streifens, also im Raum des Fehmarn-Belts, zu suchen ist (Abb. 21). Weiterhin zeigt eine graphische Darstellung der Hebungen und Senkungen der benachbarten Orte für diese in der nachchristlichen Zeit einen Wasseranstieg von 40 bis 80 cm, d. h. 2 bis 4 cm im Jahrhundert. Der Wert für die mittlere eustatische Bewegung stimmt mit der von BAKKER (1954) im niederländischen Küstengebiet ermittelten Zahl von 3 bis 6 cm im Jahrhundert für den Durchschnitt der

letzten 2500 Jahre recht gut überein. Das Ausmaß des gegenwärtigen eustatischen Wasseranstiegs errechnet sich hieraus zu etwas weniger als 15 cm im Jahrhundert.

Alle langfristigen Absenkungen, die über den Durchschnittsbetrag hinausgehen, sind auf tektonische Bewegungen zurückzuführen. In „Ruhe“ befindet sich ein Streifen, der etwa vom Süden des Kleinen Belts durch den Fehmarn-Belt in Richtung auf den Darß und Strelasund verläuft (Abb. 21). Der nördlich gelegene Raum zeigt tektonische Hebung, wobei einige Gebiete lokale Sonderbewegungen ausführen. Die Linie eines tektonischen Anstiegs von 10 cm im Jahrhundert verläuft ungefähr von der Nordküste Fünens in Richtung auf die Fakse-Bucht (Abb. 21). Südlich der Zone tektonischer Ruhe sinkt das Land. Die Linie einer tektonischen Senkung von 10 cm im Jahrhundert dürfte sich von der westlichen Umgebung Flensburgs zur inneren Lübecker Bucht ziehen (Abb. 21). Sie bleibt aber hypothetisch, weil sie allenfalls in der Nähe der Travemündung die gegenwärtige Küste erreicht. Weiterhin können unter dem Einfluß der Salzhorste örtliche Abweichungen auftreten.

Dieses Bewegungsbild entspricht völlig der Darstellung, die GAYE (1951) als eine der auf Grund der Pegeluntersuchungen theoretisch möglichen Erklärungen gab. Eine starke Landhebung im nordöstlichen Ostseeraum und eine schwache Landsenkung im südwestlichen werden von einer gleichzeitigen Wasserstandshebung infolge vorwiegend meteorologischer und ozeanographischer Einflüsse überlagert. Die andere von GAYE (1951) angeführte Möglichkeit, daß ein Stillstand der Küste im Südwesten und eine starke Hebung im Nordosten bei gleichzeitiger Wasserstandshebung auftreten, läßt sich mit den neuen Ergebnissen ebenso schwierig vereinbaren wie der Versuch von MODEL (1950), die Erscheinungen ausschließlich auf das Verhalten des Untergrundes zurückzuführen.

Aus diesen Überlegungen ergibt sich auch ein Vorbehalt gegenüber den bisherigen Transgressionskurven für die jüngeren Perioden. Die Darstellungen fassen in der Regel Beobachtungen aus größeren Räumen zusammen. Deshalb müssen sich in Zeitabschnitten mit langsamem Wasseranstieg die Bewegungen des Landes bemerkbar machen, so daß regionale Verschiedenheiten zu berücksichtigen sind.

VII. Kurzer Vergleich mit der schleswig-holsteinischen Nordseeküste

Auch an der schleswig-holsteinischen Nordseeküste machen verschiedene Anzeichen eine langsame relative Senkung des Landes in jüngerer Zeit wahrscheinlich. Die Verhältnisse sind aber durch die Natur des Gebietes sehr viel komplizierter. Die Gezeiten und ihre lokalen Veränderungen durch Abwandlung der hydrographischen Bedingungen sowie Sackungen in den Torf- und Kleischichten, z. T. unter dem Einfluß von Schwankungen des Grundwasserspiegels, führen zu sehr unübersichtlichen Bedingungen. Aus ähnlichen Gründen dürfen auch die Pegelmessungen nur mit Vorsicht ausgewertet werden. Außerdem sind die Einwirkungen menschlicher Arbeiten, wie die der Verfehlung, zu berücksichtigen (DITTMER 1948, 1952).

Die tatsächlich auftretenden Höhendifferenzen liegen aber in der gleichen Größenordnung wie die eustatischen Wasserstandsschwankungen. Hinzu kommt noch der Anteil der Sackung. Tektonische Vertikalbewegungen merklichen Umfangs können also nicht vorliegen. Deshalb muß angenommen werden, daß zumindest im größten Teil der Westküste Schleswig-Holsteins in der nachchristlichen Zeit keine wesentlichen Veränderungen der Höhenlage des Landes erfolgten. Die Beobachtungen sind, wie es schon DITTMER (1948, 1952), SCHOTT (1950) und GRIPP (1951) annahmen, überwiegend auf die phasenhaft ablaufende Dünkirchener Transgression zurückzuführen. Da aber an der Ostküste eine tektonische Senkung stattfindet, muß man unter diesen Voraussetzungen innerhalb von Schleswig-Holstein eine etwa Nord-Süd streichende

Unstetigkeitslinie vermuten, die das Senkungsfeld der westlichen Ostsee gegenüber dem sich anders verhaltenden Nordseeraum abgrenzt (Abb. 21).

VIII. Überlegungen zur zukünftigen Entwicklung

Der Versuch von Voraussagen über die zukünftigen Entwicklungstendenzen kann selbstverständlich nur einen hypothetischen Charakter haben. In der Vergangenheit zeigten die eustatischen und isostatischen Bewegungen ein unterschiedliches Verhalten. Die Schwankungen des Wasserstandes äußern sich in einem langsamen und phasenhaften Anstieg, der weiträumig auftritt und in erster Linie von großklimatischen Veränderungen abhängt (SCHOTT 1950, HURTIG 1954 u. a.). Da die gegenwärtige Anhebung des Weltmeeresspiegels aber beträchtlich über dem Durchschnitt der nachchristlichen Zeit liegt, ist bei neuen Klimaschwankungen mit einem Rückgang der Anstiegsgeschwindigkeit zu rechnen. Sie dürfte sich auf einen geringeren Wert einstellen, vielleicht sogar ein vorübergehendes eustatisches Rückgang Platz machen.

Diese Bewegungen des Weltmeeresspiegels überlagern die tektonischen Vorgänge. In ihnen wirken die langfristigen Hebungen des skandinavischen Schildes und die zugehörigen randlichen Senkungserscheinungen mit den eisisostatischen Ausgleichsbewegungen zusammen. Beide werden in der früheren Nacheiszeit die gleiche Tendenz gehabt haben. Der Einfluß letzterer dürfte aber, wie der Vergleich der verschiedenen Vereisungszentren zeigt, in der Gegenwart keine große Rolle mehr spielen⁶⁾, so daß mit gleichbleibenden tektonischen Bedingungen oder vielleicht sogar mit einem gewissen Rückgang der Geschwindigkeit der tektonischen Absenkung an der schleswig-holsteinischen Ostseeküste gerechnet werden kann.

IX. Zusammenfassung

Die geologisch-morphologische Untersuchung der schleswig-holsteinischen Ostseeküste ergab eine relative Senkung des Landes in nachchristlicher Zeit, also im Anschluß an den mit pollenanalytischen Methoden sicher erfaßbaren Transgressionsverlauf. Berechnet auf einen Vergleichszeitraum, zeigt dieser Wasseranstieg an den einzelnen Orten unterschiedliche Beträge. Diese sind um so größer, je weiter die Gebiete von der Forchhammerschen Linie, der morphologischen 0-Isobase der Landhebung Skandinaviens nach dem Litorinamaximum, entfernt sind. Die stärksten Senkungserscheinungen finden sich an der inneren Lübecker Bucht. Nördlich dieser Grenze erkennt man im größten Teil Dänemarks sowie in den anderen skandinavischen Ländern eine zunehmende Landhebung.

Dieses Bewegungsbild entsteht durch die Überlagerung von Hebungen und Senkungen des Landes mit Schwankungen des Meeresspiegels. Eine Zone tektonischer Ruhe, an der gegenwärtig keine Veränderungen der Höhenlage des Landes erfolgen, verläuft ungefähr vom südlichen Ende des Kleinen Belts über den Fehmarn-Belt zum Darß und Strelasund, die Isobase einer tektonischen Landsenkung von 10 cm im Jahrhundert ist dagegen im Gebiet westlich von Flensburg und an der inneren Lübecker Bucht zu erwarten. Die schleswig-holsteinische Ostseeküste befindet sich also innerhalb dieses Streifens. Der von Ort zu Ort wechselnden tektonischen Bewegung überlagert sich ein phasenhaft ablaufender Wasseranstieg mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 2 bis 4 cm im Jahrhundert im Mittel der nachchristlichen Zeit. In den einzelnen Abschnitten sind die Schwankungen um den Durchschnittswert beträchtlich. Der schnelle Anstieg in den letzten Jahrzehnten entspricht fast 15 cm im Jahrhundert.

Da die Beobachtungen an der schleswig-holsteinischen Nordseeküste keinen über die eustatischen Bewegungen hinausgehenden Senkungsbetrag zeigen, ist eine Unstetigkeitslinie innerhalb

⁶⁾ Zu einem ähnlichen Ergebnis kam auch MODEL (1950) durch einen Vergleich der an den Pegeln abgelesenen Bewegungen mit den gravimetrischen Untersuchungen über die Untergrundverhältnisse.

Schleswig-Holsteins zu vermuten. In der zukünftigen Entwicklung ist eine weitere Zunahme des Wasseranstiegs während längerer Zeit nicht wahrscheinlich. Man darf vielmehr ein Nachlassen der Geschwindigkeit der relativen Küstensenkung erwarten.

X. Schriftenverzeichnis

- BAKKER, J. P.: Relative sea-level changes in the northwest Friesland since pre-historic times. *Geologie en Mijnb.*, 16, 232—246, 1954.
- BANTELMANN, A.: Das nordfriesische Wattenmeer, eine Kulturlandschaft der Vergangenheit. *Westküste* 2, 1, 39—115, 1939.
- BANTELMANN, A.: Ergebnisse der Marschenarchäologie in Schleswig-Holstein. *Offa*, 8, 75 bis 88, 1949.
- BERGSTEN, F.: Changes of level on the coast of Sweden. *Geogr. Annaler*, 21—55, 1930.
- BERGSTEN, F.: The land uplift in Sweden from the evidence of old water marks. *Geogr. Annaler*, 81—111, 1954.
- BRINKMANN, R.: Zur Entstehung der Nordöstlichen Heide Mecklenburgs. *Geologie*, 7, 751—756, 1958.
- DITTMER, E.: Die Küstensenkung an der schleswig-holsteinischen Westküste. *Forschungen und Fortschritte*, 24, 215—217, 1948.
- DITTMER, E.: Die nacheiszeitliche Entwicklung der schleswig-holsteinischen Westküste. *Meyniana*, 1, 138—168, 1952.
- EGEDAL, J.: On the determination of the normal height of the sealevel round the danish coasts. *Det Danske Meteorologiska Institut, Aarbog* 1933, 1934.
- EGEDAL, J.: On the variations of the normal height of the sealevel round the danish coast. *Det Danske Meteorologiska Institut, Aarbog* 1945, 1946.
- FRIEDRICH, P. u. HEIDEN, H.: Die Litorina- und Praelitorinabildungen unter dem Priwall bei Travemünde. *Mitt. Geogr. Ges. u. Naturhist. Mus. Lübeck*, 2. Reihe, 25, 3—78, 1912.
- GAGEL, C.: Die sogenannte Ancylushebung und die Litorinasenkung an der deutschen Ostseeküste. *Jb. preuß. geol. L.-A.*, 31, 203—226, 1910.
- GAYE, J.: Wasserstandsänderungen in der Ostsee in den letzten 100 Jahren. *Schrift. Naturwiss. Ver. Schleswig-Holstein*, 25, 196—203, 1951.
- GRIPP, K.: Die Litorina- oder Corbula-Überflutung. *Schwantes Festschrift*, 45—47, Neumünster 1951.
- GUTENBERG, B.: Changes in sea level, postglacial uplift, and mobility of the earth's interior. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 52, 721—772, 1941.
- HAARNAGEL, W.: Das Alluvium an der Deutschen Nordseeküste. *Probleme der Küstenforschung im südlichen Nordseegebiet*, Bd. 4, Hildesheim 1950.
- HAHN, A. u. RIETSCHEL, E.: Langjährige Wasserstandsbeobachtungen an der Ostsee. VI. Baltische Hydrologische Konferenz, Hauptber. 13, Berlin 1938.
- HINTZ, R. A.: Die Entwicklung der Schleimündung. *Meyniana*, 4, 66—77, 1955.
- HINTZ, R. A.: Sedimentpetrographische und diluvialgeologische Untersuchungen im Küstenbereich des Landes Angeln. *Meyniana*, 6, 116—126, 1958a.
- HINTZ, R. A.: Die Strandwälle im Gebiet der Kolberger Heide und die Entstehung des Laboer Sandes. *Meyniana*, 6, 127—130, 1958b.
- HURTIG, TH.: Die mecklenburgische Boddenlandschaft und ihre entwicklungsgeschichtlichen Probleme. Berlin 1954.
- IVERSEN, J.: Undersøgelser over Litorinatransgressioner i Danmark. *Medd. fra dansk geol. Foren.*, 9, 223—232, 1937.
- JANKUHN, H.: Haithabu. Eine germanische Stadt der Frühzeit. Neumünster 1937.
- JANKUHN, H.: Die Ausgrabungen in Haithabu (1937—1939). *Vorläufiger Grabungsbericht. Deutsches Ahnenerbe*, Reihe B, Band 3, 1943.
- JESSEN, K.: Litorinasenkningen ved Klintesø i pollenfloristisk Belysning. *Medd. fra dansk geol. Foren.*, 9, 232—236, 1937.
- KANNENBERG, E. G.: Die Steilufer der schleswig-holsteinischen Ostseeküste. *Schrift. Geogr. Inst. Kiel*, 14, 1, 1951.
- KANNENBERG, E. G.: Der Priwall. Ein Beitrag zur Entwicklungsgeschichte der Travemündung im Postglazial. *Schrift. Geogr. Inst. Kiel, Sonderband*, 27—37, 1953.

- KANNENBERG, E. G.: Das neolithische Grab beim Dahmer Moor und seine fragwürdige Bedeutung für die Datierung des Endes der Litorina-Transgression. *Schrift. Naturwiss. Ver. Schleswig-Holstein*, **28**, 17—20, 1956.
- KLIEWE, H.: Ergebnisse geomorphologischer Untersuchungen im Odermündungsraum. *Geogr. Ber.*, **10/11**, 10—26, 1959.
- KÖSTER, R.: Die Morphologie der Strandwall-Landschaften und die erdgeschichtliche Entwicklung der Küsten Ostwagriens und Fehmarns. *Meyniana*, **4**, 52—65, 1955.
- KÖSTER, R.: Die Küsten der Flensburger Förde. Ein Beispiel für Morphologie und Entwicklung einer Bucht. *Schrift. Naturwiss. Ver. Schleswig-Holstein*, **29**, 5—18, 1958.
- KÖSTER, R.: Junge isostatische und eustatische Bewegungen im südlichen und westlichen Ostseeraum. Vorläufige Mitteilung. *N. Jb. Geol. Paläontol., Mh. z. Zt. im Druck*, 1960.
- KUENEN, PH. H.: Eustatic changes of sea-level. *Geologie en Mijnb.*, **16**, 148—155, 1954.
- MADSEN, V.: Übersicht über die Geologie von Dänemark. *Dann. geol. Unders., V. Række*, Nr. 4, 1928.
- MAGNUSSON, N. H., LUNDQVIST, G. u. GRANLUND, E.: *Sveriges Geologi*. Stockholm 1957.
- MARTENS, P.: Morphologie der schleswig-holsteinischen Ostseeküste. *Schrift. Balt. Kommission Kiel*, **5**, 1927.
- MERTZ, E. L.: Oversigt over de sen- og postglaciale Niveauforandringer i Danmark. *Dann. geol. Unders., II. Række*, Nr. 41, 1924.
- MIKKELSEN, V. M.: Præstø Fjord. The development of the post-glacial vegetation and a contribution to the history of the Baltic Sea. *Dansk bot. Arkiv*, **13**, Nr. 5, 1949.
- MODEL, F.: Gegenwärtige Hebung im Ostseeraum. *Mitt. Geogr. Ges. Hamburg*, **49**, 64—115, 1950.
- NEUGEBAUER, W.: Alt-Lübeck. Problemstellung einer Ausgrabung. *Forsch. Geogr. Ges. u. Naturhist. Mus. Lübeck*, 2. Reihe, **42**, 7—20, 1950.
- NEUGEBAUER, W.: Neue Ausgrabungen auf dem Burgwall Alt-Lübeck. *Germania*, **29**, 235—244, 1951.
- NEUGEBAUER, W.: Der Stand der Ausgrabungen in Alt-Lübeck. *Z. Ver. f. Lübeckische Geschichte u. Altertumsde.*, **33**, 103—126, 1952.
- NEUGEBAUER, W.: 100 Jahre Ausgrabungen in Alt-Lübeck. *Der Wagen*, 27—52, 1953.
- NILSSON, T.: Die pollenanalytische Zonengliederung der spät- und postglazialen Bildungen Schonens. *Geol. Fören. Förh.*, **57**, 385—363, 1935.
- NILSSON, T.: Versuch einer Anknüpfung der postglazialen Entwicklung des nordwestdeutschen und niederländischen Flachlandes an die pollenfloristische Zonengliederung Südkandiaviens. *Lunds Universitets Årsskrift, N. F. Avd. 2*, **44**, 1—80, 1948.
- RANGE, P.: Erläuterungen zu Blatt Hamberge und Lübeck. *Geolog. Karte von Preußen, Gradabt. 25*, Nr. 8 u. 9, 2. Auflage, 1938.
- ROSA, B.: Die postglaziale Transgression an der polnischen Küste. *Geogr. Ber.*, **10/11**, 64—72, 1959.
- SAURAMO, M.: The mode of the land upheaval in Fennoscandia during the late quaternary time. *Fennia*, **66**, Nr. 2, 1939.
- SAURAMO, M.: Land uplift with hinge-lines in Fennoscandia. *Ann. Acad. Scient. Fennicae, Ser. A*, **44**, 1955.
- SAURAMO, M.: Quartäre Strandverschiebungen im NO- und SW-Sektor des Fennoskandischen Vereisungsgebietes. *Meyniana*, **6**, 107—115, 1958.
- SCHMIDT, H.: Morphologische Probleme um den Großen und Kleinen Jasmunder Bodden. *Diss. Greifswald* 1957.
- SCHMITZ, H.: Pollenanalytische Untersuchungen an der inneren Lübecker Bucht. Unveröffentl. Bericht, Lübeck 1951 a.
- SCHMITZ, H.: Pollenanalytische Untersuchungen an der inneren Lübecker Bucht. 2. Bericht. Unveröffentl. Bericht, Lübeck 1951 b.
- SCHMITZ, H.: Pollenanalytische Untersuchungen an der inneren Lübecker Bucht. *Die Küste*, **I**, 2, 34—44, 1952.
- SCHMITZ, H.: Die Waldgeschichte Ostholsteins und der zeitliche Verlauf der Transgression an der schleswig-holsteinischen Ostseeküste. *Ber. dt. bot. Ges.*, **66**, 151—166, 1953 a.
- SCHMITZ, H.: Die geologischen Untersuchungen in dem Raume Fehmarn-Wagrien und in den Gewässern um Fehmarn. Abschnitt VII. Pollenanalytische Untersuchungen an Bohrerergebnissen bei Heiligenhafen. Unveröffentl. Bericht, Wasser- und Schiffsamt Kiel, 1953 b.

- SCHOTT, C.: Die Westküste Schleswig-Holsteins. Probleme der Küstensenkung. Schrift. Geogr. Inst. Kiel, **13**, 4, 1950.
- SCHOU, A.: Det marine Forland. *Folia Geographica Danica*, **4**, 1945.
- SCHÜTZE, H.: Kliffs, Strand und Riffe der Südküste der Eckernförder Bucht (Ostsee). *Geologie d. Meere u. Binnengew.*, **3**, 310—350, 1939.
- SEIFERT, G.: Der Aufbau und die geologische Entwicklung des Brodtener Ufers und der angrenzenden Niederungen. *Die Küste*, **I**, 2, 15—20, 1952.
- SEIFERT, G.: Die postglaziale Geschichte der Warder und der Eichholzniederung bei Heiligenhafen. *Meyniana*, **4**, 37—51, 1955.
- SPETHMANN, H.: Studien an den Flanken des Brodtener Ufers. *Die Küste*, **I**, 2, 12—14, 1952.
- SPETHMANN, H.: Forschungen im innersten Winkel der südwestlichen Ostsee. *Mitt. Geogr. Ges. u. Naturhist. Mus. Lübeck*, **2**. Reihe, **44**, 9—143, 1953.
- TAPFER, E.: Meeresgeschichte der Kieler und Lübecker Bucht im Postglazial. *Geologie d. Meere u. Binnengew.*, **4**, 113—244, 1940.
- TROELS-SMITH, J.: Datering af Ertebølleboplader ved hjælp af Litorina-Transgressioner og Pollenanalyse. *Medd. fra dansk geol. Foren.*, **9**, 253—255, 1937.
- TROELS-SMITH, J.: Stenalderboplader og Strandlinier paa Amager. *Medd. fra dansk geol. Foren.*, **9**, 489—508, 1939.
- VALENTIN, H.: Die Küsten der Erde. *Peterm. Geogr. Mitt., Erg.-H.*, **246**, 1954.

