

Die Küste

**ARCHIV
FÜR FORSCHUNG UND TECHNIK
AN DER NORD- UND OSTSEE**



3950-A-2012-00000125

Die Küste

ARCHIV
FÜR FORSCHUNG UND TECHNIK
AN DER NORD- UND OSTSEE

HERAUSGEBER:
DER KÜSTENAUSSCHUSS NORD- UND OSTSEE

JAHRGANG 1956
Doppelheft

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

Anschriften der Verfasser dieses Heftes:

CHRISTIANSEN, Willi, Dr. h. c., Landesstelle für Pflanzenkunde Schleswig-Holstein, Kiel, Eckernförder Allee 18; DITTMER, Ernst, Dr., Marschenbauamt Husum — Forschungsstelle Westküste —, Husum, Nissenhaus; HAHN, Adolf, Regierungsbaudirektor, Niedersächsisches Hafenamtsamt, Cuxhaven, Alter Weg 5; LORENZEN, Johann M., Wasserstraßendirektor, Wasser- und Schifffahrtsdirektion Kiel, Kiel-Wik, Hindenburgufer 247; PETERSEN, Marcus, Oberregierungs- und -baurat Dr.-Ing., Landesamt für Wasserwirtschaft Schleswig-Holstein, Kiel, Mühlenweg 166; REINEKE, Hermann, Professor Dr.-Ing., Hochschule für Architektur und Bauwesen, Weimar, Geschwister-Scholl-Straße; VEEN, Johan van, Hoofdingenieur-Directeur Dr. Ir., Rijkswaterstaat, s'-Gravenhage, Koningskade 25; WOHLBERG, Erich, Dr. habil., Marschenbauamt Husum — Forschungsstelle Westküste —, Husum, Nissenhaus.

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

Professor Dr.-Ing. Agatz 65 Jahre



Zu den vielen, die Veranlassung haben, Herrn Professor Dr.-Ing. E. h. Dr.-Ing. AGATZ zu seinem 65. Geburtstag am 23. August 1956 neben herzlichen persönlichen Wünschen auch Dank zu sagen, gehören die Küstenforscher. Bei den über 25 Jahre laufenden Bemühungen, zunächst einiger weniger Fachleute, später auch der Behörden, die an der Küste mit wasserbaulichen Aufgaben betraut sind, die gestaltenden Kräfte des Meeres an den deutschen Küsten ebenso wie die Arbeit zu ihrer Lenkung als eine große Einheit zu erkennen, hat sich Professor AGATZ besondere Verdienste erworben.

Nachdem unter Mitarbeit von Professor Dr.-Ing. E. h. FRANZIUS Anfang der dreißiger Jahre ein Generalplan für die Sicherung und Mehrung des Raumes vor der Nordseeküste Schleswig-Holsteins aufgestellt worden war, trat Professor AGATZ dem 1933 in Schleswig-Holstein ins Leben gerufenen Ausschuß „Westküste“ ehrenamtlich als Berater bei. AGATZ hat damals gemeinsam mit Professor KÖRNER und einer Reihe von Männern der Wissenschaft und Praxis unseres Landes den Weg für eine einheitliche großräumige Erforschung des Küstenraumes in der Erkenntnis bereitet, daß sich nur darauf eine auf weite Sicht erfolgreiche Planung stützen kann. Er hat dann seine großen Erfahrungen im Wasserbau den in Forschung und Bau Tätigen zur Verfügung gestellt und die technische Ausgestaltung der Küstenbauten überall gefördert und beeinflußt.

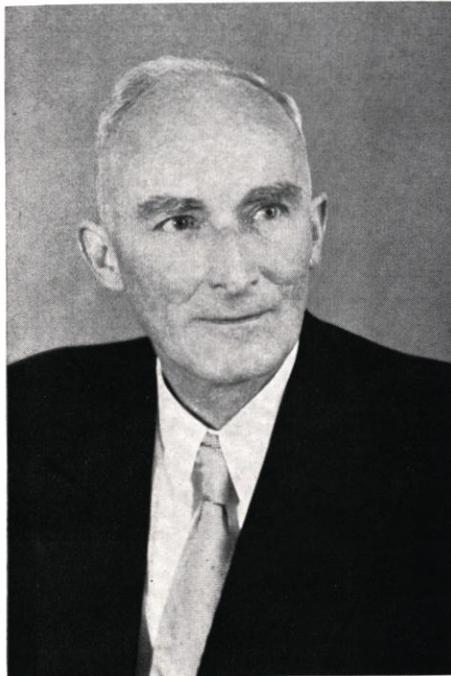
Aus der Erfahrung heraus, daß alle Bauarbeiten an der See auf die Dauer nur wirkungsvoll sein können, wenn sie im Rahmen einer organisch aufgebauten, in Wissenschaft, Technik

und Verwaltung einheitlichen Ordnung zur Ausführung gelangen, hat der Ausschuß „Westküste“ und in ihm besonders Professor AGATZ einen wertvollen Beitrag zur Neuorganisation geliefert. Mit der Ausdehnung der Arbeit des Ausschusses „Westküste“ auf die ganze deutsche Nordseeküste und der Bildung des Ausschusses „Deutsche Bucht“, in dem 1939 alle an der Küste verantwortlich tätigen Stellen sich zu einheitlichem Vorgehen zusammenfanden, schien es, als ob die unselige Zersplitterung der Küstenarbeit nun durch eine große Klammer gefaßt sei und alle Kraft der Aufgabe selbst gewidmet werden könnte. Der Ausgang des Krieges und die politische Neuordnung haben diese große Hoffnung nicht Wirklichkeit werden lassen.

Nach jahrelangen Bemühungen weniger Fachleute gelang es endlich am 21. Oktober 1949, die an der Küste tätigen Dienststellen wieder zusammenzuführen und sie davon zu überzeugen, daß im Sinne der Vorkriegsarbeit eine gemeinsame Arbeit unerläßlich ist. Der Küstenausschuß Nord- und Ostsee wurde unter Beteiligung der Küstenbehörden des Bundes und der Länder, der im Küstenbereich tätigen Hochschulen und Institute sowie von zahlreichen Fachleuten gegründet. Zum Vorsitzenden wurde Professor AGATZ gewählt. Kraft seiner auch über Deutschlands Grenzen hinaus bekannten Persönlichkeit hat er das Verdienst, das freiwillige Zusammengehen aller Träger der Küstenarbeit gefördert und dem Küstenausschuß auch in der Öffentlichkeit das notwendige Gewicht verschafft zu haben. Der Küstenausschuß Nord- und Ostsee, vor allem aber alle, die mit dem Herzen mit der Aufgabe an der Küste verbunden sind, vertrauen darauf, daß es Herrn Professor AGATZ gemeinsam mit seinen Mitarbeitern gelingen wird, den Küstenausschuß als eine entscheidende Brücke zu einem einheitlichen Wasserwesen an Deutschlands Nordgrenze, der Nord- und Ostseeküste, zu festigen und auszugestalten.

Der Küstenausschuß Nord- und Ostsee

Professor em. Dipl.-Ing. Körner 70 Jahre



Am 29. August 1956 hat Herr Professor em. Dipl.-Ing. BURGHARD KÖRNER das 70. Lebensjahr vollendet.

Professor KÖRNER ist — ebenso wie Professor AGATZ — seit 1933 in der deutschen Küstenforschung an führender Stelle tätig gewesen. Seiner persönlichen Anregung ist die Gründung des „Ausschusses für Untersuchungen an der schleswig-holsteinischen Westküste“ — kurz „Ausschuß Westküste“ genannt — und seine spätere Ausweitung auf die gesamte Deutsche Bucht zu verdanken. Als Leiter der Preußischen Landesanstalt für Gewässerkunde und Hauptnivellements, später als ordentlicher Professor für Grundbau und Wasserbau an der Technischen Hochschule Hannover und als Direktor der Hannoverschen Versuchsanstalt für Grundbau und Wasserbau „Franzius-Institut“ hat KÖRNER seine wissenschaftlichen Kenntnisse und praktischen Erfahrungen der damals noch jungen Küstenforschung uneigennützig zur Verfügung gestellt und sie damit maßgebend gefördert. Gemeinsam mit Professor Dr.-Ing. AGATZ, Wasserstraßendirektor Dr.-Ing. PFEIFFER und dem damaligen Leiter der Forschung beim Oberpräsidium der Provinz Schleswig-Holstein, dem jetzigen Wasserstraßendirektor LORENZEN hat er sich für die Gründung der Forschungsstellen Büsum und Husum eingesetzt, die durch gemeinsame Arbeit der Fachleute des Seewasserbaues und der Wissenschaftler aus der Biologie, Geologie, Hydrographie, Landwirtschaft, Marschen- und Wurtenforschung, Meteorologie und Ozeanographie die Grundlagen für eine großräumige und planmäßige Küstenschutzarbeit erarbeiten sollten. Die zahlreichen Aufgaben der

beiden Forschungsstellen haben ihren Niederschlag in dem „Zehnjahresplan für Küstenschutz an der schleswig-holsteinischen Westküste“ gefunden. Daß dieser Plan Grundlage und Ziel für die wasserbaulichen Arbeiten an der Westküste wurde, ist wiederum der Mitarbeit KÖRNERs zu verdanken, die sich sowohl durch sachliche Kritik als auch durch Anregungen mannigfacher Art auszeichnete. So kam es auch zu den Modellversuchen von der Husumer Bucht, durch die der Einfluß der geplanten Dammbauten und Eindeichungen auf die Gezeitenbewegung ermittelt werden sollte.

Die Schriftenreihe „Westküste“ ist von KÖRNER mitbegründet worden.

Auch heute noch stellt KÖRNER sein reiches Wissen der Küstenforschung durch seine rege Mitarbeit im Küstenausschuß Nord- und Ostsee zur Verfügung. Eine ausführliche Bibliographie aller deutschen Veröffentlichungen aus dem Gebiet der Küstenforschung seit 1945, die vom Internationalen Küstensedimentationsausschuß erbeten war, ist ihm zu verdanken. Mit seiner wissenschaftlichen Veröffentlichung über „Die Sinkstoffe der Küstengewässer“ in der Schriftenreihe „Die Küste“ hat er 1955 einen grundlegenden Überblick über die Forschung auf diesem Gebiet gegeben.

Es gehört zur zurückhaltenden Wesensart KÖRNERs, daß er mit seiner ehrenamtlichen Mitarbeit nicht in den Vordergrund zu treten wünscht. Diejenigen, mit denen er zusammenarbeitet, aber wissen, wie wertvoll seine Anregungen und Vorschläge in wissenschaftlicher und technischer Hinsicht sind und wieviel ihm zu verdanken ist.

Im Namen der Küstenforscher dankt der Küstenausschuß Herrn Professor KÖRNER herzlich für seine wertvolle Mitarbeit und wünscht ihm, daß er noch viele Jahre bei guter Gesundheit an der Seite seiner Gattin erleben und seine Arbeitskraft noch lange erhalten bleiben möge.

Der Küstenausschuß Nord- und Ostsee

Inhaltsverzeichnis

REINEKE, Hermann, Professor Dr.-Ing. Aus den Arbeiten des Küstenausschusses Ost	1
LORENZEN, Johann M., Wasserstraßendirektor Gedanken zur Generalplanung im nordfriesischen Wattenmeer	9
HAHN, Adolf, Regierungsbaudirektor Die Bekämpfung der Bohrmuschel	49
VEEN, Johan van, Dr. Ir., Hoofdingenieur-Directeur Die Versalzung der niederländischen Marschen und ihre Bekämpfung	73
DITTMER, Ernst, Dr. Die Versalzung des Grundwassers an der schleswig-holsteinischen Westküste	87
CHRISTIANSEN, Dr. h. c. und STEINBERG †, Kurt, cand. Binnenland-Salzwiesen der nordfriesischen Marsch	103
WOHLENBERG, Erich, Dr. habil. Die Versalzung im Gotteskoog (Nordfriesland) nach biologischen und chemischen Untersuchungen	113
PETERSEN, Marcus, Dr.-Ing., Oberregierungs- und -baurat Die Versalzung der schleswig-holsteinischen Marschen in wasserwirtschaftlicher Sicht	146

Aus den Arbeiten des Küstenausschusses Ost*)

Von Hermann Reineke

Einführung	1
1. Aufgaben und Arbeitsweise	1
2. Das Problem des Küstenschutzes	3
a) Die Ostseebuhnen	3
b) Die Streeckelbergmauer	6
3. Aussicht für die Zukunft	7

Einführung

Als im Herbst 1949 die Gründung des Küstenausschusses Nord- und Ostsee für die Bundesrepublik erfolgte, war auch in der Deutschen Demokratischen Republik das Bedürfnis nach einem Zusammenschluß der an den wasserwirtschaftlichen Aufgaben des Küstengebietes interessierten Institutionen lebendig. Vom Sommer 1952 ab kam es zu laufenden Arbeitstagungen, an denen außer dem Amt und Institut für Wasserwirtschaft und der Hauptverwaltung Wasserstraßen des Ministeriums für Verkehr insbesondere beteiligt waren: das Institut für Physikalische Hydrographie der Akademie der Wissenschaften, das Geographische Institut und das Zoologische Institut der Universität Greifswald, die Geologischen Institute der Universitäten Rostock und Greifswald, die Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau in Berlin, der Meteorologisch-hydrologische Dienst, der Seehydrographische Dienst, die Staatliche Geologische Kommission, der Staatliche Vermessungsdienst, das Institut für Pflanzenökologie auf Hiddensee, der Rat des Bezirks Rostock, Ämter und Betriebe der Wasserstraßen und Wasserwirtschaft sowie eine ganze Reihe regionaler Interessenten. Nachdem im Jahre 1952 das erste Heft der „Küste“ erschienen und die Organisation des Küstenausschusses Nord- und Ostsee mit seinen Arbeitsgruppen daraus bekannt war, gliederte sich auch der „Küstenausschuß Ost“ in eine Reihe koordinierter Arbeitsgruppen, allerdings in beschränkterer Zahl, weil die Probleme der Tide und des Schlickfalls für unsere Ostseeküste nicht existieren.

1. Aufgaben und Arbeitsweise

Die Aufgabenstellung des Küstenausschusses „Ost“, die Koordinierung der an der Wasserwirtschaft der Küste beteiligten Kreise der Wissenschaft, Technik, Verwaltung und Volkswirtschaft, die Förderung der Forschung, die Erstattung von Gutachten und die Dokumentation der Arbeitsgruppen über den Stand und die Perspektiven ihrer Arbeitsgebiete, ist im allgemeinen mit dem Küstenausschuß Nord- und Ostsee gleichgeschaltet worden. Gleichwohl hat die Entwicklung des Küstenausschusses „Ost“ einen etwas anderen Weg genommen. Die Gründe hierfür liegen in der Struktur der Verwaltung begründet. Das Amt für Wasserwirtschaft ist ein zentrales Organ der Regierung der Deutschen Demokratischen Republik. Es war bis November 1955 in das Ministerium für Land- und Forstwirtschaft eingebaut, ist aber seitdem selbständig geworden und steht im Range eines Staatssekretariats mit eigenem Geschäftsbereich gleich-

*) Nach einem Vortrag auf der 2. Arbeitstagung des Küstenausschusses Nord- und Ostsee am 8. Mai 1956 in Kiel.

geordnet neben den Ministerien. Ihm ist für die wissenschaftliche Betreuung seiner wasserwirtschaftlichen Dienststellen und Betriebe in den Bezirken das Institut für Wasserwirtschaft in Berlin mit etwa 180 Mitarbeitern nachgeordnet. Es wird angestrebt, die erwähnte Hauptverwaltung Wasserstraßen, wenigstens soweit es den Bau und die Unterhaltung der Wasserstraßen angeht, aus dem Ministerium für Verkehr aus- und in das Amt für Wasserwirtschaft einzugliedern, wonach dann alles Wasser in einer einzigen zentralen Verwaltung zusammengefaßt wäre. Bis dahin sind noch zwei Planträger für das wasserwirtschaftliche Geschehen an der Küste und für die Verteilung der Investitionen verantwortlich, das Amt für Wasserwirtschaft für den Küstenschutz und das Ministerium für Verkehr für die Seewasserwege, vor allem der Häfen Wismar, Rostock und Stralsund.

In der Kammer der Technik, in der alle ehemaligen technisch-wissenschaftlichen Vereine und Gesellschaften zusammengeschlossen sind, ist die Einheit der am Wasser tätigen Fachleute und Wissenschaftler von Wasserwirtschaft und Wasserstraßen bereits vollzogen. Das Fachgebiet Wasserwirtschaft, bisher mit der Energie zu einem Fachverband zusammengeschlossen, ist gerade im Begriff, ein selbständiger Fachverband innerhalb der Kammer der Technik zu werden, dem nun auch der Küstenausschuß angehört. Die Beziehungen zwischen dem Küstenausschuß und dem Amt für Wasserwirtschaft bzw. der Hauptverwaltung Wasserstraßen sind sehr eng. Besonders nachdem die Bildung technisch-wissenschaftlicher Beiräte als beratender Instanzen der Fachministerien Anfang 1954 gesetzlich verankert wurde, hat sich das Amt für Wasserwirtschaft ständig des Küstenausschusses bedient, um aus ihm den Personenkreis für seinen technisch-wissenschaftlichen Beirat in Fragen des Küstenschutzes zu berufen oder von Fall zu Fall Spezialfachleute und -wissenschaftler bei der Beratung besonderer Fragen hinzuzuziehen. Trotz der kurzen Zeit seines Bestehens hat es der Küstenausschuß auf diese Weise vermocht, in den Fragen des Küstenschutzes, die das A und das O des Küstengeschehens bilden und alle anderen Probleme weit in den Schatten rücken, wertvolle Beiträge zu leisten und dem Amt für Wasserwirtschaft seine Entscheidungen zu erleichtern.

Um solchen Aufgaben gewachsen zu sein, konnte sich der Küstenausschuß nicht auf die Tätigkeit der Arbeitsgruppen allein beschränken, weil diese allgemein lange Fristen für die ihnen auferlegte Berichterstattung über den Stand und die Perspektiven ihrer wissenschaftlichen oder technischen Disziplinen benötigen. Vielmehr war es erforderlich und wurde es von allen Interessenten als Bedürfnis empfunden, unter Zuziehung der tätigen Mitarbeiter aller Arbeits- und Interessengruppen regelmäßige Arbeitstagungen im Frühjahr und Herbst abzuhalten, diese am ersten Tag mit Vorträgen und Diskussionen und am zweiten mit Besichtigungen auszugestalten und so für eine sehr komplexe Behandlung der angeschnittenen Fragen zu sorgen. Die Arbeitstagungen erfreuen sich großen Zuspruchs und Ansehens, es kommen rund 90 v. H. der Eingeladenen, und die Anschauung der vorgetragenen Probleme erfährt bei vielseitiger Betrachtungsweise eine bedeutende Verbreiterung und Vertiefung. Ich nenne einige der behandelten Themen:

- Der Rückgang der deutschen Ostseeküste, Ursachen und mögliche Verhütung
- Gleichgewichtsbestrebungen und Gleichgewichtsstörungen des Sediment-Längstransports
- Exakte Formulierung der physikalischen Bedingungen für die Existenz eines Gleichgewichtsprofils auf der Schorre
- Angriff oder hinhaltender Widerstand bei der Verteidigung der Ostseeküste
- Der praktische Küstenschutz seit 1945 und seine Auswertung
- Ergebnisse der bisherigen Modellversuche in der Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau
- Gerät zum Messen der Geschwindigkeitsoscillation in Wellen

2. Das Problem des Küstenschutzes

Die genannten Themen geben durchaus kein vollständiges Bild der Vortragstätigkeit, da außerdem die Disziplinen der Geographie, Geologie, Biologie, der Baupraxis und des Heimatschutzes wertvolle Beiträge geleistet haben, aber sie zeigen ein besonderes Charakteristikum darin, daß aus ihnen sehr wichtige und neue Gedanken sprechen und sich hier Methoden des Küstenschutzes anzubahnen scheinen, die einen beachtlichen Fortschritt gegenüber dem Hergebrachten bedeuten und die Förderung durch den Küstenausschuß in hohem Maße verdienen. An zwei Beispielen will ich dies erläutern; sie betreffen den Bühnenbau und das Schicksal der Streckelbergmauer.

a) Die Ostseebuhnen

Seit den sechziger Jahren des vorigen Jahrhunderts, also seit fast hundert Jahren, ist die Buhne das hervorstechendste und wichtigste Baumittel des Küstenschutzes gewesen, offenbar mit dem Ziele, die Ansandung des Strandes und des strandnahen Gebietes der Schorre zu begünstigen und den Rückgang des Strandes zu verhindern. Anfangs wurden kurze Buhnen von 20 bis 30 m Länge, später die Langbuhnen, die sogenannten Ostseebuhnen, von 80 bis 100 m Länge in Abständen von 75 bis 100 m gebaut, stellenweise in langen Feldern, im Verlauf der vielen Jahrzehnte wohl zu Tausenden. Es wurden Buhnen in einfachen und doppelten Pfahlreihen, in Pfahlbauweise mit Flechtzäunen und Bruchsteinen schwerer und leichter Bauart, ja, auch Buhnen aus eisernen Spundwänden errichtet. Die Erfolge mit den Buhnen erscheinen wechselnd, gelungenen Ansandungen stehen andernorts Erosionen gegenüber, besonders gefürchtet die Lee-Erosionen an den Buhnen selbst und in Lee der Hauptwindrichtung. Wohl ausnahmslos werden am Ende von Buhnenfeldern auf Schorre, Strand und am Ufer starke Abrasionen und Abbrüche beobachtet, die häufig dazu geführt haben, daß die Buhnenfelder durch weitere Buhnenbauten verlängert wurden, womit aber die Lee-Erosion des Feldes nicht verhindert, sondern nur verlagert wurde.

Woran liegt es wohl, daß die Fachleute über den mit Sicherheit zu erwartenden Erfolg ihrer Buhnenbauten keine gültige Voraussage machen konnten und können, daß sie auf Vermutungen angewiesen sind, daß wahrscheinlich in zahlreichen Fällen der sichtbar eingetretene Erfolg viel weniger auf die Buhne selbst als auf *a n d e r e*, mit dem Küstengeschehen verbundene Ereignisse und Ursachen zurückzuführen ist? Es liegt daran, daß wir physikalische Regeln für die Standortwahl, die Bauart, die Länge und vor allem über die Wirkungsweise der Ostseebuhne nicht kennen. Bei der Strömungsbuhne ist es anders; bei ihr sind wir in der Lage, durch technische Kalkulationen die physikalischen Zusammenhänge zwischen Wassermenge, Wassertiefe, Querschnitt, Reibungswiderstand, Beschleunigung und anderen Komponenten im Bauwerk zum Ausdruck zu bringen und den Erfolg vorauszusagen. Könnten wir mit ähnlichen Regeln an die Ostseebuhnen herankommen, wäre uns geholfen. Aber wir können es noch nicht.

Meines Wissens waren Professor Wasmund und seine Mitarbeiter vom Meeresgeologischen Forschungsinstitut in Kiel im Sommer 1939 die ersten, die geologische und hydrographische Methoden an unserer Ostseeküste anwandten, um im Gebiet der Schorre die Verhältnisse von Strömung, Sandwanderung, Materialhaushalt und Küstenabbruch zu erforschen. Ihre Arbeiten haben draußen nur wenige Monate andauern können und sind nach Ausbruch des Krieges nicht fortgesetzt worden; sie sind unvollendet geblieben. Nach dem Kriege haben in der Deutschen Demokratischen Republik die Staatliche Geologische Kommission und das Akademieinstitut für physikalische Hydrographie, das unter der Leitung von Professor Ertel, dem stellvertretenden Präsidenten der Akademie der Wissenschaften, steht, die Forschungen wieder aufge-

nommen und sehr beachtenswerte Ergebnisse erzielt, die unserer Anschauung über die Erhaltung der Ostseeküste eine ganz bestimmte Richtung gegeben haben. Ich will sie in großen Zügen darlegen.

Der geologische Charakter unseres Raumes ist im gegenwärtigen Zeitalter präzisiert durch das ununterbrochene Geschehen des Austausches zwischen Erosion und Sedimentation. Nirgends geht dieser Austausch so rasch und sichtbar vor sich wie an der Ostseeküste, wobei der Winderosion eine viel geringere Bedeutung zukommt als der Wassererosion, die allein das praktische Maß der Erosion bestimmt. Die Küste, um die es sich hier handelt, reicht von der Lübecker Bucht bis zur Südostspitze der Insel Usedom, bis vor Swinemünde, das unter polnischer Oberhoheit steht, und hat mit seinen zur offenen See exponierten Küstenstrichen, unter Einschluß der Inseln Hiddensee, Rügen und Usedom, eine Länge von nicht weniger als rund 350 km. Die Landschaft ist bis in die Tiefe der Ostsee hinein die typische norddeutsche Moränenlandschaft der Eiszeit; der Geschiebemergel der Gletschermoränen ist der beherrschende Baustoff des anstehenden Bodens. Die Küste ist zum großen Teil Steilküste oder Kliffküste, daneben Flachküste, von Dünen übersandet oder dünenlos geworden und mit Seedeichen befestigt, wenn das Hinterland vor Überflutungen bei Sturmfluten geschützt werden muß. An die Küste schließt sich der mehr oder weniger breite Strand, häufig mit einem Strandwall versehen, und daran von der Wasserlinie ab die Schorre, die bis zu einer Tiefe gerechnet wird, in der die Wellenbewegungen keinen Einfluß mehr auf die Sedimentbewegung auszuüben vermögen, d. h. allgemein bis zu 8 bis 10 m Tiefe. Die Schorre trägt in Strandnähe eins, zwei oder drei Riffe, auf denen die Wellen zu brechen pflegen, also in der Brandungszone.

Im ganzen gesehen ist die gesamte Küste eine Abbruchküste, sie ist in fortwährender Erosion begriffen. Das Sedimentmaterial des Strandes und der Schorre, Sande, Kiese und Geröll, stammt aus dem Moränenboden, es ist aus ihm ausgewaschen, wobei die feinen und feinsten Partikel, die gewöhnlich den größeren Teil der Masse bilden, als Schwebestoffe fortgetragen werden und für die Sedimentation an der Küste verlorengehen. Hauptlieferant der Sedimente auf Strand und Schorre ist die Steilküste. Sie wird nicht allein bei Sturmfluten, die ihren Fuß angreifen, aktiv und bricht herunter, sondern es sorgen auch die aus ihr austretenden Grundwässer für die Bildung von Gleit- und Rutschflächen, die unabhängig von den Sturmfluten den Zerfall der Kliffküste begünstigen. Noch Wasmund und seine Mitarbeiter waren der Meinung, daß die Sedimentation auf Strand und Schorre nicht allein dem Zerfall der Küste, sondern in beträchtlichem Maße auch dem Herantragen von Sedimenten in Strömungen aus dem Grunde der Ostsee zu verdanken sei. Sie betrachteten in diesem Sinne die Abrasion der aus dem Boden der Ostsee aufragenden Moränenblöcke der Eiszeit als zweiten Sedimentlieferanten. Die neuen Forschungen haben ergeben, daß der Anteil einer derartigen Sedimentanfuhr, wenn er überhaupt die Küste erreicht, nur sehr gering ist und praktisch in der Betrachtung des gesamten Küstengeschehens vernachlässigt werden kann. Auf der anderen Seite bestanden ähnliche Vermutungen über das Hinwegtragen von Sedimenten aus dem Bereich der Schorre in die Tiefe der Ostsee mit Hilfe vorhandener Strömungen. Auch diese Vermutungen sind neuerdings mit einiger Sicherheit widerlegt worden. Vielmehr muß die Sedimentation als ein in sich geschlossener physikalischer Vorgang aufgefaßt werden, der allein aus der Erosion der Küste genährt wird und auf den Strand und die Schorre beschränkt ist, von seltenen und unerheblichen Extremfällen anderer Art abgesehen.

Von der größten Wichtigkeit ist dabei die gewonnene Erkenntnis, daß allein die Welle der Erreger und Träger der Sedimentbewegung auf der Schorre ist, daß weniger Triftströmungen oder — wie sie auch genannt wurden — Versatzströmungen für den Transport der Sedimente verantwortlich sind, sondern nur die Wellen. Die Wellenenergie erzeugt dabei zu gleicher Zeit Sedimentbewegungen in zweierlei Sinn. Sie bringt einmal den Grund der Schorre

in Bewegung und Umlagerung und besorgt andererseits den Transport der Sedimente längs der Küste.

Was zunächst die Umlagerung auf der Schorre angeht, so kann wohl gesagt werden, daß die Forschungen der Mitarbeiter Professor ERTELS, besonders der Doktoren VOLLBRECHT und GRIESSEIER, mit Hilfe zahlreicher Unterwasserbeobachtungen der Sedimentbewegung auf der Schorre das Vorhandensein einer physikalischen Gesetzmäßigkeit für die Oberflächengestaltung der Schorre nachgewiesen haben. Je nach Höhe der Wellen, Wellentyp, Wellenrichtung, Wassertiefe, Neigung der Schorre, Körnung und spezifischem Gewicht der Sedimente setzen die Wellen die Sedimente auf der Schorre in hin- und hergehende Bewegungen mit einem gesetzmäßigen Übermaß in der Richtung des Wellenfortschreitens oder entgegen dieser Richtung, wobei sie bestrebt sind, ein Gleichgewichtsprofil herzustellen.

Der Längstransport der Sedimente entlang der Küste geht in den Riffen vor sich; sein Maß ist von der Höhe des Seegangs und von der Richtung abhängig, mit der die Wellen die Riffzone anlaufen. Die Riffe liegen in der Brecherzone, d. h. dort, wo, ebenfalls einem physikalischen Gesetz folgend, der steigende Teil der auflaufenden Welle bei abnehmender Wassertiefe so steil wird, daß die Welle ihre Stabilität verliert und bricht. Die dabei freiwerdende Energie setzt die in den Riffen enthaltenen Sedimente in oscillatorische Bewegungen, erzeugt sozusagen eine Sedimentwalze, die sich nicht längs der Küste bewegt, wenn die Wellen winkelnrecht auf die Riffzone treffen, die sich aber wie eine Schraube entlang der Küste weiterwälzt, wenn der Auftreffwinkel von dem rechten Winkel abweicht, was in der Regel der Fall ist. So erfolgt ein Längstransport der Sedimente in den Riffen, bald in der einen Richtung, bald in der anderen, je nachdem aus welchem der zwei vor der Küste liegenden Quadranten die Wellen die Küste anlaufen.

Während wir mit den erzielten Erkenntnissen einen klaren Einblick in das Kräftespiel zwischen Welle und Sediment gewonnen haben, der neuerdings auch von Dr. SCHMITZ exakt mathematisch formuliert ist, fehlen noch alle Voraussetzungen für eine entsprechende Formulierung der Bilanz der bewegten Massen. Die Gleichung der Bilanz ist offenbar: Die aus dem Abbruch der Küste ausgewaschenen Sedimente werden auf Strand und Schorre verteilt, ihre Masse verringert sich fortwährend durch Zerreiben und Zermahlen im Sedimenttransport, wobei die feingewordenen Teilchen fortgetragen werden. Die Verteilung der Sedimente ist ungleich. Teilen der Küste, in denen beträchtliche Sedimentationen erfolgen, stehen andere gegenüber, in denen keine Sedimentationen, dagegen unangenehme Erosionen beobachtet werden. Wenn in einen Küstenabschnitt in einem längeren Zeitraum durch den Längstransport mehr Sedimente hineingebracht als durch Zerreiben und Abtransport aus dem Abschnitt fortgeschafft werden, dann herrscht Sedimentation, im umgekehrten Falle Erosion.

Die Aufgabe des Küstenschutzes kann und darf nicht darin gesehen werden, die Küste durch irgendwelche Maßnahmen gänzlich vor dem Abbruch zu bewahren. Die Folge wäre in verhältnismäßig kurzer Zeit der Abtransport der noch vorhandenen Sedimente an die von der Natur begünstigten Sedimentationsplätze, vorzüglich in die Buchten, und das gleichzeitige Zerreiben der Sedimente; der Strand würde verschwinden und die Küste dem unmittelbaren Angriff der Wellen preisgegeben. Die Küste könnte dann, wenn der Strand, ihr Fundament, verschwunden wäre, nicht mehr gehalten werden. Die Aufgabe des Küstenschutzes müßte vielmehr darin bestehen, den Längstransport der Sedimente durch seebauliche Mittel in die Hand zu bekommen, die Sedimentationen dort, wo sie gewünscht werden, zu begünstigen und dort, wo sie nicht am Platze sind oder stören, zu beschränken. Wenn die Lösung dieser Aufgabe gelingt, besteht die Möglichkeit, den Abbruch der Küste, mit dem gegenwärtig die Ostsee Raubbau treibt, auf

ein Minimum herabzuführen und den Abbruch an solche Stellen zu legen, an denen er den geringsten Schaden verursacht.

Die Diskussion dieser wichtigen Frage beschäftigt den Küstenausschuß lebhaft, allerdings bisher mehr vom Standpunkt der Erringung einer klaren Erkenntnis als von dem der Überführung der gewonnenen Erkenntnis in die Praxis. Diese Weiterführung der Gedanken steht noch aus. Aber sie ruht nicht. Sie wurde eingehend erörtert, als das Amt für Wasserwirtschaft dem aus dem Küstenausschuß gebildeten technisch-wissenschaftlichen Rat die Frage vorlegte, welche Bauweisen der Ostseebuhne zu bevorzugen seien. Es standen mehrere Vorschläge zur Erörterung, von denen der wichtigste darin bestand, die Buhnen nicht mehr in geschlossener, sondern in offener Bauweise herzustellen. Ich darf sogleich das Votum des Küstenausschusses mitteilen, das den folgenden Standpunkt empfiehlt: „Dort, wo Buhnenbau zweckmäßig erscheint, ist die offene Buhnenbauweise anzuwenden.“ Diese Stellungnahme zeigt mit einem Schläge, daß die neuen Anschauungen über die Dynamik im Küstengeschehen den Bau geschlossener Buhnen grundsätzlich ablehnen, weil solche Buhnen den natürlichen Materialtransport auf den Riffen zerhacken, zerschneiden und abweisen, so daß in ihrem Lee Materialmangel und als dessen Folge Erosion entsteht. Es wird erwartet, daß die offenen Buhnen d. h. beispielsweise Pfahlbuhnen, deren Pfähle nicht dicht an dicht, sondern in Abständen geschlagen sind, den Längstransport der Sedimente zwar zum größten Teil durchlassen, aber doch einen Teil als Anlandung zurückhalten. Insoweit erscheinen sie nur dort zweckmäßig, wo bereits Anlandungstendenz besteht; der Erosionstendenz vermögen sie nicht zu begegnen, im Gegenteil, sie eher zu begünstigen, weil sie den Weitertransport des Materials schwächen. Es ist zu erwarten, daß mit der Stellungnahme des Küstenausschusses die Tage der alten geschlossenen Ostseebuhne gezählt sind, wenn es auch noch nicht gelungen ist, die Buhnen durch bessere bauliche Maßnahmen ganz zu ersetzen.

b) Die Streckelbergmauer

Wenn die Ergebnisse der Erforschung der Sedimentbewegung im Küstengürtel der Ostsee bei der Beurteilung der leichten Seebauten, wie sie die Buhnen darstellen, zu einer Auffassung führen, die im Gegensatz zu einer fast hundertjährigen, gleichsam „Mode“ gewordenen Praxis eine neue Phase des Küstenschutzes einzuleiten scheint, so ist es von ganz besonderem Interesse, einmal unter dem gleichen Gesichtswinkel den Blick auf die Bewährung massiver Küstenschutzbauten zu richten. Als Beispiel will ich von dem Schicksal der *Streckelbergmauer* berichten, die an der Außenküste Usedom dem Abbruch des Streckelberges Einhalt gebieten soll. Der Streckelberg bildet die höchste Erhebung Usedom und liegt im mittleren Teil der nach Nordosten exponierten rund 40 km langen Außenküste, deren größerer Teil Abbruchküste ist. Die Anlandungsstrecken befinden sich am nördlichen und südlichen Ende der Außenküste und empfangen ihr Material wechselweise je nach Windrichtung aus der Abbruchstrecke. Der Streckelberg trägt auf seiner Höhe eine Schifffahrtsbake, deren Position durch den Abbruch der küstenseitigen Berglehne gefährdet wurde. Der Abbruch soll so stark gewesen sein, daß vor dem Beginn unseres Jahrhunderts in 240 Jahren rund 300 m Landverlust eingetreten waren. Um den Standort der Schifffahrtsbake zu schützen, vielleicht auch aus anderen Gründen, wurde in den Jahren 1895 bis 1897 am seeseitigen Fuß des Streckelberges eine massive Mauer von 320 m Länge und 4 m Höhe errichtet, die später bis auf 440 m verlängert und bis auf 5,8 m erhöht wurde. Während beim Bau der Mauer noch ein Strand vorhanden war, schwand dieser bald dahin und die Mauer erlitt in mehreren Sturmfluten, besonders in den Jahren 1904 und 1913, eine Reihe von schweren Schäden, die beseitigt wurden; nach der Sturmflut von 1913 geschah die erwähnte Erhöhung, wobei noch eine 4 m tiefe Spundwand an der Wasserseite in

der ganzen Mauerlänge gerammt wurde. So hielt die Mauer lange Zeit, bis 1948, 1949, 1952 und 1954 aufs neue erhebliche Zerstörungen eintraten. Die Kosten der Wiederherstellung sollen jetzt rund 2 Millionen Mark betragen.

Das Amt für Wasserwirtschaft erbat vom technisch-wissenschaftlichen Rat bzw. vom Küstenausschuß eine Stellungnahme zu der Frage der Wiederherstellung der Mauer, die von den Badegästen — die Mauer war eine prächtige Uferpromenade — und den anliegenden Orten lebhaft gefordert wurde. Die Schifffahrt zog ihre Ansprüche zurück, indem sie die Schifffahrtsbake einzog. Die Stellungnahme gipfelte in der einmütigen Empfehlung, die Mauer nicht wiederherzustellen, und zwar aus folgenden Gründen: Der Streckelberg war ehemals der bedeutendste Sedimentlieferant für die Außenküste Usedom, die an mehreren Stellen besonders gefährdet ist und hier eines kräftigen Strandes und Sedimentnachschiebes bedarf. Die Mauer hat die Sedimentlieferung gestört und die Gefahren vergrößert. Außerdem ist auf der Schorre vor der Mauer mangels einer Sedimentzufuhr verstärkte Abrasion eingetreten, die sich vergrößern muß, wenn das Steilufer beiderseits der Mauer weiter und weiter abbricht, wie es geschieht, wobei die Mauer örtlich immer weiter in die freie See hinausrückt. Auf die Dauer sind Grundbrüche der Mauer, wie sie bereits eingetreten sind, auch nach einer Wiederherstellung nicht zu verhindern. Es ist daher geboten, den Streckelberg wieder zum aktiven Kliff zurückzubilden, zumal der Erhaltung der Mauer eine volkswirtschaftlich wichtige Bedeutung nicht zukommt.

Bemerkenswert ist an der Stellungnahme wieder die Feststellung, daß die dynamischen Vorgänge an der Küste das Geschehen bestimmen, das der Mensch nicht mit Gewalt aufzuhalten vermag. Auch hier ist ihm die Aufgabe gestellt, die physikalischen Wirkungen der Naturkräfte so zu lenken und beherrschen zu lernen, daß der Rückgang der Küste auf ein notwendiges Minimum beschränkt wird.

3. Aussicht für die Zukunft

Gegenüber den geschilderten beiden Beispielen des Küstenschutzes, die das Kernproblem darstellen, treten andere Fragen in den Hintergrund. Ich will aber erwähnen, daß auch auf seiten der Schifffahrt eine ganze Reihe von seebaulichen Schwierigkeiten zu überwinden ist, vor allem hinsichtlich der Offenhaltung der Fahrwässer für die Häfen. In diesen Fällen leistet die Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau mit ihren ausgezeichneten Modellversuchen sehr wertvolle Hilfe. Die Anstalt ist neuerdings auch in der Lage, die Sedimentbewegung unter Wellen im Modell zu studieren, nachdem es gelungen ist, in einem langen Gerinne Wellen bis zu 0,6 m Höhe zu erzeugen.

Wenn ich noch einige Worte über die Perspektive der Küstenausschußarbeit sagen darf, so will ich betonen, daß der Küstenausschuß nach wie vor der Weiterführung der Grundlagenforschung über die physikalische Gesetzmäßigkeit der Sedimentbewegung große Förderung zuwenden wird, daran anschließend auch der Erforschung von neuen Methoden der Küstenschutzbauten, etwa der Anwendung flächiger Bauweisen auf der Schorre oder von Einbauten zur Beeinflussung und Lenkung des Längstransports in den Riffen.

Darüber hinaus ist eine andere Frage noch sehr wenig bearbeitet und eigentlich vollkommen offen. Das ist die Frage der Strömungen in der Ostsee, die ihr Maximum bei den Sturmfluten erreichen, wenn ein Sturmtief über Südschweden die Windrichtungen der Grundrißgestalt der Ostsee anpaßt, wobei die Wassermassen in den Bottnischen und Finnischen Meerbusen hinaufgepeitscht werden. Nach dem Überschreiten der Ostsee verändert das Tief die Windrichtungen und es entsteht durch das Zurückfluten der aufgestauten Wassermassen Sturm-

flut an unserer Ostseeküste. Die Größe der aufgestauten Wassermassen, die bis in die Hunderte von Milliarden m^3 während einer Sturmflut zu gehen vermag — die Ostsee bedeckt eine Fläche von über 400 000 km^2 oder 400 Md m^2 —, bedingt Strömungen in der Ostsee, deren systematische Erforschung noch aussteht. Hier müßte eine Zusammenarbeit aller Anliegerstaaten einsetzen, um einen einheitlichen Pegeldienst bei Sturmfluten zu organisieren, die Schwingungen der Wassermassen zu studieren und die Berechnungen der Strömungen daraus abzuleiten. Es ist wahrscheinlich, daß unsere Anschauungen über die Sedimentbewegung auf dem Boden der Ostsee durch eine derartige Forschungsarbeit einen bedeutenden Fortschritt erfahren.

Endlich möchte ich erwähnen, daß neben den Aufgaben in den Arbeitsgruppen und der gutachtlichen Tätigkeit zahlreiche regionale und örtliche Wünsche und Zweifelsfragen dem Küstenausschuß zur Beurteilung vorgelegt werden, so daß die Bedeutung des Küstenausschusses auch dadurch für die Volkswirtschaft des Küstengebietes von Jahr zu Jahr wächst. Diese Seite der Küstenausschußarbeit soll weiterhin besonders gepflegt werden.

Zum Abschluß möchte ich betonen, daß es mir eine besondere Freude war, Ihnen einen kurzen Einblick in die Arbeiten des Küstenausschusses Ost gegeben zu haben. Im Küstenausschuß „Ost“ ist es aller Wunsch, die Tätigkeit und Arbeitsweise des Ausschusses so mit dem Küstenausschuß West koordiniert zu gestalten, daß es bei der von uns allen ersehnten Wiedervereinigung Deutschlands nur einer gemeinsamen EntschlieÙung bedarf, um den Küstenausschuß der Bundesrepublik und den Küstenausschuß der Deutschen Demokratischen Republik zu einem Deutschen Küstenausschuß Nord- und Ostsee zusammenzuführen.

Gedanken zur Generalplanung im nordfriesischen Wattenmeer

nach dem Manuskript von 1940

Von Johann M. Lorenzen

Inhalt

Vorwort	9
I. Einleitung	11
II. Der Planungsraum Nordfriesland und die Planungsgrundlagen	12
A. Begrenzung	12
B. Planungsgrundlagen	13
a. Entwicklung des Raumes in den letzten Jahrhunderten	13
b. Wattaufbau (Geologie und Biologie)	15
c. Messung der Gezeitenkräfte	16
III. Sicherung des Raumes vor der Küste	17
a. Begrenzung der Stromgebiete	17
b. Einengung der Stromgebiete (Wattbedeichung)	17
c. Landgewinnung als Küstenschutz	23
IV. Die einzelnen Planungsräume	24
1. Der Planungsraum Hörnum-Tief — Norderau	24
a. Allgemeines	24
b. Küstenschutz	25
c. Landgewinnung	26
d. Wasserwirtschaft und Wasserverkehr	27
2. Der Planungsraum Süderau — Norderhever	27
a. Allgemeines	27
b. Küstenschutz	29
aa. Dammbauten	29
bb. Wattbedeichung	30
Raum A	31
Raum B	33
Raum C	34
Raum D	34
3. Der Planungsraum Süderhever	37
V. Zusammenfassung	39
VI. Schriftenverzeichnis	40
VII. Anhang: Verzeichnis der aus dem Aufgabenbereich der Westküstenforschung hervorgegangenen Arbeitsberichte und Veröffentlichungen 1934 bis 1956	42

Vorwort

Die Arbeitsgruppe Küstenschutz im Küstenausschuß Nord- und Ostsee hat im Jahre 1955 eine Stellungnahme „Allgemeine Empfehlungen für den deutschen Küstenschutz“¹⁾ erarbeitet, die sich auf Berichte über Erfahrungen und Erkenntnisse im Küstenschutz an der Nordsee in der Deutschen Bucht während der letzten hundert Jahre stützt. Eine der wichtigsten Forderungen der Stellungnahme ist die Vertiefung der Einsicht in die wirksamen Kräfte und ihre Wechselbeziehungen im Tidegebiet.

Die nicht ausreichende Kenntnis der Naturkräfte hat bei technischen Maßnahmen vor der Küste überaus kostspielige Fehlschläge und Schäden eintreten lassen. Verheißungsvolle Ansätze zu übergeordneter, die ganze deutsche Seeküste umfassender Untersuchung des Wattenmeeres und der in ihm

¹⁾ Vgl. „Die Küste“, 1955.

wirksamen Kräfte hat der letzte Krieg zerstört. Der größere Teil der in der Wattenforschung tätig gewesenen wertvollen Fachkräfte ist gefallen oder nicht an die alte Aufgabe zurückgekehrt. Nur ganz wenige der Ingenieure und Wissenschaftler, die in enger und fruchtbarer Arbeit eine Reihe wichtiger Erkenntnisse gewonnen hatten, sind noch am Leben und im Einsatz. Die Forderung nach einer großräumigen Planung im Küstenraum im Hinblick auf die Belange des Küstenschutzes, der Wasserwirtschaft und des Verkehrs ist jedoch geblieben. Sie hat nach dem Kriege für die Aufgaben des Küstenschutzes und der Landeskultur den umfassendsten Ausdruck im „Küstenplan“ gefunden, der die großzügige Förderung des Bundes und der Länder erfährt. Wenn auch im ganzen gesehen das Schwergewicht der Arbeiten des „Küstenplans“ innerhalb der Uferlinie der Meeresküste liegt, so greift er doch mit den Deichschutz- und Landgewinnungsarbeiten zwangsläufig in das Wattenmeer über. Das ist besonders im Raum Nordfriesland der Fall, der stärker als alle übrigen Abschnitte der deutschen Meeresküste der zerstörenden Wirkung des Meeres ausgesetzt ist. Diese Tatsache hat in Verbindung mit den großen notwendigen Aufgaben des Küstenschutzes bereits in den vergangenen beiden Jahrzehnten in Nordfriesland technische und wissenschaftliche Vorarbeiten ausgelöst, die auch für die untersuchende und planende Arbeit der Gegenwart unentbehrlich sind.

Als zu Beginn des zweiten Weltkrieges im nordfriesischen Wattenraum wie überall die eingeleiteten Untersuchungen zum Erliegen kamen und ihre Wiederaufnahme in ferne Zukunft zu rücken begann, hat der Verfasser den Versuch gemacht, mit Hilfe der noch verfügbaren Mitarbeiter die bis dahin erarbeiteten Untersuchungsergebnisse zusammenzustellen (Anhang, S. 42). Als der Krieg begann, lag von den auf zehn Jahre abgestellten Untersuchungen das Ergebnis einer vierjährigen Forschungsarbeit vor. Sinn und Zweck des Berichts war es, die wichtigsten Ergebnisse und Erkenntnisse einer jahrelangen Arbeit in großen Umrissen festzustellen und soweit möglich praktische Folgerungen zu ziehen, die einer Wiederaufnahme der Untersuchungen nach dem Kriege dienlich sein würden.

Nachdem der oben erwähnte Bericht bereits Gegenstand kritischer Betrachtung in der Öffentlichkeit, vor allem in dem Band I des Werkes „Landgewinnung und Landerhaltung in Schleswig-Holstein — Sonderprobleme des Küstenraumes“ (FISCHER, 1955), geworden ist, hält es der Verfasser für angebracht, die in enger Gemeinschaft mit ausgezeichneten Mitarbeitern in der Zeit bis zum Beginn des zweiten Weltkrieges gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen in einer knappen Übersicht der Öffentlichkeit vorzulegen.

Die in der vorliegenden Abhandlung niedergelegten Gedanken und Folgerungen können die nach dem Kriege neu erarbeiteten Erkenntnisse naturgemäß nicht berücksichtigen; trotzdem dürften sie dem forschenden und planenden Ingenieur auch heute noch von Nutzen sein.

Durch fast ein Menschenalter verfolgt der Verfasser das Wirken der Naturkräfte in seiner nordfriesischen Heimat. Mit wachsendem Einblick in das Naturgeschehen und in das Verhalten des Menschen hierzu, in dem tieferen Erkennen von Ursache und Wirkung hat ihn die Sorge um den Bestand des nordfriesischen Wattenmeeres und damit Nordfrieslands in zunehmendem Maße bedrückt. Daraus erwuchs gegenüber der Heimat die selbstverständliche Pflicht, nicht nur die Gefahren, sondern auch Wege aufzuzeigen, die zu einer möglichst dauerhaften Sicherung des nordfriesischen Küstenraums führen können.

Die nachstehende Veröffentlichung soll gleichzeitig ein kleiner sehr verspäteter Dank an die Mitarbeiter²⁾ sein, die sich der Erarbeitung wichtiger Grundlagen³⁾ für die Sicherung der Schleswig-Holsteinischen Westküste mit ganzer Kraft gewidmet haben.

Kiel, den 31. Dezember 1956

J. M. LORENZEN

²⁾ Die Mitarbeiter der Westküstenforschung von 1934 bis 1940 und ihre Arbeitsgebiete:

1. Dr. h. c. BROCKMANN: Diatomeen (ehrenamtliche Mitarbeiter).
2. Dr. DECHEND: Geologie, besonders Mineralogie.
3. Dr. DITTMER: Geologie, besonders Küstensenkung, Stratigraphie, Morphologie, Baugrundfragen, Grundwasserkunde, Sinkstoffe.
4. Dipl.-Ing. ELY †: Vermessung, Kartographie.
5. Dr. ERNST †: Geologie, besonders Pollenanalyse, Stratigraphie.
6. Regierungsbaurat HABERSTROH †: Verwaltung, Vermessung, Peilung.
7. Dr. HERRMANN †: Agrikulturchemie.
8. Dipl.-Ing. HUNDT: Küstenveränderungen, Vermessungen, Peilung, Sturmfluten.
9. Professor Dr. IWERSEN †: Agrikulturchemie, Watt-Kultivierung, landwirtschaftliche Neuordnung und Umlegung.
10. Dr. KÖNIG: Biologie, Wattfauna und -flora, besonders Diatomeen, Salicornia, Spartina.

I. Einleitung

In den letzten fünf Jahren haben die vor dem zweiten Weltkrieg überlieferten Auffassungen über Ziel und Weg der Arbeit im schleswig-holsteinischen Ebbe- und Flutgebiet tiefgreifende Änderungen erfahren. Der erste Schritt zu einer Neuausrichtung wurde im Jahre 1934 getan, als die schon lange als notwendig erkannte Zusammenfassung (LORENZEN, 1938) der drei wichtigsten Aufgaben Küstenschutz, Landgewinnung und Marschwasserwirtschaft zu einer organischen Einheit erfolgte. Den äußeren Rahmen hierfür bildete der 10-Jahresplan für Küstenschutz und Landgewinnung (LORENZEN, 1938). Dieser Plan stützte sich zunächst allein auf die Erfahrung, daß zwischen den drei großen Arbeitsbereichen im Tidegebiet ein enger natürlicher Zusammenhang besteht, der bei jeder Einzelmaßnahme sorgsamste Beachtung verlangt. Im einzelnen war bis Anfang der dreißiger Jahre über die Zusammenhänge, wie z. B. über die Beziehung zwischen dem Meeresangriff und seiner einerseits zerstörenden, andererseits aufbauenden Wirkung im Wattenmeer sehr wenig bekannt. Außer einer lückenhaften Beobachtung der Gezeitenwasserstände und einer für Zwecke der Schifffahrt wiederholt durchgeführten Peilung der großen Wattströme durch die Deutsche Seewarte bzw. durch die Marine fehlte nahezu alles, was aus dem Wirken der Gezeitenkräfte praktische Folgerungen für großräumige Küstenschutzarbeit hätte ziehen lassen. Ebenso war auch über die Entwicklung des Wattenraums, über Form, Aufbau und Veränderungen des Wattbodens über die Küstenlinie hinaus wenig oder nichts bekannt. Es war also nicht verwunderlich, daß sich über das Wattenmeer und über die Möglichkeiten, dieses einstmals fruchtbare Gebiet zurückzugewinnen, selbst in Fachkreisen die verschiedensten Auffassungen gebildet hatten.

Die Küstenschutzarbeit hatte sich im wesentlichen auf eine dem Stand technischer Bauverfahren entsprechende Erhaltung der Meeresufer beschränkt, ohne daß man ihre dauernde Wirkung übersehen konnte. Auch die Ausnutzung der an einem schmalen Küstensaum des Festlands wirksamen landaufbauenden Tätigkeit der Gezeiten war nach den überlieferten Landgewinnungsmethoden erfolgt, ohne die Frage nach der Ursache und der möglichen Entwicklung dieser aufbauenden Tätigkeit beantworten zu können.

Für eine Planung im Sinne einer weitschauenden und dauernden Sicherung der Küste mit geringsten Mitteln, zu einer erschöpfenden Ausnutzung aller Möglichkeiten zur Neulandgewinnung und schließlich zur Schaffung einer für die Dauer geordneten Wasserwirtschaft in den unter mittelbarem Gezeiteinfluß stehenden Seemarschen bedurfte man einer gründlichen Kenntnis der in Vergangenheit und Gegenwart wirksamen Kräfte und der durch sie gestalteten Formen. Der Wattenmeerforschung, die sich mit der Erarbeitung dieser Grundlagen bis Kriegsbeginn etwa fünf Jahre befaßt hat, fiel damit eine vielseitige und verantwortungsvolle Aufgabe zu. Der Arbeitsplan der beiden Forschungsstellen (Büsum für die Dithmarscher Küste, Husum für Nordfrieslands Küste) wurde für einen Zeitraum von zehn Jahren aufgestellt (LORENZEN, 1938). Diese Wissenslücken über die Zustands- und Entwicklungsformen unserer Küste können naturgemäß nicht von heute auf morgen geschlossen werden. Immerhin lagen zu Beginn des Krieges die ersten Ergebnisse einer fünfjährigen Forschungs-

11. Regierungsaurat MAEDICKE †: Strömungen, Gezeiten.

12. Dr. PLATH †: Biologie, Wattfauna, Sinkstoffe.

13. Oberregierungsaurat SCHELLING †: Verwaltung, Vermessung, Luftbild.

14. Regierungsaurat SCHUBEL: Verwaltung, Vermessung.

15. Dipl.-Ing. STEINMETZ: Vermessung, Strömungen, Gezeiten, Sturmfluten.

16. Dr. habil. WOHLBERG: Biologie und Bodenkunde, Biolog. Wattkartierung, Biolog. Landgewinnung, Sinkstoffe, Sedimentation, Biolog. Deichpflege, Schriftleitung „Westküste“.

³⁾ Vgl. Liste der Arbeitsberichte auf Seite 42 bis 48.

arbeit auf den verschiedensten Gebieten vor (vgl. Anhang S. 42 bis 48), so daß es im Jahre 1940 bereits möglich war, diese neuen Erkenntnisse zum Ausgangspunkt für eine zeitlich und räumlich vorausschauende Planung im Küstenraum zu verwenden. Dabei ging man davon aus, daß das gleichzeitig anlaufende praktische Arbeitsprogramm des 10-Jahresplanes an der Westküste in seinem ersten Abschnitt diejenigen Aufgaben umfassen sollte, welche nicht von dem Ergebnis umfangreicher Forschungsarbeit abhängig waren. Als solche wurden die Eindeichung deichreicher Vorländereien, dringende Uferbefestigungen, laufende Landgewinnungsarbeiten in der bisherigen Form (PFEIFFER, 1938) und einige große wasserwirtschaftliche Maßnahmen in der Marsch begonnen und zum Teil durchgeführt.

Man kann an der Westküste Schleswig-Holsteins zwei natürliche Planungsräume im Wattenmeer unterscheiden:

1. den Raum des nordfriesischen Wattenmeeres, der sich dadurch auszeichnet, daß im letzten Jahrtausend die zerstörende Tätigkeit des Meeres unaufhörlich fortschreitet,
2. den Raum zwischen Eider und Elbe, in dem im gleichen Zeitraum mit Hilfe ständiger Neublagerung aus dem Meer im Wattenbereich die Küstenlinie nach See zu vorgeschoben werden konnte (Dithmarschen).

In diesen beiden Räumen wirken die Gezeitenkräfte — abgesehen von den Brandungs- und Strömungsvorgängen am seeseitigen Hang des Wattenmeeres — im Zerstören wie im Aufbau so weitgehend unabhängig voneinander, daß es gerechtfertigt erschien, jeden der beiden Räume zunächst für sich zu untersuchen.

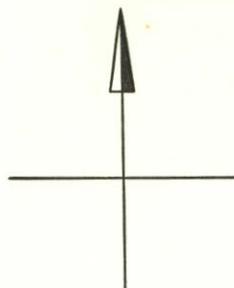
Die Frage, wieweit Seegang, Brandung und Gezeiten sowie die durch sie bewirkte Sandwanderung am seeseitigen Hang die Gezeiten- und die Sinkstoffbewegung in den Wattströmen beeinflussen oder von den Vorgängen im Wattenmeer beeinflußt werden, wird sich für das dithmarscher und das nordfriesische Watt nur durch weiträumige Untersuchungen im größeren Rahmen der Deutschen Bucht beantworten lassen. Da weder die Zeit noch die Mittel ausreichten, mußte diese Frage bei den Untersuchungen vor dem Kriege vorerst außer Betracht bleiben. Ihre Klärung für den gesamten Bereich des Wattenmeeres bleibt jedoch auch dann eine vordringliche Aufgabe der Küstenforschung, wenn es nicht gelingen sollte, die Entwicklung mit technischen Mitteln zu steuern, denn das Schicksal der großen Strommündungen als Vorfluter und Verkehrswege, ebenso wie das der am weitesten nach See zu vorgeschobenen Sände und Sandinseln, hängt von der Entwicklung der hier wirkenden Kräfte und der von ihnen gestalteten Formen ab (FRANZIUS, 1932). Von den beiden genannten Planungsräumen mußte der nordfriesische als der am meisten gefährdete vordringlich behandelt werden.

II. Der Planungsraum Nordfriesland und die Planungsgrundlagen

A. Begrenzung

Nach dem vorstehend Gesagten bleibt in den folgenden Ausführungen das Übergangsbereich vom eigentlichen Wattenmeer zur offenen See, also der Bereich der beweglichen Außensände und der Strommündungen, zunächst außer Betracht. Als ungefähre seeseitige Grenze des hier zu behandelnden Raumes ist die Verbindungslinie Nordwestecke Eiderstedt—Insel Pellworm—Hallig Hooge—Insel Amrum—Insel Sylt gewählt worden, weil es möglich war, innerhalb des von dieser Linie und der Festlandküste begrenzten Bereichs mit den verfügbaren Mitteln wichtige Planungsgrundlagen zu erarbeiten.

DIE DEUTSCHE NORDSEEKÜSTE



ZEICHENERKLÄRUNG:

-  GEEST
-  MARSCH und Düneninseln
-  WATT, bei mittlerem Springniedrigwasser trockenfallend
-  BIS ZUR 6-m-TIEFENLINIE unter mittlerem Springniedrigwasser
-  DÄMME zu den Inseln



Abb. 1

B. Planungsgrundlagen

Die Gestalt der Oberfläche des Wattenmeeres, der Aufbau des Wattgrundes und die Wasserbewegung, die durch Jahrhunderte bis in die Gegenwart die Formen des Wattenmeeres verändert hat, waren als Planungsgrundlagen zu erforschen. Mit der erstmaligen Erfassung dieser drei wichtigsten Planungselemente ist es aber nicht getan. Das Wattenmeer gehört zu den Bereichen der Erdoberfläche, in denen die Erdgeschichte keinen abgeschlossenen Zustand kennt. Täglich, ja stündlich, verändert sich hier unter den Gezeiten und Windkräften das Antlitz der Oberfläche. Will man einen Einblick in den Zusammenhang von Ursache und Wirkung der Gestalt gewinnen, daß eine Aussage über die mutmaßliche oder wahrscheinliche Entwicklung der Kräfte und der von ihnen gestalteten Formen möglich ist, so genügt die einmalige Ermittlung eines nur kurze Zeit vorhandenen Zustands der Erdoberfläche und der sie gestaltenden Kräfte nicht. Die Kräfte haben sich, wie die Wattoberfläche, in der Vergangenheit ständig geändert. Während diese bis in die Gegenwart unbekannt blieben und erstmalig in den letzten Jahren durch Messung erfaßt wurden, hatten wir viele und brauchbare Anhaltspunkte über die Änderung der Formen und des Untergrundes, welche die Gezeiten- und Windkräfte in der Vergangenheit herbeigeführt haben. Die wichtigsten Hinweise liefern geologische Untersuchungen und für die neuere Zeit die Land- und Seekartographie, in einzelnen Fällen auch die erhaltenen Spuren menschlicher Siedlungen. Es gibt also zwei Wege, um zur Deutung der Entwicklung im Wattenmeer zu gelangen:

1. die statistische Erfassung möglichst vieler Stadien der Formen des Aufbaues der Watten, um hieraus Rückschlüsse auf die Kräfte in der Vergangenheit und Gegenwart zu ziehen;
2. die unmittelbare und häufig zu wiederholende Messung der gestaltenden Kräfte selbst.

Der erste Weg der Untersuchung ist für die Deutung der Entwicklung in der Vergangenheit der wichtigere, in vielen Fällen sogar der einzig mögliche.

Der zweite Weg, die unmittelbare Messung der mit der Wasserbewegung ausgelösten Kräfte, gibt einen unmittelbaren Einblick in die gegenwärtigen Wechselbeziehungen zwischen den wirkenden Kräften des Meeres als Ursache und den Bettformen der Gezeitentiefs bzw. der Wattoberfläche als Wirkung.

Beide Wege zusammen geben die Voraussetzung dafür, den Beziehungen von Ursache und Wirkung in der Gegenwart näher zu kommen und eine Deutung für die künftige Entwicklung vorzunehmen.

Über die Untersuchungen und Feststellungen der vorstehenden Art im nordfriesischen Wattenmeer und die dabei angewandten Methoden geben die in der Anlage verzeichneten Berichte der Forschungsstellen Auskunft (Anhang, S. 42 bis 48).

a. Entwicklung des Raumes in den letzten Jahrhunderten

Die Kenntnis der geschichtlichen Entwicklung des Raumes in bezug auf Höhe und Formen der Wattoberfläche und der darin verlaufenden Ströme und Priele ist die unentbehrliche Voraussetzung für jede Planung.

Die vielen Untersuchungen über Landverlust und Landgewinn haben sich selbst in der neueren Zeit ganz überwiegend auf die Veränderung der Küste, d. h. der Uferlinie des Festlands, der Inseln und Halligen beschränkt. Sie führten in manchen Gebieten, wie an der Westküste von Sylt oder auf den Halligen, zu der Feststellung einer fortschreitenden, durch Uferschutzmaßnahmen allerdings teilweise verzögerten Landabnahme. An anderen Stellen, besonders an der Festlandküste, wurde mehr oder weniger erheblicher, natürlicher oder künstlich erzielter Landgewinn verzeichnet. Man stellte daraufhin fest, daß im ganzen genommen in bestimmten Zeiträumen — etwa bis 1634 — eine Abnahme der Landfläche stattgefunden

den hatte, daß von da ab aber auch an vielen Stellen wiederum Land zurückgewonnen wurde. Mit Hilfe zahlreicher Eindeichungen am Festland in den folgenden Jahrhunderten hatte man trotz der Zerstückelung der alten Insel Nordstrand und der Landverluste der übrigen Inseln und Halligen tatsächlich eine zunehmende äußere Stabilität der Küstenlinie des Festlands erreicht, und die Eindeichungen in den letzten beiden Jahrhunderten haben allgemein den Eindruck zunehmender Sicherheit gegen die Angriffe der See entstehen lassen. So blieb denn auch die Erhaltung der Küstenlinie und möglichst ihr Vorrücken nach See zu das Entscheidende jeder Planung. Erst die Arbeiten der Wattenmeerforschung haben den Nachweis dafür erbracht, daß nicht so sehr die Veränderung der Küstenlinie als vielmehr diejenige des davor liegenden Wattgebiets für die Beurteilung der Verteidigungslage des Festlands ausschlaggebend ist.

Die Auswertung der geschichtlichen Land- und Seekarten Nordfrieslands von etwa 1650 bis zu der Wattvermessung durch die Forschungsstellen in den Jahren 1936 bis 1939 läßt eine fortschreitende Abtragung und Aushöhlung des Wattenmeeres erkennen. Eine Massenbilanz für das ganze Wattenmeer liegt noch nicht vor, aber ein Beispiel läßt die Entwicklung deutlich werden.

Für das Gebiet zwischen Eiderstedt und Langeneß gibt der Vergleich von Karten aus dem 17. Jahrhundert mit neueren Seekarten einen Anhalt über den Substanzverlust in dem dazwischenliegenden Zeitraum. Selbst wenn man annimmt, daß die vor dreihundert Jahren von Deichen eingeschlossenen, heute im Watt liegenden Flächen keine erheblichen Höhenverluste erlitten hätten — die Kulturspuren im Watt lassen diese Annahme in gewissem Umfange zu (BANTELMANN, 1939) —, so hat sich beispielsweise allein der Wattenraum der Norderhever (Vermessungsgebiet der Forschungsabteilung Husum 1935—38) seit 1650 derart ausgeweitet, daß nach vorsichtiger Schätzung rund 280 Mio. m³ Boden ausgeräumt sind (vgl. auch DELFF, 1933 u. 1934). Diesem Verlust steht in dem genannten Raum — ebenfalls nach überschläglicher Ermittlung — ein Landgewinn von 75 Mio. m³ in Gestalt neuer Köge am Festland und den Inseln gegenüber. Im ganzen ist hier also schätzungsweise ein absoluter Verlust von über 200 Mio. m³ innerhalb der letzten dreihundert Jahre zu verzeichnen. Die Küstenveränderung der an den hier betrachteten Raum südlich und nördlich angrenzenden Gebiete läßt erkennen, daß diese nicht die Nutznießer des genannten Bodenverlustes gewesen sind. Da sich auch die Mündungstrichter der Hever und der Süderau in dem betrachteten Zeitraum beträchtlich erweitert haben, muß angenommen werden, daß der gesamte ausgeräumte Boden dem Wattenmeer endgültig zur freien See hin verloren gegangen ist, soweit er sich in den Anlandungsgebieten nicht nachweisen läßt. Eine ähnliche Entwicklung zeigen die übrigen Wattstromgebiete Nordfrieslands, wenn auch mangels genauer Vermessungs- und Kartenunterlagen nicht so deutlich wie das Stromgebiet der Norderhever und der Süderau.

Zwischen dieser Feststellung und der Tatsache, daß in den letzten Jahrzehnten mit wachsendem Erfolg Landgewinnungsarbeiten vor der Festlandküste betrieben werden, also tatsächlich eine Landvermehrung stattfindet, scheint auf den ersten Blick ein Widerspruch zu bestehen. Es erschien also sowohl im Interesse der Sicherung der Küste, die durch die Abtragung des Wattsockels gefährdet wird, wie der Planung der Landgewinnung wichtig, der Frage nachzugehen, ob die Aushöhlung des Wattenmeeres heute fort dauert und woher die landaufbauenden Sedimente vor der Küste stammen. Die Wattenforschung hat diese Frage für ganz Nordfriesland noch nicht endgültig beantworten können, aber sie hat durch Untersuchungen im Bereich der Norderhever überzeugende Feststellungen gemacht:

1. Durch unmittelbare Strom- und Sinkstoffmessungen in der Norderhever und der Süderau ist festgestellt, daß keine nennenswerten Schlickmengen von der See in das Wattenmeer gelangen (PETERSEN, 1941)

2. Durch Strommessungen und vergleichende Untersuchungen an den jungen Sedimenten in den Lahnungsfeldern vor dem Festland und den Erosionsbereichen der Hever wurde festgestellt, daß das Erosionsbett der Hever selbst zu den wichtigsten Lieferanten des Auf-landungsbereichs vor dem benachbarten Festland gehört.

So steht dem Gewinn an Boden an der einen ein größerer Verlust an der anderen Stelle des Watts gegenüber, eine Feststellung, die den verantwortlichen Ingenieur mit größter Sorge erfüllen muß. Die bisherige erfolgreiche Landgewinnungsarbeit darf also nicht darüber hinwegtäuschen, daß draußen im Watt die landzerstörende Wirkung der Gezeiten nicht aufgehört hat. Es wäre danach nicht einmal abwegig, eine besonders starke Aufschlickung vor bestimmten Küstenstrecken mit einer besonders lebhaften Abtragswirkung der Gezeiten in dem entsprechenden vorgelagerten Küstenabschnitt des Wattenmeeres in Zusammenhang zu bringen.

Diese Feststellungen machen im Hinblick auf die Folgerungen für den Küstenschutz weitere gleichartige Untersuchungen im Bereich der übrigen großen Wattströme dringend nötig, um auch hier eine Bilanz der Böden und Wattsedimente aufstellen zu können.

Die bis in das 17. Jahrhundert in der Landzerstörung sichtbare und von da ab durch Erosion in Strömen und Prielen verstärkte, unsichtbare Ausweitung des Einzugsbereichs der Wattströme hat die Gezeitenwelle kräftiger werden und näher an das Festland gelangen lassen und hier die Sturmflutwasserstände erhöht. Während sich in dem ersten Stadium der Zerstörung Nordfrieslands — erkennbar etwa von Beginn des zweiten Jahrtausends n. Chr. an — die Einzugsgebiete der Wattströme unabhängig voneinander in Richtung auf die Festlandküste vergrößerten, ist in Verbindung mit der allmählichen Sicherung der Uferlinie des Festlands die Tendenz einer Ausweitung des Strombettes der Wattströme in Küstennähe und eine landnahe Verbindung der großen Ströme untereinander erkennbar. Diese Entwicklung wird offenbar von der am seeseitigen Rand des Wattenmeeres süd-nördlich laufenden Tidewelle begünstigt. Die vom Festland aus zwischen den Wattströmen zungenartig vorspringenden Watrückten drohen von der Festlandbasis abgeschnitten zu werden, soweit nicht die vorhandenen Dämme dies verhindern. Am eindringlichsten zeigt sich diese Entwicklung an Hand der Seekarten seit hundert Jahren wiederum an dem Stromsystem Süder- und Norderhever; der Einzugsbereich der letzteren hat sich weit in den früheren Bereich der Süderau vorgeschoben. Die Messungen und Peilungen in den letzten Jahren zeigen ebenso wie die biologischen und geologischen Untersuchungen, daß diese Entwicklung in der gleichen Richtung weitergeht.

b. W a t t a u f b a u (Geologie und Biologie)

Nächst der Kenntnis der Entwicklung der Formen im Wattenmeer und der sie gestaltenden Kräfte sind der Aufbau des Wattgrundes und seine Entwicklung wichtige Planungsgrundlagen. Die Unkenntnis der Sedimentzusammensetzung des Wattenmeeres bis zum Beginn der Wattenforschung hatte Pläne ausgelöst, deren weitestgehender (DIX, 1927) die Eindeichung des gesamten Wattenraums in einem Zug und seine Überführung in landwirtschaftliche Nutzung zum Ziel hatte. Als dieser Plan im Jahre 1936 erneut auftauchte, gab es neben einer überschläglichen Ermittlung der Kosten für ein solches Vorhaben nur ein überzeugendes Mittel, ihn sachlich auf seine Durchführbarkeit zu prüfen, nämlich die geologisch-biologisch-bodenkundliche Untersuchung des gesamten bei Niedrigwasser trockenfallenden Wattenraums. Sie erfolgte im Jahre 1937, ihr Ergebnis ist im Kriegsheft 1943 der „Westküste“ veröffentlicht und hat die Grenzen der Nutzbarmachung des Wattenmeeres klar aufgezeigt (OSTENDORFF, PLATH, IWERSEN, HERRMANN, sämtlich 1943). Das praktische Ergebnis der umfangreichen Wattkartierung war, daß eine Eindeichung des gesamten 1000 km² großen Wattenraums nicht in Betracht gezogen werden kann, weil nur etwa 30 % aus Sedimenten bestehen, die für eine landwirtschaftliche Nutzung geeignet sein werden.

Über die Wattkartierung hinaus wurde an zahlreichen Stellen der tiefere Untergrund des Wattenmeeres erstmalig durch Bohrungen so weitgehend erkundet, daß das Bild der erdgeschichtlichen Entwicklung bis Kriegsbeginn weitgehend klargestellt werden konnte (ERNST, 1936; DITTMER, 1938). In Verbindung mit der morphologischen, durch geschichtliche Karten und durch direkte Vermessung (Luftbild, Wattvermessung und Peilung der Wattströme) unterbauten Untersuchung und eingehende siedlungsgeschichtliche Forschung (BANTELMANN, 1939) ist nunmehr der Wattaufbau und die Entwicklung des Wattenmeeres bekannt und steht der Planung als wichtiges Rüstzeug zur Verfügung.

Die Frage nach Herkunft und Menge der im Wattenmeer von den Gezeitenströmungen bewegten Sinkstoffe gehört zu den bedeutungsvollen Fragen, die der Wattenforschung von Anfang an gestellt wurden. Es sei darauf hingewiesen, daß die Erforschung der Sinkstoffe, die heute entlang der deutschen Nordseeküste und in den Flußmündungen von verschiedenen Dienststellen betrieben wird, durch die neu gegründete Forschungsstelle Westküste im Jahre 1935 überhaupt erst ins Leben gerufen und methodisch und praktisch durchgeführt wurde (WOHLENBERG, siehe Anhang S. 44, 1950). Im Rahmen der Kartierung der Wattarten wurden die Lebensgemeinschaften des Wattenmeeres als Kriterium der Sedimente benutzt (WOHLENBERG, 1937). Die biologische Bestandsaufnahme der Makrofauna (PLATH, KÖNIG, 1943) wurde durch Diatomeen-Untersuchungen (BROCKMANN, 1937—43) vertieft. Auch die an sich bewährte Praxis der Landgewinnung, die bis dahin nur mit technischen Methoden arbeitete, erhielt durch die biologische Forschung neue Impulse (WOHLENBERG, 1938).

So nehmen die beiden wissenschaftlichen Arbeitsrichtungen der Biologie und der Geologie sowohl in der Grundlagenforschung als besonders auch in der praktischen Anwendung im Bereich der Westküstenprobleme einen breiten Raum ein (weitere Ergebnisse siehe im Anhang der dienstlichen Arbeitsberichte auf S. 42 bis 48).

c. Messung der Gezeitenkräfte

Die Untersuchung der Gezeitenkräfte selbst durch direkte Messung (Pegel- und Strommessungen) stellt schon rein technisch eine besonders schwierige Arbeit dar. Zwar vollziehen sich wahrscheinlich die stärksten Veränderungen der Wattformen durch die Strömungs- und Seegangswirkungen bei Sturm und können daher nicht in jedem Fall unmittelbar gemessen werden. Aber auch die Messung der normalen Bewegungsvorgänge erfordert großen Zeit-, Arbeits- und Geldaufwand. Es war daher verständlicherweise noch nicht möglich, für das ganze nordfriesische Wattenmeer bis Kriegsbeginn ein Kräftebild zu gewinnen, das für die Planung ausreichende Grundlagen zu bieten vermag, aber für den Raum Süderau—Norderhever konnte die Gezeitenbewegung und die Abhängigkeit beider Stromsysteme durch Messung festgehalten und soweit geklärt werden, daß sich darauf Modellversuche über bestimmte großräumige Planungen stützen konnten (PETERSEN, 1941).

Nachdem mit Hilfe der genannten Untersuchungen, an denen sich auch wissenschaftliche Institute beteiligten, der Planungsraum und in Teilgebieten die ihn fortdauernd umgestaltenden Kräfte nach Art und Richtung in großen Zügen erstmalig erkannt waren, zeichneten sich Maßnahmen ab, die für eine Planung zur Sicherung des Wattenmeeres und damit der Küste geeignet sein konnten.

GENERALPLAN NORDFRIESLAND

Dammbauten und Wattenindeichungen (STAND 1941)

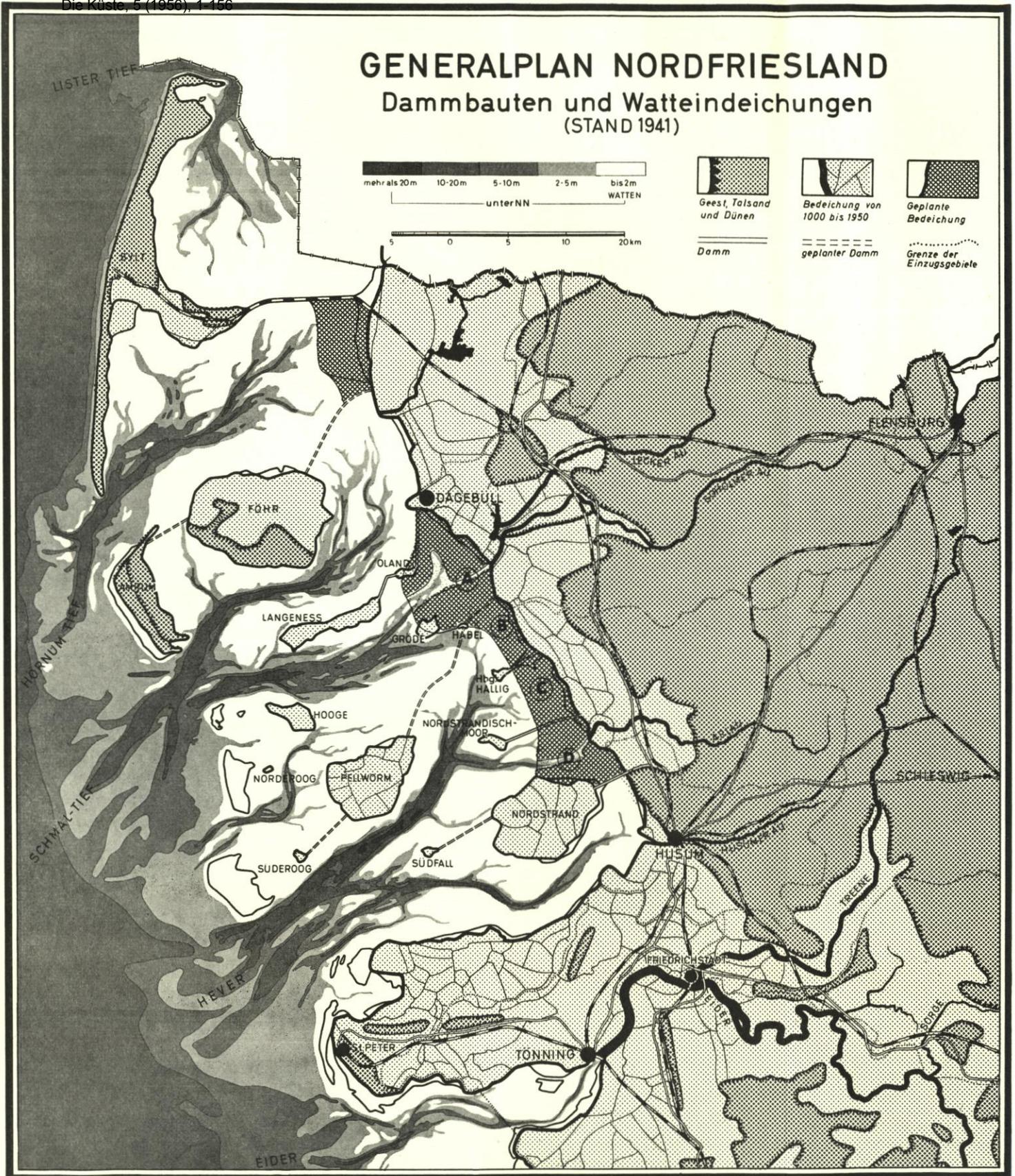


Abb. 2

III. Sicherung des Raumes vor der Küste

a. Begrenzung der Stromgebiete

Als erstes wirksames Mittel, die fortdauernde Ausweitung der Wattströme in Küstennähe und damit den verstärkten Angriff des Meeres auf die Küste selbst zu verhindern, haben die Entwicklung und die praktische Erfahrung, ebenso wie die Arbeit der Forschung ergeben, daß eine feste Begrenzung der Einzugsgebiete der großen westöstlich oder südwestlich-nordöstlich ins Watt vordringenden Stromläufe erforderlich ist. Ziel der Begrenzung der Einzugsgebiete ist im Prinzip, eine Umkehr der bisherigen Entwicklung einzuleiten, d. h. die in der Vergangenheit vereinigten Stromeinzugsgebiete wieder aufzuspalten und durch weitere Maßnahmen nach und nach wieder einzuengen, um die angreifende und zerstörende Wirkung der Gezeiten in den großen Wattströmen zu mildern.

Der Bau von Dämmen zur Begrenzung der Wattstrom-Einzugsgebiete ist mit dem sturmflutfreien Damm vom Festland nach Sylt und dem ebenfalls sturmflutfreien Straßendamm von Wobbenbüll nach Nordstrand sowie auch durch den Bau der das MThw nur wenig überragenden Dämme Dagebüll—Oland—Langeneß und Cäcilienkoog—Nordstrandischmoor zur Ausführung gelangt. Freilich lagen diesen Baumaßnahmen, die zum Teil aus Verkehrsrücksichten gebaut wurden, noch nicht die Erkenntnisse über die „Wattausräumung“, sondern nur die Erfahrungen über die Landgewinnung zugrunde. Als wesentlichste Aufgaben bleiben nunmehr die Begrenzung des Einzugsgebiets des Hörnum Tiefs gegen das der Norderau und ebenso des Süderau-Raumes gegen den Bereich der Norderhever in Form von Dämmen nach Föhr—Amrum und nach Pellworm (vgl. Abb. 2).

Die Begrenzung der Einzelstromgebiete durch Dammbauten wird aber nur dann die erhoffte Dauerwirkung haben, wenn sich in den neu abgegrenzten Räumen im Laufe der Zeit mindestens ein Gleichgewichtszustand zwischen den Gezeitenkräften und den von ihnen beherrschten Strom- und Wattgebieten, oder besser noch, eine Umkehrung des bisherigen Kräfteverhältnisses einstellt. Man darf nicht damit rechnen, daß der Übergang von der bisherigen zerstörenden Entwicklung in den Einzelstromgebieten in einen Gleichgewichtszustand bereits mit dem Zeitpunkt abgeschlossen sein wird, mit dem die Begrenzung der Stromgebiete durch Errichtung von Dämmen erreicht ist. Daher sind zugleich vorsorgliche Maßnahmen zu erwägen, um nachhaltigen Schäden im Wattenmeer und an den Küstenschutzbauten im Entstehen vorzubeugen. Vor allem hat die Planung darauf zu achten, daß die Verbindungsdämme als neue Begrenzungslinien der Stromgebiete den Gezeitenkräften keine nennenswerten Angriffspunkte bieten.

b. Einengung der Stromgebiete (Wattbedeichung)

Mit der Begrenzung der Stromgebiete durch Dammbauten ist ein erster wichtiger Schritt zur Vernichtung angreifender und zerstörender Kräfte getan. Es besteht aber innerhalb der fest begrenzten Stromgebiete noch die Gefahr, daß sich die gebremste Kraft der Tidewelle neue Wege suchen oder infolge Erhöhung der Ebbstromgeschwindigkeit in einem durch Dammbauten abgeschnittenen Stromlauf Vertiefungen im Strombett herbeiführen wird. Ein wirksames Mittel, derartige nachteilige Wirkungen zu verhindern, das Vordringen der Wattströme zum „Verlanden“ zu bringen, stellt die Einengung der Stromeinzugsgebiete durch Eindeichung von Wattgebieten im Oberlauf der Ströme dar.

Wird über die Begrenzung der Stromgebiete hinaus das Einzugsgebiet des einzelnen Stromes nach und nach verkleinert, so müssen sich folgerichtig die Stromkräfte verringern, die im Flutstrom noch mitgeführten Stoffe werden vielleicht mehr als bisher in Küstennähe

zur Ablagerung kommen; der Oberlauf der Ströme verlandet und bewirkt dadurch wiederum eine Schwächung der verbleibenden Stromkräfte.

Über das Verfahren, Dämme im Wattenmeer zu bauen, liegen Erfahrungen vor, so daß hierauf nicht näher einzugehen ist; dagegen ist das Verfahren, Wattflächen im größeren Umfang einzudeichen, wie es beispielsweise seit Jahrhunderten in den Niederlanden geschieht, in Deutschland noch nicht zur Ausführung gelangt, wenn man von der gelegentlichen Einbeziehung einzelner Wattflächen in die Eindeichung grüner Vorländereien absieht. Bei der Eindeichung sogenannter „nicht deichreifer“ Wattflächen hat man im allgemeinen in der Vergangenheit bei uns landwirtschaftlich keine guten Erfahrungen gemacht. Außerdem sah man hierzu aus Gründen des Küstenschutzes keine dringende Veranlassung, zumal die Kosten sehr hoch veranschlagt werden mußten. Man würde solche Pläne auch heute trotz ihrer Bedeutung für den Schutz der Küste schwerlich verfolgen, wenn damit nicht gleichzeitig andere erhebliche Vorteile verbunden wären. Es erscheint deshalb notwendig, das Problem der Wattbedeichung eingehend zu betrachten.

Die Forschung hat in den letzten Jahren vor dem Kriege sehr eingehende Untersuchungen über diese Fragen angestellt. Die über vier Jahre laufenden Untersuchungen und praktischen Versuche von IWERSEN (1943) auf der 120 ha großen Wattfläche im Finkhaushalligkoog⁴⁾ sowie die bodenkundliche Kartierung des gesamten nordfriesischen Wattengebiets haben erwiesen, daß der nordfriesischen Festlandküste Wattflächen in einer Gesamtgröße von 15 000 ha vorgelagert sind, die teils sofort, teils im Zuge systematischer Landgewinnungsarbeit nach ihrer Eindeichung vollwertigen, landwirtschaftlich nutzbaren Boden abgeben werden. Nach den Untersuchungen von IWERSEN (1953) bietet eine Schlickschicht von 25 bis 30 cm (ausgetrocknet) auf sandigem Untergrund optimale Voraussetzungen für eine landwirtschaftliche Nutzung. Die Wattflächen, welche diese Voraussetzungen erfüllen oder bei planvoller Steuerung des Landgewinnungsvorgangs in absehbarer Zeit erfüllen werden, sind auf der Bodenkarte (Abb. 3) dargestellt. Bei der Beurteilung der Frage, welche Flächen aus landwirtschaftlichen Gründen für die Eindeichung in Frage kommen, hat IWERSEN (1943) folgende Gruppen von Wattböden unterschieden:

1. Flächen, die wegen ihrer fetten Struktur eine weitere Überschlickung im Interesse der vollen und vielseitigen landwirtschaftlichen Nutzung nicht mehr vertragen, müssen schnellstens der weiteren Überschlickung entzogen werden. Meist liegen diese Flächen der Küste am nächsten.
2. Den Flächen der Gruppe 1 sind allgemein nach See zu Wattgebiete vorgelagert, die zwar eine höhere Überschlickung vertragen, aber bereits heute eine für sichere Ackernutzung ausreichende Schlickdecke besitzen.
3. Am weitesten nach See zu schließen sich überwiegend die heute noch als geringwertig anzusprechenden sandigen Watten an, die zur Erreichung einer vollen Ertragssicherheit unbedingt eine weitere Aufschlickung brauchen; solche Flächen finden sich auch gelegentlich innerhalb der Flächen zu 1 und 2.

Allein vom Boden her gesehen sieht IWERSEN eine Notwendigkeit für eine Bedeichung nur für die tonigen küstennahen Wattgebiete vor. Betriebswirtschaftlich sind diese Flächen für sich allein jedoch mehr einseitig, nämlich als Grünland, zu nutzen und geben daher dem Bauern keine gesicherte Lebens- und Wirtschaftsgrundlage. Vom Standpunkt eines vielseitig gesicherten Betriebes empfiehlt es sich dringend, die Flächen mit sicherem Ackerboden (Gruppe 2) in die Bedeichung einzubeziehen. Es ist aber darüber hinaus noch nützlich, wie

⁴⁾ Vgl. „Die Küste“, Heft 1/1953.

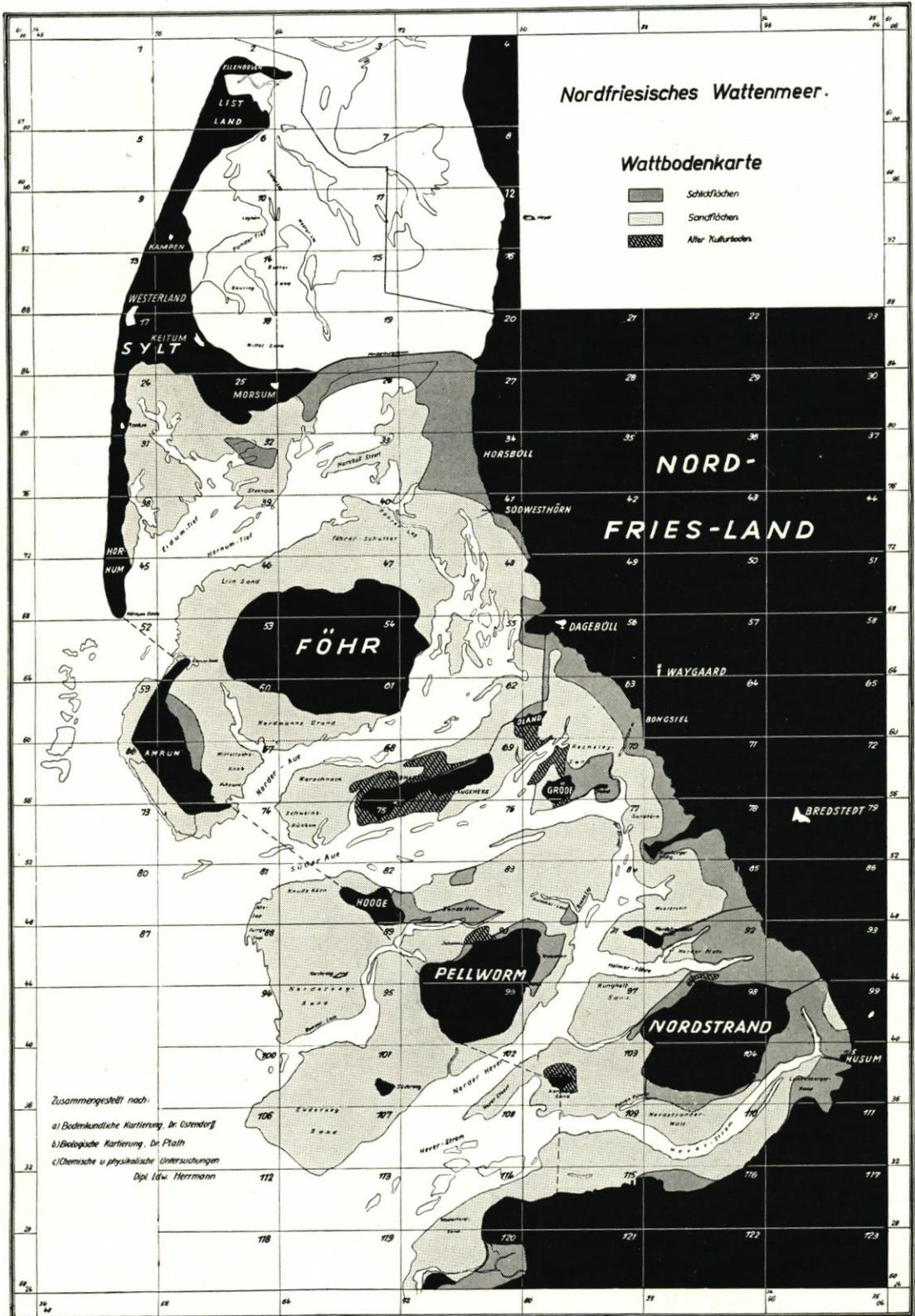


Abb. 3

Aus „Westküste“, Kriegsheft 1943

man es in den Niederlanden im großen Umfange macht, in einem bestimmten Verhältnis der Gruppen 1 und 2 noch etwas leichten, d. h. sandigeren Boden (Gruppe 3) hinzuzuziehen, um dadurch die Betriebe in ihrer jahreszeitlichen Arbeitsverteilung stetiger und ausgeglichener zu gestalten. Soll also mit der Wattbedeichung ein voller landwirtschaftlicher Erfolg erreicht werden, so müssen unbedingt die Wattflächen der Gruppen 1 und 2 in einem bestimmten Größenverhältnis zueinander durch die Eindeichung erfaßt werden. Für eine Wattbedeichung kommt also aus landwirtschaftlich-technischen Gründen mindestens die Grenze zwischen den Wattgebieten der Gruppe 2 und 3 als Deichlinie in Frage. Die Entscheidung darüber, welchen Anteil der Flächen der Gruppe 3 man zweckmäßig hinzunimmt und inwieweit man überhaupt die Deichlinie weiter nach See zu verlegt, hängt davon ab, ob dafür noch andere Gründe als Küstenschutz und Entwässerung sprechen.

Voraussetzung für die Nutzbarmachung eingedeichter Wattgebiete ist die Regelung der Wasserwirtschaft in ihnen. Die tiefe Lage des überwiegenden Teils ihrer Oberfläche zum Meeresspiegel macht ihre künstliche Entwässerung notwendig; diese ist jedoch auch schon heute für einen großen Teil der nordfriesischen, wie überhaupt der Marsch, notwendig und zum Teil durchgeführt.

Einen weiteren wichtigen Zweck erreicht man mit der Wattbedeichung für die Wasserwirtschaft der alten Marschen. Neben den starken Angriffen von See her und den ständigen Aufwendungen für den Küstenschutz ist die tiefe Lage zum Meeresspiegel die eigentliche Ursache für die Jahrhunderte alten wirtschaftlichen Nöte der nordfriesischen Marschen. Die Wasserscheide der Provinz Schleswig-Holstein zwischen Ost- und Nordsee liegt nahe der Ostseeküste und reicht fast bis Flensburg und Schleswig heran. Alle Niederschläge westlich der Wasserscheide müssen in die Marschen und von hier aus bei Ebbe durch die Deichsiele in die Nordsee abfließen. Starke Niederschläge und häufig damit zusammenfallende hohe Nordseewasserstände bewirken, daß der Zufluß von der Geest nicht ins Meer abgeführt werden kann und infolge des Fehlens von Ausgleichbecken aus den Wasserläufen in die Marsch eintritt. Die nordfriesische Marsch selbst bildet dann das Wassersammelbecken für die Niederschläge fast des ganzen nördlichen Teils der Provinz. Es ist mehrfach erwogen worden, das Wasser der Geest durch besondere Kanäle getrennt von den Niederschlägen der Marsch unschädlich abzuführen; dieser Weg hat sich abgesehen von den hohen Kosten deshalb als außerordentlich schwer durchführbar erwiesen, weil der Bau von Kanaldeichen durch die teilweise moorigen Geestgrenzgebiete mit großen technischen Schwierigkeiten verbunden ist und zugleich durch die Zerschneidung zahlreicher landwirtschaftlicher Betriebe ernste betriebswirtschaftliche Störungen verursachen würde. Aber auch aus allgemein wasserwirtschaftlichen Erwägungen wäre diese Lösung nicht zu empfehlen. Die schnelle und gefahrlose Abführung von Hochwasser ins Meer beseitigt nur einen wasserwirtschaftlichen Übelstand: die Hochwasserschäden. In trockenen Zeiten aber, unter denen die schweren Marschböden besonders zu leiden haben, fehlt vielfach jede Wasserversorgungsmöglichkeit; man muß deshalb nach Wegen suchen, das in Zeiten des Wasserüberflusses dem Meer nutzlos zufließende Süßwasser für Zeiten der Trockenheit soweit wie möglich nach dem Grundsatz nutzbar zu machen: Kein Tropfen Wasser darf ungenutzt dem Meere zufließen.

Die Abführung der Hochwasserspitzen aus der Marsch ins Meer geschieht schon heute dort, wo die natürliche Vorflut nicht ausreichend herzustellen ist, künstlich durch Schöpfwerke. Jede künstliche Entwässerung in das Meer hinein hat den Nachteil hoher Unterhaltungs- und Betriebskosten und sollte, solange irgend möglich, vermieden werden. Das kann in wirksamer Weise nur durch Einschaltung großer Ausgleichbecken geschehen, die das Ansteigen des Binnenwasserspiegels in der Marsch so verlangsamen, daß eine vorzeitige Abführung ins Meer überflüssig wird. Solche Ausgleichbecken haben aber noch den weiteren Vorteil, daß in ihnen eine

bestimmte Süßwassermenge gehalten und in Trockenzeiten zur Bewässerung des Bodens und Versorgung des Viehs zur Verfügung gestellt werden kann. Eine Wasserversorgung in Trockenzeiten als unentbehrliche Ergänzung zu einer durchgreifenden Entwässerung würde die schwersten wasserwirtschaftlichen Mißstände in den alten nordfriesischen Marschen beseitigen können. In den Niederlanden verfügen viele große Wasserwirtschaftsgebiete über solche Ausgleich- und Speicherbecken; das klassische Beispiel hierfür ist das IJsselmeer, ein etwa 150 000 ha großes Wasserbecken, das innerhalb der Abdämmung der 360 000 ha großen Zuiderzee als Hochwasserspeicher und für die Wasserversorgung großer Marschgebiete Nordhollands bewußt mit geschaffen worden ist⁵⁾.

In der nordfriesischen Marsch fehlen natürliche Seengebiete (früher war z. B. der Gotteskoog-See ein natürliches Ausgleichbecken). Es ist deshalb, und weil künstliche Staudämme in den Geesttälern hohe Kosten und Bodenverluste verursachen würden, bereits für die größte wasserwirtschaftliche Aufgabe in Nordfriesland, die Ent- und Bewässerung des Bongsieler Gebietes, erwogen worden, geeignete Ausgleichbecken im Watt zu schaffen. Eine sehr günstige Möglichkeit würde sich hierzu in Verbindung mit der aus Gründen des Küstenschutzes nützlichen Eindeichung von Wattgebieten anbieten. Die tiefstliegenden und damit ohnehin landwirtschaftlich geringwertigen Flächen der für eine Wattbedeichung in Frage kommenden Wattgebiete ließen sich besonders gut als aufnahmefähige Ausgleich- und Speicherbecken ausbilden. Diese wären dann für die alten Marschen wie für die Ent- und Bewässerung der neubedeichten landwirtschaftlich nutzbaren Wattgebiete die gegebenen Wasseraufnahmegebiete. Der Nutzen solcher Flächen läßt sich in Geld nicht unmittelbar ausdrücken; aber schon die Überlegung, daß es im Binnenland zur Bereitstellung von ausreichenden Speicherflächen keinen anderen Weg als die Inanspruchnahme landwirtschaftlicher Nutzflächen gibt, zeigt den Wert einer für Ausgleich- und Speicherezwecke im Watt gewonnenen Fläche. Sie ist volkswirtschaftlich betrachtet mindestens demjenigen einer gleich großen Marschbodenfläche gleichzusetzen.

Obwohl die Watteindeichung in den Grenzen der vorstehenden Ausführungen im Sinne eines übergeordneten Küstenschutzes, der Neulandgewinnung und der Wasserwirtschaft in der alten Marsch eine wichtige Maßnahme darstellt, ist ihre Durchführung nicht einfach und verursacht hohe Kosten.

Wenn ein neuer Deich auf grünem Vorland errichtet wird, belästigt man an der Seeseite möglichst einen grünen Vorlandstreifen als Schutz für den Deichkörper. Darüber hinaus mildert auch das anschließende, meist höher gelegene Watt die Ausbildung einer starken Brandung. Dadurch wird es möglich, die flachgeneigte Außenböschung des Deichs mit dem billigsten Schutz, einer grünen Rasendecke, zu versehen. Der Bau von Deichen im Watt bedingt dagegen infolge der tiefen Lage des Geländes nicht nur einen erheblich größeren Querschnitt, sondern auch eine andere Bauart, als sie bei Seedeichen alter Art üblich ist. Der äußere Deichfuß liegt bei Tidehochwasser überwiegend oder ständig im unmittelbaren Gezeitenbereich und muß so ausgebildet werden, daß er dem Wellenschlag zu widerstehen vermag. Damit wachsen nicht nur die Baukosten, sondern es ist auch damit zu rechnen, daß in den ersten Jahren die Unterhaltung eines Wattdeichs, vor allem die Sicherung des tiefliegenden Deichfußes, erhebliche Aufwendungen verlangt. Im allgemeinen wird die Abwehrkraft der Festlandküste durch den Bau von Wattdeichen auf weite Sicht gesehen stärker, besonders dann, wenn ein Wattdeich eine Bucht abriegelt und damit eine größere vorhandene Seedeichstrecke völlig entlastet.

Der Aufwand hoher Baukosten für einen Wattdeich rechtfertigt sich be-

⁵⁾ Die im Deltaplan der Niederlande vorgesehene Abdämmung der großen Seegaten in Zeeland bezweckt ebenfalls die Schaffung großer Süßwasserbecken für die Trink- und Brauchwasserversorgung der tiefliegenden Marschen.

sonders dort, wo in absehbarer Zeit nicht mehr mit wirksamen Anlandungen vor dem neuen Deich gerechnet werden kann. Je weiter nämlich die Deichlinie des Festlands nach See zu vorverlegt wird, desto geringer wird die Aufarbeitung des dem Wattenmeer selbst entstammenden landbildenden Sediments; der Anwachs als natürlicher Schutz der Deiche läßt nach. Die Wattbedeckung überspringt gewissermaßen eine längere Entwicklung von Landgewinnung und Deichbauten; sie schafft mit einem Schlag eine Küstenlinie, vor der in Verbindung mit den Dämmen zu den Inseln und Halligen eine Stabilisierung des Wattenraums — jedoch ohne große Aussicht auf breiten natürlichen Anwachs — zu erwarten ist. Der Wattdeich kann also die stufenweise Ausführung von Deichlinien (in Zeitabständen von 30 bis 50 Jahren) ersetzen, wie sie in der Vergangenheit, dem Anwachs folgend, hergestellt worden sind, und kann eine Verteidigungsstellung auf lange Sicht bilden. Im Vergleich zu den Bau- und Unterhaltungskosten für das abschnittsweise Vorrücken der Küstenlinie über mehrere jeweils neu zu bauende Deiche wie bisher sind die Kosten für den Bau eines Wattdeichs wahrscheinlich vertretbar. Es ist durch wiederholte Sturmflutschäden an den Deichen des Festlands bekannt, daß die gegenwärtige Verteidigungslage verbesserungsbedürftig ist. Ein erheblicher Teil der jetzigen nordfriesischen Seedeiche ist Jahrhunderte alt und entspricht nach Lage, Höhe und Profil schon heute nicht mehr den Bedürfnissen einer sicheren Abwehrstellung. Sie müssen deshalb teils sehr bald, teils in absehbarer Zeit verstärkt werden⁶⁾. Derartige Maßnahmen erfordern erhebliche Kosten, ganz abgesehen davon, daß kaum noch nennenswerte Mengen an Rasensoden zum Schutz der Außenböschung verfügbar sind. Man steht bereits vor der Frage, ob es nicht zweckmäßiger ist, den jetzigen sowie auch den neuen Seedeichen zugleich mit der Erhöhung und Verstärkung des Profils anstatt der Rasensoden einen widerstandsfähigen Schutz der Außenböschung, z. B. durch eine Stein- oder Betondecke, zu geben. Derartige mit sehr hohen Kosten verbundene Maßnahmen könnten teils ganz fortfallen, teils wesentlich billiger durchgeführt werden, wenn die betreffenden Deichstrecken durch die Eindeichung von Wattgebieten in die zweite Verteidigungslinie rücken würden. Diese Frage gewinnt eine ernste Bedeutung angesichts der in den letzten Jahrzehnten ständig steigenden Sturmflutwasserstände. Die Sturmflut vom 24. November 1938 hat mit Ausnahme von Husum in ganz Nordfriesland eine Höhe erreicht, die alle seit sechzig Jahren verzeichneten Sturmflutwasserstände übertraf. Es darf nach dieser Feststellung keinen Zweifel darüber geben, daß wirtschaftliche Erwägungen über die Kosten von Sicherungsmaßnahmen an der Küste zurücktreten müssen, wenn es gilt, eine ernste Gefahr für den Bestand der Festlandküste für die Zukunft durch weitschauende und vorbeugende Maßnahmen abzuwehren.

Die Eindeichung von Wattflächen ist also begründet:

1. vom Blickpunkt der Küstensicherung durch die Errichtung einer neuen, auf lange Sicht endgültigen und sicheren Verteidigungsstellung, welche die sonst notwendige Verstärkung der bestehenden Deiche entbehrlich macht,
2. von der wasserwirtschaftlichen Seite durch die Möglichkeit, lebenswichtige Ausgleich- und Speicherbecken für die Ent- und Bewässerung der alten Marsch und der Neubedeichten Wattgebiete zu schaffen,
3. vom Boden her durch die Notwendigkeit, ausreichend stark überschlickte Wattgebiete einer weiteren Auflandung zu entziehen und damit eine Vergeudung von Sinkstoffen zu vermeiden,

⁶⁾ Inzwischen sind die Pläne einer Deicherhöhung, die bereits vor dem Kriege aufgestellt worden sind, unter dem Eindruck der Sturmflutkatastrophe in den Niederlanden am 1./2. Februar 1953 in der Ausführung begriffen. Obige Ausführungen wurden 1941 niedergelegt.

4. vom landwirtschaftlichen Betrieb her durch das Bestreben, vielseitige Bodennutzung (mit schweren und leichten Böden) zu erzielen und damit lebensfähige Betriebe zu errichten.

c. Landgewinnung als Küstenschutz

Landläufig bezeichnet man die Landgewinnung als den besten Küstenschutz. Nach den oben gemachten Ausführungen über den Zusammenhang zwischen der Aushöhlung des Wattenmeeres und der Auflandung in Küstennähe ist diese Auffassung im nordfriesischen Wattenmeer nur bedingt richtig. Zweifellos bedeutet Auflandung und grünes Vorland den besten Deichschutz. Ist aber, wie wir festgestellt haben, eine nennenswerte Zufuhr von landaufbauenden Sinkstoffen von der offenen See her nicht vorhanden, steht vielmehr dem Stoffzuwachs vor den Deichen ein weit größerer Verlust des gleichen Stoffes im großen Wattenraum und damit die allmähliche Zerstörung des Küstenvorfelds gegenüber, so ist die Gesamtsicherheit der Küste auch im Zeichen der Landgewinnung gefährdet. In diesem Sinne ist die Arbeit der Landgewinnung zwar richtig und nützlich, sie stellt aber im größeren Rahmen der Küstensicherung keine entscheidende Maßnahme dar. Im Laufe der Zeit wird sie sogar an Bedeutung verlieren, wenn es gelingt, durch die vorerwähnten Sicherungsmaßnahmen die Ausräumung der Wattströme und die dadurch bewirkte Sinkstoffbewegung einzuschränken.

Mit diesen Ausführungen scheint die Tatsache in Widerspruch zu stehen, daß nach der Fertigstellung bereits vorhandener Dämme, besonders des Hindenburgdammes, eine verstärkte Anlandung an den Dämmen vor sich gegangen ist. Da bedauerlicherweise nach Beendigung der Dammbauten die Entwicklung der Gezeitenkräfte und der Wattformen nicht verfolgt worden ist, sind wir vorerst auf theoretische Überlegungen und Vermutungen angewiesen, die man aber im Interesse des Küstenschutzes sobald als möglich durch direkte Untersuchungen überprüfen sollte.

Die Abgrenzung der Stromgebiete Lister Tief und Hörnum Tief durch den Hindenburgdamm hat beim Hörnum Tief, besonders in Festlandnähe, einen Teil seines natürlichen Einzugsgebiets abgeschnitten. Vor Erbauung des Dammes ging der Flutstrom mehr als zwei Stunden über Hochwasserzeit hinaus über die Dammlinie nach Norden (PFEIFFER, 1920). Ein Teil der über die Dammlinie nach Norden geführten Wassermenge wurde bei Ebbe nicht durch das Hörnum Tief, sondern durch das Lister Tief abgeführt. Diese Wassermenge mußte nach Schließung des Dammes wieder zum Hörnum Tief zurückfließen. Die Wirkung dieses Eingriffs auf die Wattströme und die in ihnen wirksamen Kräfte läßt sich leider mangels Vermessungen nach dem Dammbau nicht mehr in allen Phasen verfolgen, jedoch muß es möglich sein, auf dem Wege der Untersuchung die Entwicklung zu rekonstruieren. Diese Untersuchung ist äußerst dringlich, da anzunehmen ist, daß sich die Flutstromdauer verringert und die Ebbstromdauer vergrößert hat und hierdurch eine verstärkte Aufarbeitung der Sedimente in den Ausläufern des Hörnum Tiefs eingetreten ist, von der das deichnahe Watt Nutzen gezogen hat. Die Landgewinnung am Hindenburgdamm würde demnach ähnlich wie im Raum Norderhever von einer Ausräumung, also Zerstörung in den Wattströmen, Nutzen ziehen.

Trotz ihrer sekundären Rolle im großräumigen Sicherungssystem des nordfriesischen Wattenmeeres wird die klassische Form der Landgewinnungsarbeit ein wichtiges Hilfsmittel des Küstenschutzes bleiben, solange eine nennenswerte Sinkstoffbewegung am Wattsaum künstliche Maßnahmen zur Landgewinnung mit Erfolg gestattet. Das gilt ebenso vor neuen Deichen in denjenigen Küstenabschnitten, in denen eine Bedeichung größerer Wattgebiete erfolgt, als auch in den Bereichen vor alten oder neuen Deichen auf grünem Vorland.

Hierbei sei eine Bemerkung zum Thema „zweckmäßige“, d. h. landwirtschaftlich-betriebswirtschaftlich richtige Schlickmächtigkeit gestattet. Es wurde ausgeführt, daß der überwiegende Teil der vor den Deichen natürlich und künstlich abgelagerten Sinkstoffe dem Zerstörungsvorgang in den Wattströmen entstammt. Daraus ergibt sich die Verpflichtung, mit dem „Stoff“ äußerst sparsam umzugehen (IWERSEN, WOHLBERG, 1936). In vielen Wattgebieten Nordfrieslands mit besonders toniger Struktur der Sedimente ist schon heute erkennbar, daß auch aus landwirtschaftlich-betriebswirtschaftlichem Grunde eine größere Mächtigkeit als 50 cm, besonders an toniger Substanz, nicht aufgelandet werden sollte, weil sonst die vielseitige Nutzbarkeit des Bodens für die Zukunft zum mindesten unnötig erschwert wird. Man sollte also versuchen, die Aufschlickung zu „steuern“. In den meisten Fällen stellt eine solche Steuerung der Auflandung im Endziel eine wichtige und wertvolle Vorarbeit für eine Wattbedeichung dar.

IV. Die einzelnen Planungsräume (Abb. 2)

Die vorstehenden allgemeinen Überlegungen bilden die Grundlage für die im folgenden darzulegenden Gedanken zur Planung im inneren Raum des nordfriesischen Wattenmeeres.

Es empfiehlt sich, die einzelnen Planungsräume nach den Grenzen der Wattstrom-Einflußgebiete einzuteilen, weil die großen Stromrinnen nach Größe und Richtung den gestaltenden Gezeitenkräften im inneren Wattgebiet den Weg weisen und so für Zerstörung und Anlandung im Watt und an den Küsten mitbestimmend sind. Da nicht alle Einflußgebiete der einzelnen Wattströme in sich abgeschlossen sind, sondern gelegentlich mehrere Stromgebiete untereinander in Verbindung stehen und sich in der Wirkung der Gezeiten gegenseitig beeinflussen, werden Wattgebiete mit wechselseitiger Beziehung der Gezeiten jeweils zu einem Planungsraum zusammengefaßt. Danach ergeben sich, abgesehen von dem Wattgebiet nördlich des Hindenburgdammes, dem Einzugsgebiet des Lister Tiefs, das nur zum Teil im deutschen Hoheitsgebiet liegt, von Norden nach Süden zwischen dem Hindenburgdamm und Eiderstedt folgende Planungsgebiete:

1. Der Raum, der im Norden vom Hindenburgdamm, im Süden von der Linie Dagebüll—Oland—Langeneß eingefaßt wird und die Einzugsgebiete des Vortrapp-Tiefs (Hörnum Tief) und der Norderau einschließt.
2. Der Raum von der Linie Dagebüll—Oland—Langeneß bis zur Linie Wobbenbüll—Nordstrand—Südfall mit den Stromgebieten der Süderau und der Norderhever.
3. Das Einzugsgebiet der Süderhever von der Südgrenze des Raumes 2 bis nach Eiderstedt.

Innerhalb dieser Räume, deren Ostgrenze das Festland und deren Westgrenze die Linie Sylt—Amrum—Hooge—Pellworm—Eiderstedt bilden, soll sich die Betrachtung erstrecken auf

- a. die Maßnahmen zur Erhaltung und Sicherung des Bestandes an Land und Watt,
- b. die Möglichkeiten der Neulandgewinnung,
- c. die Verbesserung der Wasserwirtschaft der alten und neuen Marsch,
- d. die Rückwirkung der vorstehenden Maßnahmen auf den Wasserverkehr.

1. Der Planungsraum Hörnum Tief — Norderau (Abb. 2)

a. Allgemeines

Das Einzugsgebiet des Hörnum Tiefs steht mit dem der Norderau durch das zwischen Föhr und dem Festland verlaufende Föhrer Ley in Verbindung; auf dem hohen Watt zwischen

Föhr und Amrum ist die Verbindung der beiden Stromgebiete von geringerer Bedeutung. Die Begrenzung des Planungsraums nach Norden ist erst 1926 durch den Bau des Hindenburgdammes künstlich geschaffen worden. Dieser Damm hat dem natürlichen Einzugsgebiet des Hörnum Tiefs größere Flächen entzogen; die Wirkung des Dammes auf die Gezeitenkräfte und den von ihnen gestalteten Raum konnte erst seit Beginn der Forschung im Jahre 1934 verfolgt werden; sie blieb infolge des Krieges in den Anfängen stecken. So ist weder die starke Anlandung, die sich südlich des Dammes auf eine Entfernung von 8 km parallel zur Festlandküste gemessen bemerkbar macht, noch die zum Teil durch Abtrag gekennzeichnete Gestaltveränderung des Wattenmeeres in größerer Entfernung von der Küste in der zurückliegenden dreizehnjährigen Entwicklung restlos zu klären. Daher konnte auch eine Beziehung zwischen Auf- und Abtrag noch nicht gefunden werden. Einzelne Beobachtungen lassen darauf schließen, daß ein beträchtlicher Teil der an der Küste aufgelandeten Schlickmassen aus den Ausläufern des Hörnum Tiefs innerhalb der Watten stammt. Auf jeden Fall hat der Hindenburgdamm eine Änderung der Gezeitenwirkung und damit der Auf- und Abtragsverhältnisse im Einzugsgebiet des Hörnum Tiefs bewirkt.

Ob sich diese Änderung auch auf die Beziehungen zum Norderau-Gebiet erstreckt hat, ist aus den angeführten Gründen ebenfalls nicht klargestellt worden, jedoch deutet der äußere Anschein noch nicht darauf hin, daß tiefgreifende Änderungen in Form von Auf- oder Abtrag im Übergangsbereich zur Norderau (Föhler Ley) eingetreten sind.

Der Damm von Dagebüll über Hallig Oland nach Langeneß als südliche Begrenzung des Planungsraums ist, nachdem der vor dem ersten Weltkrieg erbaute Damm Fahretoft—Oland—Langeneß größtenteils schon während des Krieges wieder zerstört worden war, in den Jahren 1928/29 fertiggestellt worden. Da seine Wirkungen auf die Gezeitenverhältnisse in der Folgezeit nicht untersucht worden sind, läßt sich hierüber heute kaum etwas aussagen, insbesondere auch darüber nicht, ob und wie weit der Damm im Einzugsgebiet der Norderau zerstörende Wirkungen (Ausräumung) zur Folge gehabt hat.

Den gegenwärtigen Zustand im Planungsraum konnte die Forschung wohl in bezug auf die Wattgestalt (morphologisch) durch Luftbild, Vermessung und Peilung, und in bezug auf den Aufbau der oberen Wattschichten durch die biologischen, geologischen und bodenkundlichen Aufnahmen erfassen und beschreiben (vgl. Watterkartierung, Kriegsheft Westküste, 1943). Leider konnten eingehende Gezeitenstrom- und Wasserstandsuntersuchungen noch nicht durchgeführt werden, da die gleichen Aufgaben im südlich angrenzenden Gebiet vordringlich waren. Es sei jedoch darauf hingewiesen, daß für jede größere Planung in diesem Raum eine Untersuchung über die Wirkung sowohl des Hindenburg-Dammes wie des Oland-Dammes — auch wenn sie nachträglich erfolgt — unerlässlich sein wird; dies gilt nicht im Hinblick auf den für einen Damm nach Föhr zu klärenden Wasseraustausch zwischen Norderau und Hörnum Tief.

b. Küstenschutz

Die für den Schutz der Küste wesentliche Frage, in welchem Umfang sich im Lauf der letzten Jahrhunderte Veränderungen im Einzugsgebiet des Hörnum Tiefs vollzogen haben, läßt sich nur grob durch geschichtliche Karten und ihren Vergleich mit neuen Seekarten beantworten (ZAUSIG, 1939). Das heutige Einzugsgebiet ist durch Landzerstörung, beginnend etwa um 1300, in etwa 400 Jahren zu Watt geworden; der direkte Tideeinfluß ging aber bis zum 17. Jahrhundert erheblich weiter als heute. Erst in den letzten 300 bis 400 Jahren ist ein großer Teil des untergegangenen Landes zurückgewonnen und einschließlich größerer Wasserflächen bedeeicht worden. Die geschichtlichen Karten geben zwar einen gewissen Anhalt über

die Veränderung der Landumrisse, nicht aber über Gewinn und Verlust der Land- bzw. Wattsubstanz. Wenn sich heute also eine „Bodenbilanz“ über den betrachteten Zeitraum nicht rekonstruieren läßt, so dürfte doch feststehen, daß das Hörnum Tief sein Bett vergrößert und sich sein Lauf ebenso wie der seiner Priele mehr oder minder begradigt hat. Die Uferlinie der Küste des Festlands erscheint seit dem Bau des Hindenburgdammes weniger als vorher gefährdet. Während der letzten vierzehn Jahre hat die Festlandküste durch die starke Aufschlickung auf fast 12 km Länge nördlich und südlich des Dammes einen wirksamen Schutz erhalten. Das gleiche gilt auch für den festlandnahen Teil des Hindenburgdammes in einer Länge von 4 bis 5 km. An der westlichen Strecke des Dammes ist eine anlandende Wirkung nicht festzustellen. Es hat hier den Anschein, als ob die Wattoberfläche eher tiefer geworden ist. Vor der Nordküste der Insel Föhr sind seit längerer Zeit keine Anzeichen einer nachteiligen Veränderung im Watt festgestellt worden.

Der gegenwärtige Zustand und die neuere Entwicklung im Strom- und Wattgebiet der Norderau sind noch nicht näher untersucht worden. Bekannt ist aus älteren Karten, daß sich die Norderau wie alle größeren Wattströme im Zusammenhang mit der durch Landzerstörung verbundenen Vergrößerung des Einzugsgebietes vertieft und geweitet, und daß diese Ausweitung sich auch zum Festland hin vollzogen hat. Die Entwicklung der Küste selbst im Bereich der Norderau ist im Zusammenhang mit derjenigen der Wiedingharde zu sehen. Grundsätzlich verlangt die Beantwortung der Frage nach den notwendigen Küstenschutzmaßnahmen die gleichen Untersuchungen wie im Bereich des Hörnum Tiefs. Anhaltspunkte für solche Untersuchungen sind unter anderen die vermutlichen Veränderungen im Bett der Norderau südlich Amrum und Föhr. Weitere Hinweise könnte eine baldige Wiederholung der im Jahre 1937 durchgeführten Messung des Wasseraustausches zwischen Norderau und Hörnum Tief geben. (Die Norderau gab vor dem Dammbau nach Sylt etwa 60 Mio. m³ in jeder Tide nach Norden ab!) Von dem Ergebnis der Untersuchungen hängt wesentlich die Entscheidung über den Bau eines Verbindungsdammes vom Festland nach der Insel Föhr ab. Ein Entwurf für diesen Damm ist bereits im Jahre 1934 ausgearbeitet worden. Die Begründung für dieses Vorhaben war damals in besonderem Maße durch die arbeitsmarktpolitische Bedeutung einer solchen Maßnahme gegeben. Untersuchungen über die Wirkung des Dammes auf die Sicherheit der Küsten und die Landgewinnung im weiteren Raume lagen dem Entwurf nicht zugrunde. Den Nutzen eines hochwasserfreien Dammes nach Föhr sah man deshalb in erster Linie in seiner Verkehrsbedeutung für die Seebäder auf Föhr und Amrum. Es ist jedoch auch ohne die noch ausstehenden Vorarbeiten auf Grund der vorhergegangenen Erwägungen zu erwarten, daß die Trennung der Stromgebiete Hörnum Tief und Norderau durch einen Damm Festland—Föhr für die Sicherung der Wattgebiete und damit der Deiche vor den benachbarten Küsten des Festlands und der Insel Föhr und für die Anlandung in Festlandnähe nützlich sein wird. Die Entscheidung darüber, ob die gewählte Lage des Dammes und seine Ausführung als hochwasserfreier Straßendamm vom Gesichtspunkt des Küstenschutzes und der Landgewinnung richtig sind, muß weiteren Untersuchungen vorbehalten bleiben. Technisch stehen dem Bau eines Dammes nach Föhr ebenso wie dem eines Anschlußdammes von Föhr nach Amrum keine großen Schwierigkeiten entgegen.

c. Landgewinnung

Von entscheidender Bedeutung für die weiteren Aussichten der Landgewinnung im Planungsraum ist die Frage, ob die starke Aufschlickung am Hindenburgdamm mit einer Vertiefung der Wattströme dieses Gebietes zusammenhängt. Ihre Beantwortung wird eine wichtige Aufgabe der Forschungsarbeit in diesem Raum sein. Bis dahin kann aber die Entscheidung

über die vorzeitige Eindeichung einer stark aufgeschlickten Fläche südlich des Hindenburgdammes nicht zurückgestellt werden.

So ist die Eindeichung am Hindenburgdamm, deren erste Vorbereitungen schon vor dem Kriege getroffen wurden, als erste Maßnahme einer über den bisherigen Rahmen hinausgreifenden Landgewinnung anzusehen. Der neue Deich umfaßt nahezu alle landwirtschaftlich nutzbaren Wattgebiete, die gegenwärtig für eine Eindeichung überhaupt in Frage kommen können. Hier ist die Entscheidung über die Eindeichung von Wattflächen getroffen, weil der neue Koog den bereits in der Finkhaushallig bei Husum erbrachten Beweis erhärten wird, daß Wattboden bei geeigneter Zusammensetzung voll ertragfähiges Kulturland liefert. Außerhalb der Deichlinie zeigt die Wattkartierung im gesamten Planungsraum überwiegend sandigen Wattboden, der als Ganzes und in Teilgebieten nach der gegenwärtigen Schlickauflage eine Bedeichung mit dem Ziel der landwirtschaftlichen Nutzung vorerst ausschließt (vgl. Übersichtskarte⁷⁾).

Sollte die bisherige Anschlickung südlich des Hindenburgdammes auch nach Fertigstellung des neuen Deichs andauern, so würde für die Zukunft nach geeigneten Verfahren zu suchen sein, um eine nicht zu starke, dafür auf größeren Flächen gleichmäßigere Auflandung zu erreichen, als das in dem engen Raum der Südecke des Hindenburgdammes möglich gewesen ist.

Die Aussichten für die Landgewinnung im Stromgebiet der Norderau und ihrem Ausläufer, dem Föhrer Ley, lassen sich zur Zeit noch nicht übersehen. Das Ergebnis der Wattkartierung im Norderaugebiet zeigt, daß nach der gegenwärtigen Bodenzusammensetzung der Wattoberfläche ein anderer Weg als der bisher in der Landgewinnung beschrittene in absehbarer Zeit nicht erfolversprechend sein kann. Ob und in welcher Richtung ein Damm nach Föhr hieran etwas zu ändern vermag, werden die Untersuchungen — falls es zum Bau des Dammes kommt — und die Erfahrungen zeigen müssen.

d. Wasserwirtschaft und Wasserverkehr

Die Belange der Wasserwirtschaft in den alten Marschen hängen mit der Planung im Raum Hörnum Tief — Norderau nicht so eng zusammen, daß Überlegungen hierüber dringlich wären. Im übrigen werden ähnliche Untersuchungen anzustellen sein, wie sie weiter unten für den Bereich Hever—Süderau erörtert werden.

Der Wasserverkehr spielt in dem Planungsraum nur im Mündungsbereich des Hörnum Tiefs und für die Verbindung von Amrum und Föhr zum Festland eine Rolle, im letzten Fall auch nur solange, als der Damm Festland—Föhr—Amrum nicht besteht. Infolgedessen ist in bezug auf den Wasserverkehr aus der Planung vorerst eine Änderung der bestehenden Verhältnisse nicht zu erwarten.

2. Der Planungsraum Süderau — Norderhever

a. Allgemeines

Die oben schon genannte Begrenzung dieses Raumes zur See hin (Eiderstedt—Pellworm—Hooge) erscheint für die Wattstromgebiete auf den ersten Blick etwas willkürlich angenommen. Sie ist dadurch begründet, daß sie die Hauptwattströme an einer Stelle schneidet, wo die Gezeitenbewegung von der See in das innere Wattenmeer am stärksten zusammengefaßt wird und daher einer Untersuchung durch Messung gut zugänglich war. Die Untersuchung und

⁷⁾ Der Deich ist inzwischen fertiggestellt, er umfaßt allerdings nur einen Teil der bei seiner ersten Planung vorgesehenen Wattfläche (WOHLENBERG u. SNUIS, 1955, siehe Anhang S. 43).

Planung wird sich natürlich auch mit dem seewärts anschließenden Gebiet zu befassen haben, weil sich größere Maßnahmen im Planungsraum über dessen westliche Grenzlinie hinaus bemerkbar machen werden.

Im Raum Süderau—Norderhever ist der Zerstörungsvorgang besonders deutlich seit dem Jahre 1634, dem Schicksalsjahr für die Insel Alt-Nordstrand und die sie umgebenden Halligen. Die geschichtlichen Karten zeigen noch um 1634 die Süderau als einen nördlich der Hallig Hooge tot auslaufenden unbedeutenden Wattstrom.

Etwa in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts muß aber das Einzugsgebiet der Süderau, nach den Karten jener Zeit zu urteilen, bereits bis in die Gegend des jetzigen Nordstrander Dammes gereicht haben. Es war im Norden durch die Halligengruppe Nordmarsch-Langeneß-Oland, im Osten durch die zerrissene Festlandküste von Okholm bis Bredstedt, im Süden durch die übriggebliebenen nördlichen Vorländereien der Insel Alt-Nordstrand begrenzt. Die Norderhever als Seitenarm des alten Heverstroms war bis 1634 unter der Bezeichnung Fallstief ebenfalls ein unbedeutender Wattstrom, dessen Einzugsgebiet nur die südlich in Alt-Nordstrand einschneidende Rungholt-Bucht umfaßte. Wie unbedeutend dieser Strom damals gewesen ist, geht aus dem Plan der Bewohner jener Zeit hervor, das „Fallstief“ zwischen Pellworm und der Hallig Südfall zu durchdämmen, ein Plan, dessen Ausführung durchaus im Bereich des Möglichen gelegen hat und das Schicksal Alt-Nordstrands hätte wenden können. Nach 1634 kam der zerstörte Teil Alt-Nordstrands zum größten Teil in das Einzugsgebiet des Fallstiefs, das sich in der Folge als Norderhever bis in die Nähe der Hamburger Hallig ausgeweitet hat. So hat sich die Norderhever in dem Planungsraum allmählich zum beherrschenden Wattstrom entwickelt, dessen Einfluß denjenigen der Süderau erheblich zurückgedrängt hat. In der Wechselwirkung zwischen den Gezeitenkräften in der Süderau und in der Norderhever ist das Rummelloch als unbedeutender Wattstrom zurückgeblieben. Die allmähliche Ausweitung der Norderhever und der damit wachsende Angriff der Gezeitenkräfte hatten die Zerstörung der dem Festland vorgelagerten großen Insel- und Halliggebiete zur Folge und bewirkten, daß sich die Landzerstörung und die Gezeitenkräfte wechselseitig verstärkten. Der während des 17. und 18. Jahrhunderts fortschreitenden Aushöhlung des Wattenmeeres stand im gleichen Zeitraum — als Folge der Zerstörung — eine starke Auflandung am Ufer des Festlands und der Inselreste gegenüber; das zeigen am besten die Jahreszahlen der Eindeichungen von 1650 bis 1900 und noch bis in die Gegenwart hinein.

Die offensichtliche Fortdauer der Wattzerstörung im Planungsraum und die damit dem Festland in diesem Abschnitt der Küste zunehmende drohende Gefahr hat Veranlassung gegeben, die geschichtliche Entwicklung zu verfolgen und aus ihr in Verbindung mit der unmittelbaren Messung der Gezeitenkräfte ein Bild über den mutmaßlichen Fortgang der Entwicklung in der Zukunft zu gewinnen. Aus den Ergebnissen der jetzt dreijährigen Forschungsarbeit in diesem Raum ist folgendes für eine Planung festzuhalten:

Der Einzugsbereich der Norderhever reicht heute im Norden und Nordwesten bis etwa zur Linie Fahretoft—Gröde—Pellworm. Die Ausweitung des Einzugsgebiets ist hier noch nicht abgeschlossen. Die von 1937 bis 1939 von der Forschungsabteilung des Marschenbauamts Husum angestellten Strömungsmessungen ergaben, daß in einer Tide bei Flut die Norderhever (Meßstelle: Linie Pellworm—Südfall) etwa 400 Mio. m³ Wasser (PETERSEN, 1941), die Süderau (Meßstelle: Linie Hooge—Langeneß) etwa 210 Mio. m³ Wasser stromauf führen; bei ablaufendem Wasser fließen durch die Norderhever etwa 340 Mio. m³, durch die Süderau etwa 260 Mio. m³ Wasser ab. Es werden demnach bei Flut von der Norderhever rund 50 Mio. m³ Wasser mehr landein geführt, die durch die Süderau und zum Teil durch das Rummelloch und über die Watten zum Abfluß gelangen.

Durch den sich ständig vertiefenden Verbindungsarm von der Hever zur Süderau, den „Strand“ ist die letzte schmale Verbindung des Pellwormer Wattgebiets (mit der Insel Pellworm und den Halligen Hooge, Süderoog und Norderoog) mit dem Festlandwatt im Laufe der letzten fünf Jahrzehnte unterbrochen worden. Durch Messungen und Sedimentuntersuchungen (vgl. S. 14) ist festgestellt, daß der Planungsraum im ganzen in den letzten drei Jahrhunderten trotz der Anlandungen am Festland erheblich an Substanz verloren hat. Der Verlust ist zur Hauptsache durch Verbreiterung und Vertiefung der Norderhever und zum Teil auch der Süderau entstanden.

b. Küstenschutz

Vom Standpunkt des Küstenschutzes liegt nun die Hauptaufgabe im Planungsraum in der Verhinderung einer weiteren Zerstörung im Watt und damit einer Gefährdung der Sicherheit der Festlandküste. Weder die Festlanddeiche noch die als Außenwerke der Küste vorgelegerten befestigten Inseln und Halligen können auf die Dauer einen Schutz gewähren, wenn die großen Wattströme sich den Deichen nähern und der Wattsockel abgetragen wird. Die Sicherungsarbeit muß also dort einsetzen, wo noch Aussicht besteht, mit technischen Hilfsmitteln die Gefahr zu bannen, also im Wattenmeer selber.

aa. Dammbauten

Die wichtigste Aufgabe ist die Trennung der Stromgebiete der Süderau und der Norderhever durch einen Damm (vgl. die Ausführungen in Teil I). Die Lage dieses Dammes muß sich danach richten, wie er technisch am einfachsten und für die Dauer am wirksamsten ausgeführt werden kann. Hierfür kommt praktisch nur die Wasserscheide zwischen Süderau und Norderhever, etwa von Ockholm über die Hallig Gröde oder Habel nach Pellworm in Frage.

Die Wahl der Wasserscheide als Dammlinie ist dadurch gegeben, daß jede merkbare Abweichung von der Wasserscheide eine Veränderung der Stromeinzugsgebiete (vgl. Hindenburgdamm) zur Folge hat und deshalb nicht ohne Rückwirkung auf die Gezeitenkräfte in den abgegrenzten Gebieten bleibt. Die Dammlinie auf der Wasserscheide führt zwar zu einer verhältnismäßig großen Länge des Dammes. Trotzdem werden die Baukosten gegenüber denjenigen bei einer die Dammlänge verkürzenden Abweichung von der Wasserscheide geringer bleiben. Es ist bereits ausgeführt worden, daß die Gezeitenkräfte im Raum Hever—Süderau keineswegs im Gleichgewicht sind. Um so mehr ist nach Fertigstellung eines Dammes mit einer allerdings durch den Damm beeinflussten gestaltändernden Weiterentwicklung der Gezeiten zu rechnen und Vorsorge zu treffen, daß nachhaltige schädliche Rückwirkungen im voraus unterbunden werden. Die größte Gefahr stellt stets ein Angriff der Gezeitenkräfte auf die im unmittelbaren und mittelbaren Bereich des Dammes liegenden Wattgebiete dar. Deshalb müßten zugleich mit dem Damm diejenigen Bauwerke geplant und errichtet werden, die eine weitere Watterstörung unterbinden. Hierzu gehören in erster Linie Lahnungen vom Damm aus, die evtl. Angriffe auf den Dammfuß selber verhindern; im weiteren Raum muß vorgesorgt werden, daß sich die großen Wattströme Hever und Süderau infolge der durch den Damm unterbundenen Ausgleichsmöglichkeiten keine neuen Verbindungen mit anderen Wattströmen schaffen. Eine Gefahr in dieser Hinsicht ist weniger von der Süderau als von den stärkeren Kräften der Norderhever zu erwarten. Deshalb ist es nötig, die wichtigsten Wattrücken in der Nähe der Hever zu sichern. Eine mögliche Verbindung der Norder- zur Süderhever über das Watt zwischen Nordstrand und Südfall muß vorsorglich durch einen Verbindungsdamm zur Hallig Südfall verhindert werden; desgleichen muß ein Verbindungsdamm von Pellworm nach Süderoog einen Ausbruch der Hever an dieser Stelle nach Norden zum Rummelloch unterbinden.

Ob der Trennungsdamm zwischen Hever und Süderau den östlich der Hallig Hooge liegenden hohen Watrückden gefährden und eine Verbindung zum Rummelloch aufreißen kann, muß noch geprüft werden. Weitere Maßnahmen, wie etwa die Erhöhung bestehender Wattdämme nach Oland, Hamburger Hallig und Nordstrandischmoor oder der Bau von größeren Bühnen von Inseln und Halligen aus, müssen ebenfalls noch näher untersucht werden.

Wieweit die Trennung von Hever und Süderau eine Änderung der Gezeitenwasserstände beiderseits des Trennungsdammes zur Folge haben wird und damit über die geschilderten vorbeugenden Maßnahmen im Watt hinausgehende Maßnahmen an den Deichen und Uferschutzanlagen notwendig werden, wird wesentlich von der Kronenhöhe des geplanten Dammes abhängen. Ein sturmflutsicherer Damm, wie derjenige nach Sylt oder Nordstrand, bewirkt infolge völliger Trennung der Stromgebiete bei Sturmfluten je nach der Windrichtung nördlich oder südlich des Dammes einen Wasseraufstau, der sich auch auf die an den Damm anschließenden Deiche und die benachbarten Halligen auswirken wird. Mit Rücksicht auf die hohen Kosten eines sturmflutsicheren Dammes und der damit verbundenen Verstärkung der angrenzenden Seedeiche usw. fragt es sich, ob ein sturmflutfreier Damm unbedingt erforderlich ist. Diese Frage muß von der Aufgabe des Dammes her gesehen, Hever und Süderau zu trennen, verneint werden; es genügt, die Wasserbewegung über die Dammlinie im Bereich der gewöhnlichen und der häufigen höheren Gezeitenhochwasserstände, also etwa bis zur Ordinate NN + 3,5 m zu unterbinden (in einer Bauweise, wie sie beim Bau des Dammes nach der Hallig Helmsand gewählt worden ist). Wasserstände, die über diese Höhe ansteigen, können sich dann über die Dammkrone hinweg ausgleichen, ohne daß dadurch schädliche Auswirkungen in den angrenzenden oder fernergelegenen Wattgebieten zu befürchten wären. Zugleich wird eine für die Seedeiche des Festlands und der Inseln gefährliche Stauwirkung, wie sie durch einen sturmflutsicheren Damm zu erwarten wäre, vermieden. Ein sturmflutsicherer Ausbau des Dammes ist nur in Festlandnähe erforderlich, um hier schädliche Überströmungen zu verhindern.

bb. Wattbedeichung (Abb. 2)

Im Teil III b wurde außer dem Bau von Trennungsdämmen die Watteindeichung als wichtiges Mittel zur Sicherung des Raumes genannt. Sie kann im Planungsraum Süderau—Norderhever am ehesten praktische Bedeutung erlangen. Da sie aber zugleich tiefgreifende Auswirkungen auf Wasserwirtschaft und Landgewinnung hat, sollen im folgenden die Voraussetzungen und die Wirkungen der Wattbedeichung näher betrachtet werden:

Im Rahmen der bodenkundlichen Übersichtskartierung des nordfriesischen Wattenmeeres ist der Wattboden des Küstenabschnitts Dagebüll—Nordstrand bis zur sogenannten inneren Hallig-Linie, also bis zur Linie Oland—Gröde—Habel—Hamburger Hallig—Nordstrandischmoor einer noch eingehenderen bodenkundlichen Untersuchung auf seine landwirtschaftliche Brauchbarkeit unterzogen worden, als das für das übrige Wattengebiet der Fall war.

Bei der Erörterung der für eine erfolgreiche landwirtschaftliche Nutzung geeigneten Flächen ist zwischen Schlickwatten, die sich infolge der starken und fetten Schlickdecke nur oder überwiegend für Grünland (Gruppe 1) eignen und solchen Wattflächen zu unterscheiden, die einen guten Ackerboden (Gruppe 2) abgeben würden. Hierzu wird noch ein Teil sandigerer Flächen (Gruppe 3) gerechnet, deren Umfang im Verhältnis zu den schlickigen Flächen (1 + 2) betriebswirtschaftlich nützlich und erträglich sein muß und etwa 30 % der gesamten einzudeichenden Fläche (1 + 2 + 3) ausmachen darf (vgl. S. 18).

Die seeseitige Grenze der nach diesen Gesichtspunkten für eine Eindeichung in Frage kommenden Wattflächen geht von Dagebüll aus, verläuft auf ganzer Länge im Abstand von 2 bis 4 km von den Seedeichen durch Watt und endet an der Nordostecke der Insel Nordstrand.

Geringe Sandwattflächen und Wasserflächen sind hierbei im Hinblick auf eine glatte Linienführung eingeschlossen. Die Höhenlage der durch diese Linie eingeschlossenen Wattflächen schwankt mit Ausnahme der schon deichreifen grünen Vorländereien und der Priele zwischen NN + 0,50 m und NN - 1,50 m. Da das Gezeitenniedrigwasser um NN - 1,80 m schwankt, würde eine natürliche Vorflut bei dem größten Teil der Flächen nicht zu erreichen sein; sie müßten künstlich entwässert werden.

Von den Wattflächen scheiden im allgemeinen alle unter NN - 2,0 m liegenden Flächen wegen ihrer tiefen Lage, vor allem aber wegen ihrer sandigen Struktur für eine landwirtschaftliche Nutzung aus; sie kämen hauptsächlich als bleibende Wasserflächen in Betracht und wären als solche sowohl für die Wasserwirtschaft des später landwirtschaftlich genutzten Wattlandes, als auch — wie weiter unten ausgeführt — für die Wasserwirtschaft der alten Marschen von Bedeutung.

Die nach der eingehenden Kartierung nach landwirtschaftlich-bodenkundlichen und betriebswirtschaftlichen Überlegungen für eine Bedeichung in Frage kommende Fläche beträgt einschließlich der unter MTnw liegenden Wasserflächen mit rund 450 ha etwa 9500 ha. Die gesamte Wattfläche zwischen Dagebüll und der Insel Nordstrand wird durch den geplanten Damm Ockholm—Pellworm und die vorhandenen Dämme nach Hamburger Hallig und Nordstrandischmoor in vier Räume (A bis D) unterteilt, wobei dem Bestreben, die Deichlinie im Interesse des übergeordneten Küstenschutzes (Einengung der Wattstrom-Einzugsgebiete) möglichst weit nach See vorzuschieben, in den einzelnen Räumen durch land- und wasserwirtschaftliche Gesichtspunkte Grenzen gesetzt werden. Deshalb unterliegt die vorstehend ange deutete Deichlinie bei Betrachtung der Einzelräume A bis D gewissen Änderungen⁸⁾.

R a u m A

Der Raum A wird im Norden durch den Olander Damm, im Süden durch den geplanten Damm von Ockholm über Habel nach Pellworm und im Westen von der Verbindungslinie Oland—Gröde—Habel begrenzt. Innerhalb dieses Raumes liegen vor der Küste die landwirtschaftlich als nutzbar anzusprechenden Gebiete mit einer zusammenhängenden Gesamtfläche von 1850 ha⁹⁾. Solche Flächen finden sich im Raum A außerdem noch auf den Halligen Oland und Gröde sowie auf den sie umgebenden Wattflächen in einer Gesamtfläche von rund 1200 ha. Diese Fläche hängt jedoch nicht unmittelbar mit der dem Festland vorgelagerten nutzbaren Fläche zusammen, sondern ist von ihr durch eine im allgemeinen sandige Wattzone von rund 1700 ha getrennt. Diese letztere schließt zugleich eine 1100 ha große Wasserfläche und eine 250 ha große landwirtschaftlich nutzbare Fläche ein. Die Eindeichung der sandigen Zwischenzone ist aus landwirtschaftlichen Gründen zur Zeit noch nicht vertretbar. Eine Eindeichung des brauchbaren Watts um Oland und Gröde für sich allein kann nicht in Frage kommen, da diese Fläche dann ohne Anschluß an die Festlandküste bleiben würde.

Nun sind neben den bisher erörterten landwirtschaftlichen auch wasserwirtschaftliche Überlegungen anzustellen. In den Raum A münden die Bongsieler Schleusen, welche die Niederlage eines rund 75 000 ha großen Gebietes abführen. Nach den Untersuchungen für die Neu-

⁸⁾ Obgleich der Krieg und die Folgezeit manche Änderung in der Bewertung wasser- und bodenwirtschaftlicher Gesichtspunkte bezüglich der Wattbedeichung haben eintreten lassen, dürften die im Jahre 1941 niedergelegten Gedanken auch für die heutige Betrachtung von Nutzen sein.

⁹⁾ Da dem Verfasser außer einem Berichtstext und einigen Übersichtsplänen die im Jahre 1940 erarbeiteten Aktenunterlagen nicht mehr zur Verfügung standen, können in den folgenden Zahlenangaben über einzudeichende Flächen (Grünland, Watt- und Wasserflächen) kleinere Fehler enthalten sein. Diese ändern jedoch nichts an dem dargestellten Gesamtbild.

regelung der Wasserwirtschaft soll im Bongsieler Gebiet ein Schöpfwerk zur schadlosen Abführung der Hochwasserspitzen in die Nordsee eingeschaltet werden. Dieses Schöpfwerk würde entbehrlich, wenn es gelänge, äußerstenfalls eine Wassermenge bis zu 7,5 Mio. m³ unterhalb der Ordinate NN + 1,20 m innerhalb der jetzigen Seedeiche oder in neu zu errichtenden künstlichen Ausgleichbecken außerhalb der Deiche solange schadlos zurückzubehalten, bis die Gezeitenwasserstände der Nordsee den natürlichen Abfluß gestatten; hierfür würde eine im Mittel auf NN — 0,50 m liegende Fläche von 440 ha erforderlich sein; als Ausgleichbecken kämen besonders der tiefstliegende Teil der 1700 ha großen sandigen Zwischenzone, sowie die natürlichen Wasserflächen zwischen den genannten Halligen in Frage. Ein solches Becken würde neben dem Ausgleich der höheren Wasserstände zugleich die hervorragende Aufgabe übernehmen können, in Trockenzeiten Süßwasser an die alten Marschen und die neu bedeckten Wattgebiete abzugeben.

Eine vorläufige Untersuchung über die Hochwasserspeicherung — evtl. verbunden mit einer Wasserversorgung in Trockenperioden — hat für das Bongsieler Gebiet und den Raum A, der im Falle der Bedeichung als Bestandteil des Bongsieler Gebietes gelten würde, zu einem Ergebnis geführt, das hier wegen der grundsätzlichen Bedeutung kurz geschildert werden soll:

Vor allem zwei Umstände bewirken einen landwirtschaftlichen Wassermangel. Einmal ist dies die jahreszeitliche Verteilung der Niederschläge, die gerade in den Monaten März bis Juni, der Zeit des größten Wachstums der Feldfrüchte, zu geringe Regenhöhen aufweist. Wenn sich dieser Zustand auch nicht jedes Jahr schädlich auswirkt, so zwingt doch die Häufigkeit zu Abhilfe Maßnahmen. Zum anderen lehrt die Ganglinie der mittleren Jahresniederschläge aus einem 45jährigen Zeitraum, daß, verglichen mit der mittleren Verbrauchshöhe für eine Ernte, von 45 Sommerhalbjahren 14 Sommerhalbjahre zu trocken waren, d. h. die Niederschlagshöhen nicht den Anforderungen des Pflanzenbedarfs gerecht wurden. Erschwerend wirkt noch die nicht seltene Aufeinanderfolge von zwei Trockensommern. So ist in Trockensommern mit einem Fehlbedarf von bis zu 150 mm Niederschlagshöhe zu rechnen, der für die Marschflächen einer Wassermenge von rund 30 Mio. m³ entspricht. Diese Menge kann aus den Niederschlägen des Winters bzw. der Überschußjahre gewonnen werden, wenn es gelingt, genügend große Speicherbecken zu schaffen. Ferner besteht ein ausgesprochener Trink- und Wirtschaftswassermangel in der gesamten Marsch, da hier das Grundwasser wegen seiner Beschaffenheit (Salzgehalt) und schlechten Gewinnbarkeit meist nicht brauchbar ist. Der Jahresbedarf an Trink- und Wirtschaftswasser beträgt für die Bongsieler Marsch rund 365 000 m³.

Überschlägliche Untersuchungen haben ergeben, daß im Lande selbst durch Anlage von Wasserrückhaltebecken in den Fluß- und Bachtälern äußerstenfalls nur 8 bis 9 Mio. m³ Wasser jährlich gespeichert werden können. Der Weg, große Niederungsflächen zu überschwemmen, die, als Dauergrünland in jahrzehntelanger Arbeit kultiviert, eine unentbehrliche Daseinsgrundlage der Landwirtschaft auf der Geest darstellen, scheidet von vornherein aus.

Zur Behebung des Wassermangels würde sich für die Schaffung eines ausreichenden Wasserspeichers eine günstige Gelegenheit bei Eindeichung der Wattflächen im Raum A vor den Bongsieler Schleusen bieten, wenn, wie oben erwähnt, dieser Raum bis zur Linie Oland—Gröde eingedeicht würde. Bei entsprechender Einfassung mit verhältnismäßig leichten Binnendeichen kann im Raum A eine Wasserfläche von 880 ha gewonnen werden, die bis zur Höhe von + 1,20 m NN angestaut werden kann, ohne wertvolles Land zu überschwemmen oder die Entwässerung der Marschen und des neuen Kooges zu gefährden. Ein solches Wattbecken würde zwischen den Ordinaten — 0,50 m und + 1,20 m NN eine verfügbare Süßwasserreserve von rund 15 Mio. m³ aufnehmen können, die dem großen Teil der Marsch auf natürlichem Wege zugeführt werden könnte. In Trockensommern könnte sogar aus dem Becken

unter der Ordinate — 0,50 m eine Wassermenge bis zu 24 Mio. m³ herausgepumpt und in besonderen hochliegenden Bewässerungsgräben der Marsch zugeführt werden. Im Verein mit den Wasserspeichern auf der Geest könnte demnach das neue Speicherbecken den Fehlbedarf an Wasser in normalen Frühjahrsmonaten auf natürlichem und in ausnahmsweise trockenen Sommern auf künstlichem Wege sicherstellen.

Der Speicherraum im Watt bietet somit die Möglichkeit, den Wasserhaushalt im Bongsier Gebiet auszugleichen und eine Reserve für Trockenjahre sicherzustellen. Auf den hohen Wert, den solche Wasserflächen bei der zunehmenden Entwässerung der Moore und Regelung der Flüsse und Auen für Naturschutz, Jagd und Fischerei haben, soll hier nur andeutungsweise hingewiesen sein.

Die Bedeutung der Wasserflächen für die Bodennutzung spricht also für die Eindeichung des gesamten Raumes A, durch welchen einschließlich der betriebswirtschaftlich nützlichen sandigen Zwischenzone eine nutzbare Gesamtfläche von 3300 ha gewonnen wird. Nach Abzug der für wasserwirtschaftliche Zwecke zu verwendenden 880 ha großen Wasserfläche verbleibt eine sandige Fläche von rund 570 ha, die zwar keinen vollwertigen Marschboden abgeben wird, bei ausreichend gesicherter Ent- und Bewässerung aber noch brauchbaren Kulturboden darstellt. Der neue Seedeich würde dann, wie in der Abbildung 2 skizziert, von Dagebüll ausgehend bis etwa zur Hallig Oland überwiegend dem vorhandenen Olander Damm folgen, dann über die Hallig Oland gehen und von hier aus das Watt und das „Schlüt“ überqueren. Hierbei sind auf kurze Strecken größte Tiefen von 5 m unter NN zu durchdämmen. Von Gröde bis zur Hallig Habel, wo der Anschluß an den Ockholm-Pellwormer Damm erreicht wird, ist wiederum eine Wattstrecke mit geringeren Tiefen als zwischen Oland und Gröde abzuriegeln. Von Habel bis Ockholm stellt der auf dieser Strecke hochwasserfrei auszubauende Pellwormer Damm den Abschlußdeich des Raumes A nach Süden dar.

Die Linienführung des skizzierten Seedeichs ist vom Standpunkt des Küstenschutzes aus als günstig zu bezeichnen, wobei allerdings zu berücksichtigen ist, daß der Bau solcher Seedeiche an sich keine leichte Aufgabe ist und der Deich im Watt zur Verringerung der Unterhaltungskosten mit schweren Decken versehen werden muß. Die vorhandenen und gegebenenfalls noch weiter zu verstärkenden Uferschutzwerke vor den Halligen Oland und Gröde bilden in der neuen Deichlinie geeignete und gut zu verteidigende Eckstützpunkte. Der spitzwinklige Anschluß des Deichs an den Ockholm-Pellworm-Damm bedeutet keine Gefahrenquelle, weil der Damm vom Anschluß des neuen Seedeichs ab nach See zu nicht mehr sturmflutfrei sein soll und bei höheren Sturmfluten überströmt werden wird.

Durch die Bedeichung des Raumes A wird das Einzugsgebiet der Süderau um mehr als 5300 ha verringert. Die Abriegelung dieser Wattfläche wird voraussichtlich eine Erhöhung der höheren Tidewasserstände im näheren Bereich der neuen Seedeiche und damit Schutzmaßnahmen auch auf den Halligen zur Folge haben.

R a u m B

Der südlich an den Raum A angrenzende Raum B reicht bis zur Linie des Dammes Festland—Hamburger Hallig. Beiderseits dieses Dammes ist das Watt im lebhaften Anwachs begriffen. Nach dem Ergebnis der bodenkundlichen Untersuchungen kommt nach boden- und betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten nördlich des Dammes zur Hamburger Hallig als verhältnismäßig noch schmaler Streifen eine Wattfläche von 1030 ha in Frage. Seewärts der diese Fläche begrenzenden Linie bedarf das Wattgebiet noch einer stärkeren Aufschlickung. Eine Verschiebung der genannten Grenzlinie nach See zu wird durch wasserwirtschaftliche Gesichtspunkte — wie etwa im Raum A — nicht bedingt. Wählt man die aus landwirtschaftlichen Gründen wünschenswerte Deichlinie, so würde der neue Seedeich des Raumes B etwa 1,0 bis

1,5 km von Ockholm entfernt vom Pellwormer Damm abzweigen, annähernd parallel zur jetzigen Festlandküste durch flaches sandiges Watt verlaufen und den Damm zur Hamburger Hallig etwa 2 km vom Festland entfernt erreichen.

Eine seewärtige Verschiebung der Deichlinie vor dem Raum B bis etwa in die Linie Hamburger Hallig—Südwestecke Raum A würde, abgesehen von technischen Schwierigkeiten, die in der Abdämmung eines größeren Tiefs liegen, eine überwiegend sandige und landwirtschaftlich geringwertige Wattfläche erfassen und könnte nur aus küstenschutztechnischen Gründen im Sinne einer weiteren Einengung des Hever-Einzugsgebiets in Frage kommen.

Raum C (Begrenzung: Dämme Hamburger Hallig und Nordstrandischmoor)

Das Wattgebiet C enthält insgesamt eine landwirtschaftlich nutzbare Fläche von 1700 ha. Da auch in diesem Gebiet neben den landwirtschaftlichen keine weiteren Gesichtspunkte zu berücksichtigen sind, würde die Deichlinie bei Eindeichung des Wattgebiets nach dem gegenwärtigen Stand der Aufschlickung in Fortsetzung der Deichlinie des Raumes B etwa parallel zur Festlandküste laufen und den Damm nach Nordstrandischmoor auf halber Länge, das ist 3 km vom Festland, treffen. Der Deich hat ebenso wie im Raum B keine größeren Wattströme zu überqueren. Der Damm nach der Hamburger Hallig, gleichzeitig Südgrenze des Raumes B und Nordgrenze des Raumes C, müßte vor Beginn der Wattbedeichung vom Festland bis zur Kreuzung mit dem Wattdeich sturmflutsicher ausgebaut werden. Westlich der Kreuzung ragt dann die Hamburger Hallig etwa 1,8 km über die neue Seedeichlinie ins Wattenmeer hinein. Damm und Hallig werden hier als Buhne wirken und sind durch dementsprechende Dammerhöhung und Verstärkung des Uferschutzes vor der Hallig auszubauen. Ebenso wie der Damm zur Hamburger Hallig ist die 3 km lange festlandnahe Strecke des Dammes nach Nordstrandischmoor hochwasserfrei auszubauen.

Die Deichlinie vor den Räumen B und C verläuft in verhältnismäßig geringem Abstand von dem jetzigen Seedeich des Festlands, so daß die Wirtschaftlichkeit der Eindeichung (Verhältnis von gewonnener Fläche zur Deichlänge) nicht besonders günstig sein würde. Sie nähert sich der Linie, die nach der bisherigen Landgewinnungsplanung ohnehin schon in etwa zehn bis fünfzehn Jahren eine insgesamt 2100 ha große deichreife Fläche umschließen kann. Unter diesen Umständen würde die Wattbedeichung (B und C) tatsächlich keinen erheblichen wirtschaftlichen Vorteil bieten. Nach den Ausführungen auf Seite 29 ist zu erwarten, daß nach dem Bau des Pellwormer Dammes, der ohnehin jeder Wattbedeichung im Planungsraum zeitlich vorausgehen muß, in den Räumen B und C die Auflandung zuerst ziemlich schnell vonstatten gehen wird. Da weiterhin die Räume B und C aus technischen — wasser- und bodenwirtschaftlichen — Gründen (vgl. S. 31) zeitlich nach den Räumen A und D eingedeicht werden müssen, bliebe noch ein genügender Zeitraum für die Entscheidung über die endgültige Lage der Deichlinie. Diese wird dann wahrscheinlich weiter nach See zu gerückt werden können, als es zur Zeit betriebswirtschaftlich möglich und in der Planung vorgesehen ist.

Die Entwässerung der hinter dem Raum C liegenden Marschgebiete des Sönke-Nissen-Koog-Sielverbandes durch den neuen Koog C wird keine Schwierigkeiten bereiten.

Raum D (Begrenzung: Dämme Nordstrandischmoor und Nordstrand)

Der Raum D in einer vom landwirtschaftlichen Standpunkt nutzbaren Gesamtfläche von rund 2400 ha ist nach der örtlichen Ausdehnung und Lage der einzelnen Wattbodenarten betriebswirtschaftlich nicht so günstig gegliedert wie die Räume B und C. Im inneren Teil der Bucht nördlich des Nordstrander Dammes ist das Watt zum Teil so stark aufgeschlickt und die Zusammensetzung des Sediments so tonhaltig, daß dieser Teil mit etwa 850 ha über-

wiegend für Grünlandnutzung in Frage kommt. Die übrigen Teile, teils schwerer Acker bis leichter Boden, liegen recht bunt durcheinander, so daß es nicht einfach sein wird, eine völlig befriedigende landwirtschaftlich-betriebswirtschaftliche Gestaltung im Raum D zu erreichen. Geht man von dem bereits bei Raum A erörterten Grundsatz betreffend das Verhältnis der einzelnen Wattbodenarten ohne Berücksichtigung der Lage der Bodenarten zueinander aus, so ergibt sich eine bestimmte Deichlinie. Diese erscheint aber aus küstenschutztechnischen Erwägungen nicht günstig. Um eine bessere Führung der Deichlinie zu erreichen, ist unter Einbeziehung einer zum Teil sandigen Fläche eine Deichlinie gewählt, die von der in Abbildung 2 dargestellten Kreuzung des Wattdeichs vor dem Raum C mit dem Damm nach Nordstrandischmoor ausgeht, in südsüdwestlicher Richtung das Watt und den Ausläufer der Holmer Fähre überquert und an die Insel Nordstrand an der Nordecke des Elisabeth-Sophienkoogs anschließt. Die durch diese Deichlinie angeschlossene Wattfläche von 2510 ha enthält eine naturgegebene Grünlandfläche, die infolge ihrer geschlossenen abgelegenen Lage betriebswirtschaftlich innerhalb des Raumes D nicht ganz ausgenutzt werden kann; es muß daher geprüft werden, ob Teile dieser Grünlandfläche entweder ackerfähig gemacht oder anderen außerhalb des Raumes D gelegenen Betrieben günstig zugelegt werden können.

Die hier angedeuteten betriebswirtschaftlichen Schwierigkeiten vom Boden her zwingen dazu, die bereits jetzt erreichte starke Aufschlickung bald zu unterbinden. Je länger die Abriegelung dieser Wattgebiete aufgeschoben wird, um so schwieriger wird die betriebswirtschaftliche Gestaltung dieses Raumes werden.

In das Wattgebiet des Raumes D münden mehrere Deichsiele, die zusammen ein etwa 50 000 ha großes Einzugsgebiet (Arlau—Jelstrom—Cecilienkoog) entwässern. Da innerhalb des Raumes D eine Wasserfläche (unterhalb von NN — 2,0 m) von 60 ha und daneben eine größere niedrig gelegene Wattfläche verbleibt, wird eine Hochwasserausgleichs- und Speichermöglichkeit ähnlich derjenigen im Raum A geschaffen werden können.

Durch die Bedeichung wird der größte Teil des Einzugsgebiets der Holmer Fähre abgeriegelt. Die noch zwischen Nordstrand und Nordstrandischmoor verbleibende Teilbucht des Einzugsgebiets muß an ihren Flanken gut gesichert werden, um ein seitliches Ausweichen der Holmer Fähre zu verhindern. Die außerhalb der neuen Seedeichlinie liegende 3 km lange Teilstrecke des Damms nach Nordstrandischmoor und die Hallig selber werden erhöht bzw. verstärkt werden müssen, damit sie, ebenso wie die Hamburger Hallig, die Aufgabe als Buhnenkopf für den neuen Seedeich erfüllen können. Ebenso wird der Nordstrander Seedeich vom Anschluß des neuen Deichs nach Westen zu wegen der zu erwartenden Tide-Stauwirkung einer Verstärkung und Erhöhung bedürfen. Die Eindeichung des Raumes D verkürzt, unter der Voraussetzung, daß anschließend daran der Raum C bedeicht wird, die vorhandene Seedeichlinie von rund 15 km in diesem Raum um 10 km auf 5 km Gesamtlänge.

Bei einer Bedeichung der Räume B, C und D südlich des Ockholm-Pellwormer Trennungsdammes wird dem Einzugsgebiet der Norderhever insgesamt eine Fläche von rund 5240 ha entzogen, das sind etwa 25 % des Gesamthevergebiets innerhalb der Linie Pellworm—Südfall—Nordstrand. Die Kraft des Heverstroms wird dadurch und durch weitere Verlandungen abnehmen. Trotzdem erfordert die aus dem zunächst zu erwartenden Ansteigen, besonders der höchsten Wasserstände, erwachsende Gefahr Vorkehrungen zur Abwehr von Sturmschäden. Die neuen Wattdeiche werden von vornherein den zu erwartenden Wasserständen angepaßt werden; die Deiche der angrenzenden Gebiete, auch der Inseln, für die ohnehin schon heute eine Deicherhöhung notwendig ist, müssen verstärkt und erhöht werden. Über das Maß dieser Erhöhung sind Untersuchungen im Gange, unter anderem in einem Modellversuch.

Betrachtet man die durch die Eindeichung der Räume A bis D erreichte Führung der Küstenlinie zwischen Dagebüll und der Insel Nordstrand, so ist die Verteidigungsstellung günstig, abgesehen von der anfänglich tieferen Lage des Watts vor den neuen Deichen. Von der neuen Deichlinie zwischen Dagebüll und Nordstrand erstrecken sich als Hauptschutzwerke folgende drei Werke wie große Bühnen weit ins Watt hinaus (Abb. 2):

- a. Damm Oland—Langeneß. Dieser Damm zusammen mit der befestigten Hallig Langeneß bildet in einer Gesamtlänge von rund 12 km zugleich das feste Trennungswerk zwischen Süderau und Norderau.
- b. Der Pellwormer Damm mit dem Bühnenkopf Pellworm ist im großen Bühnenfeld das Hauptwerk, das nicht nur die Strömung zwischen Hever und Süderau unterbindet, sondern zugleich dem gesamten Südabschnitt des neuen Seedeichs gegen West und Nordwest stärkeren Schutz bietet. Über die Insel Pellworm hinaus wird die Bühne Ockholm-Pellworm durch einen Damm nach Süderoog verlängert, der eine Verbindung von zur Zeit getrennten Wattströmen westlich der Insel Pellworm unterbindet.
- c. Den Abschluß des Norderhever-Raumes nach Süden stellen der Nordstrander Damm, die Insel Nordstrand und der von hier aus nach Südfall geplante Damm dar.

Zwischen diesen drei Hauptbühnen wird zum Schutz der Deiche und des Wattengebiets noch eine ganze Anzahl von Werken einzufügen sein. Vorhanden sind bereits die Bühnenköpfe Hamburger Hallig und Nordstrandischmoor.

Die Durchführung der Watteindeichungen wird erst im Anschluß an den Bau des Pellwormer Dammes erfolgen können, und zwar dürfte es sich empfehlen, als erstes den Raum A einzudeichen. Hier sprechen insbesondere die wasserwirtschaftlichen Gesichtspunkte, Ent- und Bewässerung der alten Bongsieler Marschen, für einen baldigen Baubeginn. Wenn es möglich ist, kann gleichzeitig mit dem Bau des Deiches in Raum D begonnen werden, weil hier ein beträchtlicher Teil des Watts eine weitere Überschlickung aus wirtschaftlichen Gründen nicht gut verträgt.

Nach Fertigstellung dieser Dämme und Watteindeichungen wird die Auflandung in den Wattgebieten B und C beträchtlich fortgeschritten sein, so daß hier die Deichlinie wahrscheinlich weiter nach See zu vorgeschoben werden kann, als es in dem jetzigen Vorschlag nach landwirtschaftlichen Gesichtspunkten möglich ist.

Durch die geschilderten Maßnahmen zur Begrenzung und Einengung der Stromeinzugsgebiete Süderau und Norderhever wird

1. eine weitere gefahrdrohende Aushöhlung des Wattenraums unterbunden und durch eine Verkleinerung des Einzugsgebiets eine Abnahme der angreifenden Gezeitenkräfte erreicht,
2. ein sicherer, auf lange Sicht ausreichender Schutz der Marschen bei besserer Linienführung der Deiche erreicht,
3. eine grundlegende Verbesserung der Wasserwirtschaft in den Marschen von Dagebüll bis Husum erzielt,
4. insgesamt eine landwirtschaftlich nutzbare Fläche von 8 400 oder 11 700 ha eingedeicht und der Nutzung und Besiedlung zugeführt.

Gegenüber diesen überzeugenden Vorteilen dürfte der Nachteil, daß die Schifffahrt im inneren Wattenmeer zwischen Husum und den Inseln und Halligen teils ganz unterbunden, teils erheblich erschwert wird, nicht stark ins Gewicht fallen. Die Inseln Föhr und Amrum werden sich ebenso wie die meisten und größten Halligen verkehrsmäßig stärker nach Dagebüll orientieren müssen. Selbstverständlich werden gewissenhafte Überlegungen über die Behebung echter Nachteile für die Versorgung der Inseln und Halligen in die Arbeit der Einzelplanung einbezogen werden müssen.

3. Der Planungsraum Süderhever

Die in west-östlicher Richtung zwischen Nordstrand und Eiderstedt verlaufende Süderhever ist als — schiffbarer — Wattstrom bedeutend älter als die Norderhever, die noch vor dreihundert Jahren ein unbedeutender Nebenarm der jetzigen Süderhever war. Infolge der Landverluste im Raum von Alt-Nordstrand und zwischen Nordstrand und Eiderstedt (Lundenbergharde), der Wattabtragung und wahrscheinlich infolge der Vergrößerung des Norderheverraums hat auch die Süderhever in den letzten drei Jahrhunderten eine beträchtliche Querschnittserweiterung erfahren. Auch dieser Raum weist als Ganzes im Lauf der letzten Jahrhunderte einen Bodenverlust auf. Von den beiden oberen Ausläufern der Süderhever — die Husumer Au und das Pohnsley — hat das zwischen Nordstrand und dem Festland liegende Pohnsley seit Fertigstellung des Nordstrander Dammes die Aufgabe der Zu- und Abführung der Gezeiten in der Bucht (Pohnsbucht) südlich des Dammes, während die Husumer Au zugleich Vorfluter für ein größeres Marsch- und Geestgebiet und SchiffsstraÙe für den Husumer Hafen ist.

Die Veranlassung zur Untersuchung der in diesem Raum vorliegenden Aufgaben bilden die schwierige Deichverteidigung an verschiedenen Strecken der inneren Husumer Bucht und die durch die starke Anschlickung südlich des Nordstrander Dammes sich bietenden Landgewinnungsmöglichkeiten. Insbesondere ist die Bedeichung der ganzen Bucht südlich des Nordstrander Dammes (Pohnsbucht) etwa in der Linie von der Spitze des Dockkoogs in westnordwestlicher Richtung bis zum Pohnshalligkoog auf Nordstrand mehrfach Gegenstand der Untersuchung gewesen. Die Durchführung einer solchen Eindeichung berührt zugleich für den inneren Raum der Husumer Bucht wichtige Fragen des Küstenschutzes, der Landgewinnung, der Vorflut und der Schiffsahrt. Aus diesen Gründen erscheint es notwendig, auch in diesem Gebiet die für eine Planung auf weite Sicht wichtigsten Gedanken zu erörtern.

Mit dem Bau eines mit seiner Krone auf NN + 1,70 m liegenden Dammes nach Nordstrand im Jahre 1906 wurde die bis dahin östlich der Insel Nordstrand verlaufende Verbindung zwischen der Holmer Fähre, einem Nebenarm der Norderhever, und der Süderhever unterbrochen. Die Folge dieses Dammes ist, trotz seiner mehrfachen schweren Beschädigung im Kriege, eine starke Verlandung des Watts sowohl nördlich als auch südlich der Dammlinie gewesen. Dadurch wurde bereits im Jahre 1924 die Bedeichung des Pohnshalligvorlandes möglich. Der sturmflutfreie Ausbau des Nordstrander Dammes im Jahre 1935 hat den vorher bei Sturmfluten möglichen Wasserausgleich über die Dammlinie unmöglich gemacht, so daß der innere Süderheverraum seitdem eine abgeschlossene Bucht bildet. Neben verstärkter Anlandung ist in dieser Bucht bei besonders ungünstigen Windverhältnissen die Gefahr eines örtlichen Wasserstaus gegeben. Dabei bietet die große Länge der die Bucht umgebenden, zum Teil schon älteren und verbesserungsbedürftigen Deiche eine Reihe von Gefahrenpunkten, deren Beseitigung, etwa durch Verkürzung der Gesamtdeichlänge, im Interesse der Küstenverteidigung liegen würde. Die Verkürzung der Küstenverteidigungslinie und die bisherige beträchtliche Aufschlickung im Watt legen im gleichen Sinne wie im Wattgebiet des Raumes Süderau-Norderhever den Gedanken nahe, zunächst die Pohnsbucht abzuriegeln. Das Ergebnis der Bodenuntersuchung ist für die Pohnsbucht vom landwirtschaftlich-bodenkundlichen Standpunkt nur teilweise günstig. Während der westliche Teil der Pohnsbucht eine für die landwirtschaftliche Nutzung ausreichende Schlickdecke besitzt, ist die Oberfläche im östlichen Teil der Bucht als Ausläufer des Schobüller Geestrückens stark sandig und in ihrem jetzigen Zustand für eine landwirtschaftliche Nutzung größtenteils, das heißt zu etwa dreiviertel der Fläche noch nicht geeignet. Für eine landwirtschaftliche Nutzung kommt im nördlichen und nordwestlichen Teil der Pohnsbucht nur eine Gesamtfläche von 500 ha in Betracht. Für sich allein

würde diese Fläche, der auch das natürliche Grünland fehlt, heute noch nicht mit wirtschaftlich vertretbaren Mitteln eingedeicht werden können. Zu überlegen wäre jedoch, ob diese Fläche, die zu der sehr schweren Grünlandzone nördlich des Dammes eine wertvolle betriebswirtschaftliche Ergänzung bilden könnte, zu der Eindeichung im Raum D hinzugezogen werden kann. Die Grünlandzone nördlich des Dammes mit ihrem sehr fetten Boden liegt nämlich zu den übrigen guten bis mittleren Ackerböden des Watts im Raum D zwischen Nordstrand und dem Damm nach Nordstrandischmoor wegen der großen Entfernung betriebswirtschaftlich sehr ungünstig. Ob und in welchem Umfang man aus diesen Gründen zu einer — verhältnismäßig teuren — Teilbedeichung der Pohnsbucht schreiten wird, muß den eingehenderen Untersuchungen vorbehalten bleiben.

Eine baldige Eindeichung der gesamten Pohnsbucht kommt auch aus Gründen der Landgewinnung nicht in Frage. Küstenschutztechnisch betrachtet liegt der Vorteil der Abriegelung in einer Verkürzung der Küstenverteidigungslinie um 8 km. Dieser Vorteil reicht aber allein nicht aus, um die Abriegelung der Bucht zu begründen. Dagegen würde die Abriegelung eine Einschränkung des oberen Süderhever-Einzugsgebiets um 2000 ha im Innern der Husumer Bucht bedeuten. Der demzufolge vermehrte Aufstau bei Sturmfluten würde zu Verstärkungen der angrenzenden Seedeiche zwingen. Andererseits würde die Einschränkung des Einzugsgebiets am Oberlauf der Süderhever eine Verringerung der Räumungskraft und damit wahrscheinlich eine Verschlickung der oberen Süderhever bis unterhalb des Zusammenflusses von Husumer Au und Pohnsley zur Folge haben. Hierdurch können die Schifffahrt zum Husumer Hafen und die Vorflut der Husumer Au und ihre Zuflüsse beeinträchtigt werden. Diese Überlegungen zeigen, daß eine Abriegelung der Pohnsbucht aus landeskulturellen und schifffahrtstechnischen Erwägungen zur Zeit nicht begründet werden kann.

Die angedeuteten nachteiligen Folgen einer Abriegelung der Pohnsbucht für Küstenschutz und Schifffahrt legen den Gedanken nahe, für die Abriegelung eine andere Linie, etwa von Morsumhafen auf Nordstrand in süd-östlicher Richtung nach der vorspringenden Ecke des Simonsberger Kooges ins Auge zu fassen. Die Gesamtlänge dieser Abriegelung würde mit 3,5 km um fast 1 km kürzer sein als die Verbindungslinie vom Dockkoog nach Nordstrand. Sie schließt eine Gesamtfläche von 3550 ha ein. Eine solche Abriegelung würde folgende Vorteile bieten:

1. Die innerhalb der Abriegelung verbleibende 550 ha große aus der Husumer Au und dem Oberlauf der Süderhever bestehende Wasserfläche würde mit der Zeit durch die Binnenwasserzuflüsse ausgesüßt werden und einen wertvollen Süßwasserspeicher bilden.
2. Die Abriegelung würde für die Schifffahrt von und nach Husum günstige Vorbedingungen schaffen, wengleich auch außerhalb der Abriegelung mit einer Verschlickung gerechnet werden muß.
3. Die zu verteidigende Deichlänge würde durch die Abriegelung der Husumer Bucht um rund 17 km verkürzt. Insbesondere würde eine Verstärkung des gefährdeten Dockkoogdeichs in Fortfall kommen. Ferner bedeutet die Abriegelung der inneren Husumer Bucht auf weite Sicht eine Schwächung der Angriffskraft der Gezeiten und damit eine Verminderung des Angriffs auf die Küste.

Demgegenüber stehen folgende Nachteile:

1. Die Abriegelung der oberen Süderhever ist technisch schwierig, weil beträchtliche Tiefen zu überwinden sind; sie zwingt ferner zu einer Verstärkung der Seedeiche seewärts des neuen Dammes, sowohl auf der Nordstrander wie auf der Eiderstedter Seite. (Dieser Nachteil könnte für den Fortfall längerer Deichstrecken innerhalb der Abriegelung in Kauf genommen werden.)

2. Die mit der Abriegelung verbundene Abschließung des Husumer Hafens wird wahrscheinlich zum Bau einer Schifffahrtsschleuse zwingen, die zwar Vorteile mit sich bringt, aber auch einschneidende Maßnahmen für die Schifffahrt erfordert. Im einzelnen sind die Vor- und Nachteile für die Schifffahrt nicht untersucht. Bei der gegenwärtigen Bedeutung des Husumer Hafens und seinen heute übersehbaren Entwicklungsaussichten erscheinen so große Aufwendungen, wie sie durch eine Abriegelung der inneren Husumer Bucht notwendig würden, noch nicht gerechtfertigt.
3. Besonders dann, wenn der durch die Schleuse und den Damm gehaltene Binnen-Wasserspiegel zur Vermeidung größerer baulicher Änderung der Husumer Hafenanlagen nicht zu tief abgesenkt werden darf, wird die Vorflut für die in die äußere Husumer Au mündenden Wasserläufe zum Teil auf künstliche Entwässerung umgestellt werden müssen.

Die bodenkundlich-landwirtschaftliche Betrachtung der durch diese Deichlinie eingefassten Fläche zeigt, daß der weitaus größte Teil des über die Pohnsbucht hinaus erfaßten Watts zur Zeit noch nicht für eine landwirtschaftliche Nutzung geeignet ist. Von der Gesamtfläche innerhalb dieser Linie entfallen etwa 550 ha auf bleibende Wasserflächen (Gelände unter — 2,00 NN). Von den verbleibenden 3000 ha Watt würden insgesamt einschließlich kleiner aus betriebswirtschaftlichen Gründen einzubeziehender sandiger Flächen höchstens 1000 ha landwirtschaftlich nutzbaren Boden darstellen. Demnach ist die Eindeichung Nordstrand-Simonsberg landwirtschaftlich nicht zu verantworten; vielmehr muß empfohlen werden, die weitere Aufschlickung in der inneren Husumer Bucht im natürlichen Gezeitenablauf zu fördern und zu gegebener Zeit diejenigen Flächen einzudeichen, die eine zusammenhängende ausreichende Schlickdecke tragen.

Die Abwägung der Vor- und Nachteile und eine überschlägliche kostenmäßige Untersuchung lassen erkennen, daß eine Abriegelung der inneren Husumer Bucht trotz ihrer Bedeutung für den Küstenschutz noch nicht so dringlich ist, um die damit verbundenen nachteiligen Folgen und die hohen Geldaufwendungen verantworten zu können.

Nach diesen Ausführungen kann man noch weniger daran denken, die Abriegelung Nordstrand-Simonsberg zur Gewinnung geeigneter nutzbarer Flächen weiter nach See zu, etwa bis zur Linie Nordstrand-Norderhever Koog vorzuschieben. Die dadurch zusätzlich gewonnenen Wattflächen sind noch nicht genügend aufgeschlickt und daher landwirtschaftlich unbrauchbar.

V. Zusammenfassung

Die „Gedanken zur Generalplanung im nordfriesischen Wattenmeer“ geben einen kurzen Abriß der in fünfjähriger Untersuchungs- und Forschungstätigkeit von 1936 bis 1940 durch eine Gemeinschaft von Ingenieuren und Wissenschaftlern erarbeiteten Planungsgrundlagen für wichtige Elemente des Küstenschutzes, der Landgewinnung und der Wasserwirtschaft in Nordfriesland.

Der erste Abschnitt, der den Planungsraum und wichtige Unterscheidungsmerkmale im Vergleich mit der übrigen deutschen Nordseeküste beschreibt, gibt einen Überblick über die Untersuchungen, die zum erstenmal in der Küstenforschung ein klares Bild über die Wattform, den Wattaufbau, die gestaltenden Kräfte und den Entwicklungsvorgang bis zur Gegenwart geliefert haben. — Auf diese Erkenntnisse gestützt, werden die technischen Mittel und ihre Wirkungsweise behandelt, die zur Sicherung des Raumes im großen Rahmen und auf lange Sicht geeignet erscheinen. Neben den Dammbauten zur Aufgliederung des Wattenraums

und der klassischen Landgewinnung wird erstmals die Bedeichung großer Wattgebiete als Mittel zur Sicherung der Küste, zur Landgewinnung und zur Verbesserung der Wasserwirtschaft der alten nordfriesischen Marschen eingehender behandelt.

Die Möglichkeiten zur Anwendung dieser technischen Mittel werden sodann in einem weiteren Abschnitt auf die drei großen Wattstrom-Einzugsgebiete (Planungsräume) Hörnum-Tief—Norderau, Süderau—Norderhever und Süderhever untersucht, wobei der mittlere Abschnitt (Süderau—Norderhever) als der zur Zeit gefahrvollste den größten Raum einnimmt. In diesem Raum kann die Gefahr durch Dammbauten und Wattbedeichung, die etwa 10 000 ha umfassen würde, allmählich gebannt werden. Zugleich läßt sich mit Hilfe der Wattbedeichung eine dauerhafte Küstenlinie und eine durchgreifende Verbesserung der Wasserwirtschaft in Nordfriesland erreichen.

Wie die Ausführungen im ersten Teil dieses Berichts erkennen lassen, hat der zweite Weltkrieg die Arbeiten der Wattforschung auf halbem Wege unterbrochen. Ihre Weiterführung und Vollendung ist zwingend notwendig, nicht nur um das ganze Ausmaß der Gefahren in diesem Küstenabschnitt deutlich werden zu lassen, sondern auch um endgültig den Plan für eine Sicherung der Küste und der Wasserwirtschaft aufstellen und durchführen zu können.

Möchten diese aus der Sorge um unsere nordfriesische Heimat erwachsenen Gedanken Gemeingut aller Nordfriesen und auch derjenigen Stellen werden, die über die Sicherheit dieses Raumes zu entscheiden haben.

VI. Schriftenverzeichnis

1. BANTELMANN, A.: Das nordfriesische Wattenmeer, eine Kulturlandschaft der Vergangenheit. Westküste 2, 1, 1939.
2. BOTHMANN, W.: Bedeutung der Arbeitsaufgaben in den Marschen und Wege zu ihrer Durchführung. 2. Denkschr. Marschenverb. S.-H. Husum, 1932.
3. BROCKMANN, Chr.: Diatomeen-Untersuchungen im nordfriesischen Wattenmeer (siehe Anhang S. 46, Nr. 118). 1937—43.
4. DELFF, Chr.: Woher stammt der neuauflandende Boden im Wattenmeer? Jb. Nordfr. Ver. 20, 1933.
5. DELFF, Chr.: Nordfrieslands Werden und Vergehen. Nordelbingen 10, 1934.
6. DITTMER, E.: Schichtenaufbau und Entwicklungsgeschichte des Dithmarscher Alluviums. Westküste 1, 2, 1938.
7. DITTMER, E.: Neue Ergebnisse zur Erforschung des nordfriesischen Eems. Forsch. u. Fortschritte 17, 3, 1941.
8. DIX, W.: Denkschrift über die Eindeichung des schleswig-holsteinischen Wattenmeeres. Manuskript. 1927.
9. ERNST, O.: Die geologischen Aufgaben in Nordfriesland im Rahmen der Wattforschung. Jahrb. Nordfriesland 23, 1936.
10. FISCHER, O.: Landgewinnung und Landerhaltung in Schleswig-Holstein. I. Sonderprobleme des Küstenraumes. Berlin, 1955.
11. FRANZIUS, O.: Landgewinnung und Küstenströmung. 1. Denkschr. Marschenverb. S.-H. Husum, 1932.
12. HABERSTROH, E. G.: Forschungsarbeiten im Dithmarscher Wattenmeer. Westküste 1, 2, 1938.
13. HERRMANN, F.: Über den physikalischen und chemischen Aufbau von Marschböden und Watten verschiedenen Alters. Westküste, Kriegsheft, 1943.
14. IWERSEN, J.: Zur bodenkundlichen Kartierung des nordfriesischen Wattgebiets. Westküste, Kriegsheft, 1943.
15. KREY, H. D.: Das Wattengebiet, die Marschen und Halligen an der schleswig-holsteinischen Westküste. Zentralbl. Bauverw. 89, 93, 96, 1918.
16. LORENZEN, J. M.: Entwicklung und Aufgaben der Selbstverwaltung im Deich- und Wasserwesen der Marschen Schleswig-Holsteins. 2. Denkschr. Marschenverb. S.-H. Husum, 1932.
17. LORENZEN, J. M.: Die Wattforschung als Grundlage der Landgewinnung. Jahrb. Nordfriesland 23, 1936.

18. LORENZEN, J. M.: Landeskultur-Aufgaben an der schleswig-holsteinischen Westküste. VDI-Zeitschrift 81, 26, 1937.
19. LORENZEN, J. M.: Planung und Forschung im Gebiet der schleswig-holsteinischen Westküste. Westküste 1, 1, 1938.
20. LORENZEN, J. M.: Der Ausschuß für Untersuchungen an der schleswig-holsteinischen Westküste beim Oberpräsidium in Kiel. Westküste 2, 2/3, 1940.
21. LORENZEN, J. M.: Generalplanung Nordfriesisches Wattenmeer. Erläuterungsbericht. Kiel 1940.
22. MARSCHENVERBAND SCHLESWIG-HOLSTEIN: Die Bedeutung der Ausführung landeskultureller Aufgaben in den Marschen Schleswig-Holsteins, 2. Denkschrift, 1932.
23. OSTENDORFF, E.: Die Grund- und Bodenverhältnisse der Watten zwischen Sylt und Eiderstedt. Westküste, Kriegsheft, 1943.
24. 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, Bibliothek MBA Husum — Forschungsstelle Westküste.
25. PFEIFFER, H.: Die Arbeiten an der schleswig-holsteinischen Westküste seit 1933. Westküste 1, 1, 1938.
26. PLATH, M.: Die biologische Bestandsaufnahme als Verfahren zur Kennzeichnung der Wattedimente und die Kartierung der nordfriesischen Watten. Westküste, Kriegsheft, 1943.
27. SCHELLING, H.: Wattforschung in Nordfriesland. Jahrb. Nordfriesland 23, 1936.
28. WEINOLDT, E.: Der Eiderplan als Gesamtaufgabe. Westküste 1, 3, 1939.
29. WOHLBERG, E.: Biologische Landgewinnungsarbeiten im Wattenmeer. Der Biologe 3, 7, 1934.
30. WOHLBERG, E.: Biologische Forschung und Praxis an der Westküste. Jahrb. Nordfriesland 23, 1936.
31. WOHLBERG, E.: Die Wattenmeer-Lebensgemeinschaften im Königshafen von Sylt. Helgol. Wiss. Meeresunters. I, 1937.
32. WOHLBERG, E.: Biologische Kulturmaßnahmen mit dem Queller (*Salicornia herbacea* L.) zur Landgewinnung im Wattenmeer. Westküste 1, 2, 1938.
33. WOHLBERG, E.: Unsere jungen Köge. Meyns Schleswig-Holsteinischer Hauskalender 1939.
34. ZAUSIG, F.: Veränderungen der Küsten, Sände, Tiefs und Watten der Gewässer um Sylt (Nordsee) nach alten Seekarten, Seehandbüchern und Landkarten seit 1585. Geol. d. Meere u. Binnengew. 3, 4, 1939.

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

35. DECHEND, W.: Mineralogische Untersuchungen zur Lösung der Frage nach der Herkunft, Wanderung und Ablagerung der Aufbaustoffe zur Landgewinnung im Watt Nordfrieslands. Oktober 1939.
36. DITTMER, E.: Übersicht über den geologischen Aufbau und die Entwicklungsgeschichte des nordfriesischen Halliggebietes. Dezember 1936.
37. ERNST, O.: Der Schichtenaufbau und die Entwicklungsgeschichte des Wattgebiets zwischen dem nordfriesischen Festland bei Bongsiel und der Insel Pellworm.
38. IWERSEN, J.: Stellungnahme zum Deichbau und Versuchskoog im Wattgebiet vor Klanxbüll. Dezember 1936.
39. IWERSEN, J. und WOHLBERG, E.: Versuchskoog am Hindenburgdamm. Juni 1937.
40. OSTENDORFF, E.: Bericht über die Watten- (und Boden-)aufnahme am Hindenburgdamm. September 1937.
41. PETERSEN, M.: Sinkstoffgruppenmessung in der Norder Hever 1937. Bericht 1941.
42. WOHLBERG, E.: Zusammenstellung einiger Punkte zur Begründung der Frühbedeichung des Verlandungsgebietes am Hindenburgdamm. Dezember 1936.
43. WOHLBERG, E.: Bericht über die Anlandung nördlich und südlich des Hindenburgdamms nach den Herbst- und Winterfluten 1936/37. Juli 1937.

VII. Anhang

Verzeichnis der aus dem Aufgabenbereich der Westküstenforschung
hervorgegangenen Arbeitsberichte und Veröffentlichungen*)
1934 bis 1956

Arbeitsgebiet	Berichts-Nr.	Seite
I. Allgemeine Forschungsaufgaben	1 bis 14	42
II. Küstenschutz, Landgewinnung und Deichbau	15 bis 28	42
III. Vermessung, Peilung und Luftbild	29 bis 35	43
IV. Hydrologie, Sinkstoffe und Sedimente	36 bis 55	43
V. Geologie und Morphologie	56 bis 102	44
VI. Biologie der Watten, Marschen und Deiche	103 bis 144	45
VII. Landwirtschaft und Bodenkunde	145 bis 179	47

I. Allgemeine Forschungsaufgaben

1. 1934 WASSERBAUAMT HUSUM: Kostenanschlag betr. Untersuchungen an der schleswig-holsteinischen Westküste. Bericht durch Kriegseinwirkung verloren.
2. 1935 FORSCHUNGSSTELLE HUSUM: Die Arbeit der staatlichen Forschungsstellen an der schleswig-holsteinischen Westküste 1935/36.
3. 1936 LORENZEN, J. M.: Die Wattforschung als Grundlage der Landgewinnung. Jahrb. Nordfriesland Bd. 23, 1936.
4. 1936 SCHELLING, H.: Wattforschung in Nordfriesland. Jahrb. Nordfriesland Bd. 23, 1936.
5. 1937 LORENZEN, J. M.: Arbeitsplan der Auswertung. Bericht durch Kriegseinwirkung verloren.
6. 1938 LORENZEN, J. M. und HABERSTROH, G.: Arbeitsplan für die Untersuchungen an der Westküste im Rechnungsjahr 1938.
7. 1938 LORENZEN, J. M.: Planung und Forschung im Gebiet der schleswig-holsteinischen Westküste. Westküste I, 1, 1938.
8. 1938 KOLUMBE, E.: Wissenschaft und Landgewinnungsarbeit. Westküste I, 1, 1938.
9. 1939 HABERSTROH, G.: Forschungsarbeiten im Dithmarscher Wattenmeer. Westküste I, 2, 1938.
10. 1939 LORENZEN, J. M. und HABERSTROH, G.: Arbeitsplan für die Untersuchungen an der Westküste im Rechnungsjahr 1939.
11. 1940 LORENZEN, J. M.: Arbeitsplan 1940 für die Untersuchungen an der schleswig-holsteinischen Westküste.
12. 1940 LORENZEN, J. M.: Der Ausschuß für Untersuchungen an der schleswig-holsteinischen Westküste beim Oberpräsidium in Kiel. Westküste II, 2/3, 1940.
13. 1941 LORENZEN, J. M. und HABERSTROH, G.: Arbeitsplan 1941 für die Untersuchungen an der Westküste.
14. 1955 GAYE, J.: Die deutsche Küstenforschung und der Seewasserbau. Die Küste III, 1/2, 1955.

II. Küstenschutz, Landgewinnung und Deichbau

15. 1936 VERSUCHSANSTALT FÜR WASSERBAU U. SCHIFFBAU, Berlin: Bericht über die Modellversuche für die Abdämmung der Eider bei Nordfeld.
16. 1938 HUNDT, C.: Bisherige Untersuchungsergebnisse über die Ursachen des Küstenabbruchs am Ellenbogen auf Sylt.
17. 1938 PFEIFFER, H.: Die Arbeiten an der schleswig-holsteinischen Westküste seit 1933. Westküste I, 1, 1938.
18. 1939 HUNDT, C.: Die Abbruchursachen an der Nordwestküste des Ellenbogens auf Sylt und die Folgerungen für die Sicherung dieser Küstenstrecke.

* Bei allen Berichten ohne Angabe einer Zeitschrift handelt es sich um unveröffentlichte Berichte.

19. 1940 GRUND, E.: Dr. Eugen Träger, ein Vorkämpfer für die Erhaltung der Halligen und die Landeskulturarbeiten an der schleswig-holsteinischen Westküste. Westküste II, 2/3, 1940.
20. 1940 LORENZEN, J. M.: Generalplanung Nordfriesisches Wattenmeer.
21. 1955 LORENZEN, J. M.: Hundert Jahre Küstenschutz an der Nordsee. Die Küste III, 1/2, 1955.
22. 1955 HUNDT, C.: Maßgebende Sturmfluthöhen für das Deichbestick der schleswig-holsteinischen Westküste. Die Küste III, 1/2, 1955.
23. 1955 PETERSEN, M.: Über die Grundlagen zur Bemessung der schleswig-holsteinischen Landeschutzdeiche. Die Küste III, 1/2, 1955.
24. 1955 DITTMER, E.: Deichverstärkung und Baugrund. Die Küste III, 1/2, 1955.
25. 1955 WOHLBERG, E. und SNUIS, H.: Anwachs, Landgewinnung und Deichbau in Nordfriesland. Schriften d. Nissenhauses Nr. 3, 1955.
26. — OBERPRÄSIDENT: Landgewinnung an der Westküste von Schleswig-Holstein. Vorbericht mit Anlagen.
27. — OBERPRÄSIDENT: Die Landgewinnung und ihre wirtschaftliche Bedeutung für Küstenschutz, Siedlung und Arbeitsbeschaffung an der schleswig-holsteinischen Westküste.
28. — OBERPRÄSIDENT: Küstenschutz-, Landgewinnungs- und Binnenaufgaben an der schleswig-holsteinischen Westküste. Ergänzung zum Zehnjahresplan.

III. Vermessung, Peilung und Luftbild

29. 1937 ELY, W.: Erläuterungsbericht über die Untersuchungen im Dammbaugebiet Friedrichskoogspitze 1935—1937.
30. 1937 ELY, W.: Referat über die Veränderungen im Raum von Trischen.
31. 1937 NIEMEYER, W.: Allgemeine Auswertung der Luftbildkarten des nordfriesischen Wattengebietes.
32. 1939 SCHELLING, H.: Vermessungen durch Nivellement und Peilungen, Teil I.
33. 1939 SCHELLING, H.: Vermessung durch Nivellement und Peilungen im Arbeitsgebiet der Forschungsabteilung Husum, Teil II.
34. 1939 SCHELLING, H.: Festpunktverzeichnis für die Vermessungen durch Nivellement und Peilungen.
35. 1940 LORENZEN, J. M. und SCHELLING, H.: Arbeitsbericht über die Luftbilddaufnahmen vom Wattengebiet vor der Westküste Schleswig-Holsteins.

IV. Hydrologie, Sinkstoffe und Sedimente

36. 1935 WOHLBERG, E.: Wasser- und Strömungsuntersuchungen für die geplante Schollenhälterungsanlage in der Norder-Piep bei Büsum.
37. 1936 HABERSTROH, E. G.: Außeneider: Ergebnisse der Watt-, Wasserstands- und Strommessung.
38. 1937 WOHLBERG, E.: Anlandungen nördlich und südlich des Hindenburgdammes nach den Herbst- und Winterfluten 1936/37.
39. 1937 ELY, W.: Untersuchungen im Dammbaugebiet Friedrichskoogspitze 1935—1937.
40. 1938 ELY, W.: Arbeitsbericht über die Untersuchungen an der schleswig-holsteinischen Westküste — Die Strommessungen — Juli 1938. Bericht durch Kriegseinwirkung verloren.
41. 1938 PLATH, M.: Sinkstoffuntersuchungen am Hindenburgdamm.
42. 1938 DITTMER, E.: Die Rotsandfeld-Methode im freien Watt und auf Flugsandplatten.
43. 1938 HUNDT, C.: Die mittlere Windverteilung in Westerland/Sylt 1927/36.
44. 1938 ELY, W.: Bericht über die Sturmflut am 23./24. XI. 1938.
45. 1938 DITTMER, E.: Sinkstoff- und Sandwanderungsmessungen.
46. 1938 ELY, W. und DECHEND, W.: Untersuchungen in den Elbmarschen (Pinnau, Krückau, Pagensander Nebeneibe). Erläuterungsbericht.
47. 1938 ELY, W.: Arbeitsbericht über die Untersuchungen an der schleswig-holsteinischen Westküste. Die Strommessungen.
48. 1938 ELY, W.: Sinkstoffbewegung und Sandwanderung. Unmittelbare Messungen.
49. 1939 PLATH, M.: Bericht über die Kotballenuntersuchungen und -beobachtungen im Sinkstoff des Meerwassers der nordfriesischen Watten 1939.
50. 1941 PETERSEN, M.: Arbeitsbericht über die Untersuchungen an der schleswig-holsteinischen Westküste. Sinkstoffgruppenmessung in der Norder Hever 1937 —.

51. 1941 STEINMETZ: Arbeitsbericht über die Untersuchungen an der schleswig-holsteinischen Westküste. Die Strommessungen im Arbeitsgebiet der Forschungsabteilung Husum.
52. 1941 STEINMETZ: Vorläufiger Arbeitsbericht über die Strommessungen. III. Teil: Die Strommessungen im Arbeitsgebiet der Forschungsabteilung Husum.
53. 1950 WOHLBERG, E.: Der horizontale Wassers schöpfer. DHZ, Band 3, H. 5/6, 1950.
54. 1952 SCHELLING, H.: Die Sturmfluten an der Westküste von Schleswig-Holstein unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse am Pegel Husum. Die Küste I, 1, 1952.
55. 1955 KÖRNER, B.: Die Sinkstoffe der Küstengewässer. Ein Überblick über den Stand der Forschung. Die Küste IV, 1955.

V. Geologie und Morphologie

56. 1935 WOHLBERG, E.: Geologische Untersuchungen im Wattenmeer.
57. 1935 SOLGER, F.: Der Damm nach Trischen und die geologische Erforschung des Büsumer Wattengebietes.
58. 1935 KOLUMBE, E.: Arbeitsbericht über die Untersuchungen an der schleswig-holsteinischen Westküste — Finkhaus- und Padelakshallig.
59. 1936 ERNST, O.: Ein Bodenschnitt durch den „Wikinger-Hafen“ bei Goting/Föhr.
60. 1936 ERNST, O.: Die geologischen Aufgaben in Nordfriesland im Rahmen der Wattforschung. Jahrb. Nordfriesland Bd. 23, 1936.
61. 1936 BECKER, W. und THIELE, S.: Geologischer Bericht über die Untersuchungen im Gebiete der Rantumer Bucht.
62. 1937 BURCK: Warfenkartierung.
63. 1937 GRIPP, K. und SIMON, W. G.: Die Ergebnisse von Bohrungen auf Listland, bei Rantum und Keitum 1937.
64. 1937 ERNST, O.: Alluvialprofil von Husum-Rödemis durch die Südermarsch und Padelakshallig.
65. 1937 DITTMER, E.: Geologischer Arbeitsbericht. Untersuchungen in Dithmarschen und Eiderstedt.
66. 1937 DITTMER, E.: Die geologischen Verhältnisse im Dammbaugebiet Friedrichskoogspitze vor und nach der Abdämmung des Nordfelder Prieles. Bericht durch Kriegseinwirkung verloren.
67. 1937 DITTMER, E.: Erster Beitrag zur Geologie Eiderstedts. Ergänzung. Bericht durch Kriegseinwirkung verloren.
68. 1938 DITTMER, E.: Schichtenaufbau und Entwicklungsgeschichte des Dithmarscher Alluviums. Westküste I, 2, 1938.
69. 1938 DITTMER, E.: Das Alluvium der schleswig-holsteinischen Westküste. Teil I: Das Alluvium Dithmarschens. Teil II: Erster Beitrag zur Geologie Eiderstedts. Teil III: Der geologische Aufbau des nördlichsten Dithmarschen und östlichen Eiderstedt.
70. 1938 DITTMER, E.: Geologischer Arbeitsbericht. Die Sedimente des Dithmarscher Alluviums.
71. 1938 DITTMER, E. und SCHÜTRUMPF, R.: Pollenanalytische Untersuchungen im Dithmarscher Alluvium.
72. 1938 DITTMER, E.: Geologische Betrachtungen zur Erhaltung der Insel Trischen.
73. 1938 DITTMER, E.: Geologischer Teilbericht III. Das Alluvium der schleswig-holsteinischen Westküste.
74. 1938 BANTELMANN, A.: Arbeitsbericht über die Aufnahme und Deutung der Kulturspuren, ein Beitrag zur jüngeren erdgeschichtlichen Entwicklung im nordfriesischen Wattenmeer, aufgenommen 1937 und 1938. Bericht durch Kriegseinwirkung verloren.
75. 1938 BECKER, W.: Geologischer Schlußbericht über die Untersuchungen im Gebiet der Rantumer Bucht. Bericht durch Kriegseinwirkung verloren.
76. 1938 SIMON, W. G.: Beitrag zur Erdgeschichte Nordfrieslands auf Grund der Tiefbohrungen im Watt 1937.
77. 1938 BANTELMANN, A.: Die Kulturspuren und der Torfhorizont im nordfriesischen Wattenmeer, I. Teil.
78. 1939 BANTELMANN, A.: Das nordfriesische Wattenmeer, eine Kulturlandschaft der Vergangenheit. Westküste II, 1, 1939.
79. 1939 DITTMER, E.: Zur Verbreitung altinterglazialer Meeresablagerungen in Nordfriesland. Westküste II, 1, 1939.

80. 1939 ERNST, O.: Der Schichtenaufbau und die Entwicklungsgeschichte des Wattengebietes zwischen dem nordfriesischen Festland bei Bongsiel und der Insel Pellworm.
81. 1939 DECHEND, W.: Mineralogische Untersuchungen zur Lösung der Frage nach Herkunft, Wanderung und Ablagerung der Aufbaustoffe zur Landgewinnung im Watt Nordfrieslands.
82. 1939 DITTMER, E.: Baugrunduntersuchungen für das Großschöpfwerk Bongsiel.
83. 1939 DITTMER, E.: Die Grundwasserverhältnisse in der nordfriesischen Marsch und die Gefahr der Versalzung der Niederungen.
84. 1939 DITTMER, E.: Untersuchungen über den geologischen Aufbau und die Entstehungsgeschichte der Halbinsel Eiderstedt.
85. 1939 DITTMER, E.: Übersicht über den geologischen Aufbau und die Entwicklungsgeschichte des nordfriesischen Halliggebietes.
86. 1939 DITTMER, E.: Einrichtung einer Bohrsammelstelle in Husum. Westküste II, 1, 1939.
87. 1940 DITTMER, E.: Aufgabe und Einrichtung des geologischen Laboratoriums.
88. 1940 DITTMER, E.: Übersicht über den geologischen Aufbau von Süd-Sylt.
89. 1940 GRIPP, K. und BECKER, W.: Untersuchungen über den Aufbau und die Entstehung der Insel Sylt, II. Mittel-Sylt. Westküste II, 2/3, 1940.
90. 1940 GRIPP, K. und SIMON, W. G.: Untersuchungen über den Aufbau und die Entstehung der Insel Sylt, I. Nord-Sylt. Westküste II, 2/3, 1940.
91. 1941 DITTMER, E.: Das nordfriesische Eem. Kieler Meeressforschungen Band V, H. 1, 1941.
92. 1941 DITTMER, E.: Neue Ergebnisse zur Erforschung des nordfriesischen Eems. Forsch. u. Fortschr. 17, 3, 1941.
93. 1942 GEHRKE, K.: Aufnahmebericht zur geologischen Kartierung des nordfriesischen Grenzgebietes für den Maßstab 1:100 000.
94. 1948 DITTMER, E.: Die Küstensenkung an der schleswig-holsteinischen Westküste. Forsch. u. Fortschr. 24, 17/18, 1948.
95. 1950 WOHLBERG, E.: Entstehung und Untergang der Insel Trischen. Mitt. Geogr. Gesellsch. Hamburg, Band XLIX, 1950.
96. 1951 DITTMER, E.: Das Eem des Treenetales. Schriften Naturw. Ver. S.-H. — Karl-Gripp-Festschrift 1951.
97. 1952 DITTMER, E.: Die nacheiszeitliche Entwicklung der schleswig-holsteinischen Westküste. Meyniana Bd. 1, 1952.
98. 1953 DITTMER, E.: Zur Geologie und Bedeichungsgeschichte der Finkhaushallig. Die Küste II, 1, 1953.
99. 1953 DITTMER, E.: Die Grundwasserverhältnisse der schleswig-holsteinischen Marschen und deren Versalzung.
100. 1954 DITTMER, E.: Zur Geschichte der Landschaft und der Warften Nordfrieslands. Jaarverslag v. d. Vereeniging v. Terponderzoek, 1954.
101. 1954 DITTMER, E.: Der Mensch als geologischer Faktor an der Nordseeküste. Eiszeitalter u. Gegenwart Bd. 4/5, 1954.
102. 1955 WOHLBERG, E.: Das Watt schreibt unsere Geschichte. Ostfriesland H. 3, 1955.

VI. Biologie der Watten, Marschen und Deiche

103. 1934 WOHLBERG, E.: Bericht über die erstmalige Queller- (*Salicornia*-)Ernte, Herbst 1934.
104. 1934 WOHLBERG, E.: *Spartina*-Pflanzung Trischen und die erstmalige Ernte von *Spartina*-Ähren für Ansaatversuche 1935.
105. 1935 WOHLBERG, E.: Biologischer Arbeitsbericht für das Jahr 1935.
106. 1935 WOHLBERG, E.: Beobachtungen über das Seegras, *Zostera marina* L., und seine Erkrankung im nordfriesischen Wattenmeer. Nordelbingen Band 11, 1935.
107. 1936 WOHLBERG, E.: Biologische Forschung und Praxis an der Westküste. Jahrb. Nordfriesland Bd. 23, 1936.
108. 1936 WOHLBERG, E.: Begründung des Planes für die Eindeichung nicht deichreifen Vorlandes südlich des Hindenburgdammes.
109. 1936 WOHLBERG, E.: Bericht über die am 11. Mai 1936 erfolgte Begehung des Wiedau-Deiches zwischen Aventoft und Verlath.

110. 1936 WOHLBERG, E.: Bericht über die Beschaffenheit der im Gebiet des Deichbaues Nösse auf Sylt vorhandenen Rasensoden.
111. 1936 KÖNIG, D.: Verbreitung von *Suaeda maritima* im Gebiet des Schlickwatts vor dem Wiedinghar der Neuen Koog. Mit Karte 1:10 000.
112. 1937 PLATH, M.: Biologische Übersichtskartierung der nordfriesischen Watten zwischen Eiderstedt und Sylt.
113. 1937 PLATH, M.: Vermerk über die nachträgliche Muschelkartierung im Finkhaushalligkoog im April 1937.
114. 1937 PLATH, M.: Biologische Übersichtskartierung der nordfriesischen Watten zwischen Eiderstedt und Sylt 1937.
115. 1937 KÖNIG, D.: Die biologischen Verhältnisse im Dammbaugebiet Friedrichskoogspitze
116. 1937 WOHLBERG, E.: Vegetations- und bodenkundliche Untersuchungen auf Hallig Hooge.
117. 1937 WOHLBERG, E.: Die Bewuchsverhältnisse des neuen Nösse-Seedeiches im August 1937.
118. 1937/43 BROCKMANN, CHR.: Diatomeen-Untersuchungen im nordfriesischen Wattenmeer. 1. Bohrproben von St. Michaelisdonn. — 2. Bohrung 76 (Probenreihe XXX) auf Gröde (Kirchwarft). — 3. Bohrung P.W.V am Strandley. — 4. Bestandsaufnahme der Wattflora zwischen Sylt und Eiderstedt 1937. — 5. Bereisung des Arbeitsgebietes am 13. Juni 1938. — 6. Bestandsaufnahme der Marner Plate. — 7. Ergebnisse der Wattbereisung an der Westküste vom 1.—8. 9. 1938. — 8. Grabung auf dem Watt nördlich Gröde, 21. 2. 39. — 9. Untersuchung des Dauerprofils Odkholm. — 10. Die Diatomeen in den Bohrungen von Bongsiel (Kolumbe). — 11. Die Diatomeen in den Bohrungen nördlich Föhr (Ernst). — 12. Diatomeen als Leitfossilie in Küstenablagerungen. — 13. Untersuchung des Dauerprofils Odkholm II. — 14. ?? — 15. Diatomeen vom Küstensaum, von der Süderoog-Plate und von der Sandbank St. Peter. — 16. Die Diatomeen in den Salzwiesen am Porrendeich (Ülvesbüll).
119. 1938 WOHLBERG, E.: Biologische Kulturmaßnahmen mit dem Queller (*Salicornia herbacea* L.) zur Landgewinnung im Wattenmeer. Westküste I, 2, 1938.
120. 1938 WOHLBERG, E.: Überschläglicher Vergleich zwischen der biologischen Kartierung (Dr. PLATH) mit der bodenkundlichen Kartierung (Dr. OSTENDORFF).
121. 1938 HERMANN, G.: Pflanzensoziologische Kartierung der Nössemarsch auf Sylt, Sommer 1937.
122. 1938 BECKER: Biologische Kartierung der Nösse-Watten, Herbst 1937. Bericht durch Kriegseinwirkung verloren.
123. 1939 WOHLBERG, E.: Die Nutzenanwendung biologischer Erkenntnisse im Wattenmeer zugunsten der praktischen Landgewinnung an der deutschen Nordseeküste. Rapp. et Proc.-Verb. CIX, 1939.
124. 1939 KOLUMBE, E., LEVSEN, OHLE und UTERMÖHL: Botschlotter-See. Untersuchungen im Oktober 1937.
125. 1940 WOHLBERG, E.: Aufgabe und Einrichtung des biologischen Laboratoriums.
126. 1939 KÖNIG, D.: Die Chromosomenverhältnisse der deutschen Salicornien. Planta 29, 3, 1939.
127. 1940 BROCKMANN, CHR.: Diatomeen als Leitfossilien in Küstenablagerungen. Westküste II, 2/3, 1940.
128. 1941 KÖNIG, D.: Anpflanzungsversuche mit dem Reisgras — *Spartina Townsendii* — bei den Landgewinnungsarbeiten an der Westküste Schleswig-Holsteins.
129. 1941 WOHLBERG, E.: Bericht über die Untersuchungen zum Larvenbefall auf der Hamburger Hallig.
130. 1941 WOHLBERG, E.: Larvenbefall von Grünländereien an der Westküste.
131. 1942 WOHLBERG, E.: Bericht über die Schäden durch die Graseule — Sommer 1942.
132. 1942 LEVSEN, P.: Vegetations- und Grundwasseruntersuchungen im Kleiseerkoog.
133. 1943 KÖNIG, D.: Vergleichende Bestandsaufnahmen an bodenbewohnenden Watt-Tieren im Gebiet des Sicherungsdammes vor dem Friedrichskoog (Süderdithmarschen) in den Jahren 1935—1939. Westküste, Kriegsheft 1943.
134. 1943 PLATH, M.: Die biologische Bestandsaufnahme als Verfahren zur Kennzeichnung der Wattedimente und die Kartierung der nordfriesischen Watten.
135. 1946 KÖNIG, D.: Bericht über die weitere Ausbreitung des Reisgrases (*Spartina Townsendii*) an der gesamten Westküste Schleswig-Holsteins.
136. 1947 HERMANN, G.: Bericht über die Veränderungen der Pflanzendecke im Nösse-Koog im ersten Jahrzehnt nach der Eindeichung.

137. 1948 WOHLBERG, E.: Die Gefährdung einer Halligwarft durch Käferlarven. Verhandl. Dt. Zoologen in Kiel, 1948.
138. 1948 KÖNIG, D.: Über die Wohnweise einiger im Boden lebender Tiere des Wattenmeeres. Verh. Dt. Zoologen in Kiel, 1948.
139. 1948 KÖNIG, D.: *Spartina Townsendii* an der Westküste von Schleswig-Holstein. Planta, Bd. 36, 1948.
140. 1949 KÖNIG, D.: Standortuntersuchungen auf einem Vorlandrasen an der schleswig-holsteinischen Westküste bei Husum. Biol. Zentralblatt, 68. Bd., H. 11/12, 1949.
141. 1949 KÖNIG, D.: Die Ausbreitung des Grases *Spartina Townsendii* an der schleswig-holsteinischen Westküste und ihre Folgen für die Landeskulturarbeiten. Forsch. u. Fortschr. 25, 7/8, 1949.
142. 1952 WOHLBERG, E.: Der Anwachs am Hindenburgdamm.
143. 1953 WOHLBERG, E. und PLATH, M.: Produktionsbiologische Untersuchungen auf eingedeichten Wattflächen. Die Küste II, 1, 1953.
144. 1954 WOHLBERG, E.: Sinkstoff, Sediment und Anwachs am Hindenburgdamm. Die Küste II, 2, 1954.

VII. Landwirtschaft und Bodenkunde

145. 1936 BECKER, W.: Bericht über die Bodenverhältnisse im Watt südlich des Nordstrander Dammes.
146. 1936 IWERSEN, J.: Stellungnahme zum Deichbau und Versuchskoog im Wattengebiet von Klanxbüll.
147. 1936 WOHLBERG, E.: Zusammenstellung einiger Punkte zur Begründung der Frühbedeichung des Verlandungsgebietes am Hindenburgdamm.
148. 1937 IWERSEN, J.: Vorschläge zur Linienführung eines neuen Deiches für den geplanten Wattversuchskoog am Hindenburgdamm.
149. 1937 IWERSEN, J.: Bodenzustand im Hermann-Göring-Koog.
150. 1937 IWERSEN, J.: Das Verfahren der Eiderplanung vom landwirtschaftlichen Gesichtspunkt.
151. 1937 OSTENDORFF, E.: Ergebnisse der bodenkundlichen Kartierungen an der Westküste Schleswig-Holsteins. Spezialkartierung Finkhaushallig. Bericht durch Kriegseinwirkung verloren.
152. 1937 IWERSEN, J.: Bericht über die Methoden der vom landwirtschaftlichen Gesichtspunkt bisher durchgeführten und weiter vorgesehenen Erhebungen und Planungen im Beteiligungsgebiet der Eider.
153. 1937 IWERSEN, J.: Erläuterungsbericht zum „Plan der Neuordnung“ im Nössegebiet auf Sylt. Personen- und Besitzstandsliste der Beispielsgemeinde Tinnum.
154. 1937 OSTENDORFF, E.: Bericht über die Bodenaufnahme von Pellworm/Buphever.
155. 1937 OSTENDORFF, E.: Ergebnisse der bodenkundlichen Kartierungen an der Westküste Schleswig-Holsteins. Spezialkartierung Sylter Südmarsch (Nösse). Bericht durch Kriegseinwirkung verloren.
156. 1937 OSTENDORFF, E.: Bericht über die Bodenaufnahme im Tümlauerkoog, früher Hermann-Göring-Koog.
157. 1937 OSTENDORFF, E.: Bericht über die Watten- (und Boden-)aufnahme am Hindenburgdamm.
158. 1937 HERRMANN, F.: Arbeitsmethoden für Bodenuntersuchungen.
159. 1937 IWERSEN, J. und WOHLBERG, E.: Versuchskoog am Hindenburgdamm.
160. 1938 HERRMANN, F.: Zusammenstellung der Untersuchungsergebnisse der Bodenproben aus den landwirtschaftlichen Wattbohrungen.
161. 1937/38 OSTENDORFF, E.: Erläuterungsbericht zur bodenkundlichen Übersichtskartierung im nordfriesischen Wattenmeer mit Nutzungs- und Wirtschaftskarte. Bericht durch Kriegseinwirkung verloren.
162. 1938 IWERSEN, J.: Ein Verfahren landwirtschaftlicher Planung und betriebswirtschaftlicher Neuordnung eines Meliorationsgebietes. Dargestellt am Beispiel der Eider. Westküste, Sonderheft 1938.
163. 1938 OSTENDORFF, E.: Erläuterungsbericht zur Watt- und Boden-Spezialaufnahme am Hindenburgdamm April—Juni 1938.
164. 1938 NIEMEYER, G.: Entnahme von Oberflächenproben aus den Watten zwischen Eiderstedt und Sylt. Bericht durch Kriegseinwirkung verloren.

165. 1938 HERRMANN, F.: Vergleich der Angaben der Watt- und Bodenkarte (Spezialaufnahme) mit den Untersuchungsergebnissen der landwirtschaftlichen Bohrungen, entnommen im Mai 1938 im Klanxbüll-Watt.
166. 1938 HERRMANN, F.: Untersuchungen über bodenkundliche und landwirtschaftliche Wattbohrungen. Erläuterungsbericht und Pläne. Bericht durch Kriegseinwirkung verloren.
167. 1938 IWERSEN, J.: Kultivierung des Hindenburgwattkoogs. Bericht durch Kriegseinwirkung verloren.
168. 1939 HERRMANN, F.: Bericht über die Besandung im Tümlauer Koog.
169. 1939 IWERSEN, J.: Landwirtschaftliche Planung und betriebswirtschaftliche Neuordnung im Eidergebiet. Westküste I, 3, 1939.
170. 1939 WOHLBERG, E., IWERSEN, J. und HERRMANN, F.: Wattkartierung Nordfrieslands 1937/38. Vergleich der Kartierung Ostendorff mit den analytischen und biologischen Kartierungen.
171. 1939 IWERSEN, J.: Erläuterungsbericht zu den bodenmäßigen und landwirtschaftlich-betriebswirtschaftlichen Planungskarten des nordfriesischen Wattgebietes. Bericht durch Kriegseinwirkung verloren.
172. 1939 HERRMANN, F.: Ergebnis der bodenkundlichen Untersuchung des Watts vor Büsum-Deichhausen.
173. 1940 IWERSEN, J.: Bericht über vierjährige Anbauversuche zum Zwecke der Untersuchung von Kultivierungsversuchen eingedeichter unreifer Wattflächen in der Finkhaushallig.
174. 1940 HERRMANN, F.: Aufgaben und Einrichtung des bodenkundlichen Laboratoriums.
175. 1943 OSTENDORFF, E.: Die Grund- und Bodenverhältnisse der Watten zwischen Sylt und Eiderstedt. Westküste, Kriegsheft 1943.
176. 1943 IWERSEN, J.: Zur bodenkundlichen Kartierung des nordfriesischen Wattgebietes. Westküste, Kriegsheft 1943.
177. 1943 HERRMANN, F.: Über den physikalischen und chemischen Aufbau von Marschböden und Watten verschiedenen Alters. Beitrag zur Frage der Alterung der Marschen. Westküste, Kriegsheft 1943.
178. 1953 IWERSEN, J.: Das Problem der Kultivierung eingedeichter Watten. Die Küste II, 1, 1953.
179. 1955 IWERSEN, J.: Verwertung von Schlick in der Landwirtschaft. Die Küste III, 1/2, 1955.

Die Bekämpfung der Bohrmuschel

Von Adolf Hahn¹⁾

Inhalt

A. Allgemeines	49
Über die Lebensweise der Bohrmuschel	51
B. Vorkommen, Art und Umfang der Schäden an den deutschen Küsten	54
C. Bisherige systematische Untersuchungen über das Vorkommen und über die Schutzmittel	
1. Umfrage der früheren Preußischen Landesanstalt für Wasser-, Boden und Lufthygiene .	55
2. Versuche der ehemaligen Kriegsmarine in Wilhelmshaven	55
3. Versuche des Wasser- und Schiffsamts Tönning mit Tränkungs-salzen	56
D. Zusammenfassende Betrachtung über den Befall mit marinen Holzzerstörern an den deutschen Küsten unter besonderem Hinweis auf die Verhältnisse an der Elbmündung in Cuxhaven	56
E. Schlußfolgerungen aus dem Bilanzbericht	63
F. Versuchsstationen	64
G. Erste Ergebnisse von den Versuchsstationen	65
H. Hydrographische Betrachtungen	69
I. Schlußbetrachtung	70
Schriftenverzeichnis	71

A. Allgemeines

Der Kampf gegen die Bohrmuschel wird uns schon in ältesten Berichten der Kulturvölker überliefert. KLITARCHUS berichtet 325 v. Chr. von einer Expedition nach einer Insel im Roten Meer, wo angeblich eine gegen die Bohrmuschel beständige Holzart gefunden wurde.

Ein in unseren Tagen ausgegrabenes, gut erhaltenes römisches Schiff war durch dünne Blei-Bleche gegen die Bohrmuschel geschützt.

Bei seiner letzten Fahrt nach Amerika im Jahre 1502 verlor KOLUMBUS mehr als vier Korvetten durch die Bohrmuschel; sie mußten auf Strand gesetzt werden und wurden verlassen.

Die Venetier sandten um 1600 eine Abordnung nach China, da nach einem Bericht von MARCO POLO die Chinesen ein abwehrendes Anstrichmittel besitzen sollten. Als die Abordnung nach Jahren zurückkam, brachte sie als Ergebnis die Konstruktion eines doppelten Bodens und einer doppelten Schiffshaut gefüllt mit Salz zurück.

Im Krimkrieg wurden mehr Schiffe durch die Bohrmuschel als durch die russischen Kanonen außer Gefecht gesetzt.

In den Niederlanden mußten im 16. Jahrhundert hölzerne Pfahlkonstruktionen wegen starker Schäden schon nach zwanzig Jahren Gebrauch erneuert werden. Nach 1700 wurden diese Beschädigungen immer größer und nach dem heißen, trockenen Sommer 1730 konnte von einem nationalen Unglück gesprochen werden; der Schaden belief sich auf Millionen. Aus dieser Zeit stammt der Ausdruck „Holland in Not“.

Wasserbaudirektor WOLTMAN, der bedeutendste Wasserbauingenieur Anfang des 19. Jahrhunderts an der Unterelbe, schreibt in seiner 1807 herausgegebenen Beschreibung der „Wasserbauwerke im Amte Ritzebüttel“ wörtlich folgendes:

¹⁾ Nach einem Vortrag auf der 2. Arbeitstagung des Küstenausschusses Nord- und Ostsee am 8. Mai 1956 in Kiel. Grundlage dieses Vortrages ist der Bilanzbericht der Arbeitsgruppe „Bekämpfung der Bohrmuschel“ im Küstenausschuß Nord- und Ostsee (vgl. S. 63).

„Dies sind denn sämtliche zur Befestigung, zum Schutz und zur Bequemlichkeit des Hafens angelegte Werke, die zum größten Teil Rammwerke sind und nicht wohl anders sein können, weil die steinernen Werke zum Anlegen der Schiffe in einem offenen Hafen doch mit Pfahlwerken müßten umgeben werden. Ihr größter Feind ist der Bohrwurm, welcher alle Holzwerke im Wasser zu Cuxhaven angreift und vor der Zeit zerstört. Alles, was man zur Präcaution dagegen bisher dienlich erfunden hat, ist, daß man junges saftiges Holz nimmt; daß man soviel tunlich die Pfähle separirt, damit das Eis sie jeden Winter rund herum abscheure, und wo dies nicht tunlich, sie mit Schrapen reinige. Man hat auch Pfähle mit Blei gekleidet, welches aber wegen des Eisstoßes nicht dauerhaft erfunden ist.“

Über die 1792 erbaute Spülschleuse schreibt WOLTMAN:

„Aber der Wurmfräß, welcher vorzüglich die Bohlen ruiniert, läßt schwerlich ein hohes Alter derselben erwarten. Der Gerinneboden hat schon zweimal erneuert werden müssen, und am Schleusen-



Abb. 1. Holländisches Flugblatt von 1733

boden, der gleich anfangs mit einer Wurmhaut versehen worden, ist diese Haut auch schon einmal erneuert worden. Die Dielen, in Sonderheit, wenn sie trocken eingelegt worden, werden nämlich in ein paar Jahren vom Bohrwurm so durchlöchert, daß sie im Bruche wie Bienenzellen aussehen, und werden dann so mürbe, daß sie kaum einen Fußtritt noch aushalten können, weshalb alsdann Eis und Strom Löcher darin machen, und ganze Stücke herauswerfen.“

Aus den vielen Berichten der neueren Zeit erwähne ich, daß 1920/21 allein in der Bucht von San Francisco durch die Bohrmuschel Brücken und Schuppen im Werte von 15 Millionen Dollar verlorengingen, daß im Marsdiep und vor Ameland Senkstücke in 35 m Tiefe angegriffen wurden und im Mittelmeer ein Telegrafenkabel in 3000 m Tiefe völlig vernichtet wurde; nur der Metallkern war intakt. FR. HORONJEFF, Houston, Texas, schreibt, daß sich im Jahre 1949 die Schäden auf 100 Millionen Dollar beliefen. Das „Büro of Yards and Docks“ U. S. Navy, hat über Fälle berichtet, wo frische Holzpfähle bis zu 16 Zoll Durchmesser in sechs Monaten zerstört wurden.

Captain E. JOHN LONG, U. S. Naval Reserve, schreibt im Februar 1951 in den „United States Naval Institute Proceedings“:

„Was die Leistungen im Versenken von Schiffen betrifft, so sind sowohl weltberühmte Seehelden, wie Drake, Nelson, Graf Luckner, als auch die deutsche Unterseebootflotte des 2. Weltkrieges Nichtskönner im Vergleich zu einer kleinen Gruppe von Meeresschädlingen, die einen systematischen Zerstörungsfeldzug gegen alles Menschenwerk führen, seit dem ersten Tage, da der Mensch begann, die See zu befahren.

Kein hölzerner Gegenstand ist vor den Verwüstungen durch diese verruchte Bande sicher.

Genau wie in Mark Twains Geschichte vom Wetter beklagt sich jeder über die Schiffswürmer, aber niemand unternimmt etwas gegen sie, d. h. niemand ist bisher einem Übel systematisch zu Leibe gegangen, das mehr Schiffe gekostet hat als irgendeine feindliche Flotte, und welches heute einen zusätzlichen Schaden von Hunderten Millionen von Dollar an Hafenanlagen, Molen, Schleusen, Docks, Dalben, Brücken, Baken, Schwimffendern und anderen hölzernen Wasserbauten verursacht.“

Über die Lebensweise der Bohrmuschel

Bevor auf die besonderen Verhältnisse an den deutschen Küsten eingegangen wird, sei einiges über die Lebensweise, Entwicklung und das Aussehen der hauptsächlichsten Schädlinge gesagt:

Der in der Abbildung 2 dargestellte langgestreckte, regenwurmähnliche Schädling ist der in unserem Gebiet am weitesten verbreitete und der gefährlichste, im Volksmund „Bohrwurm“

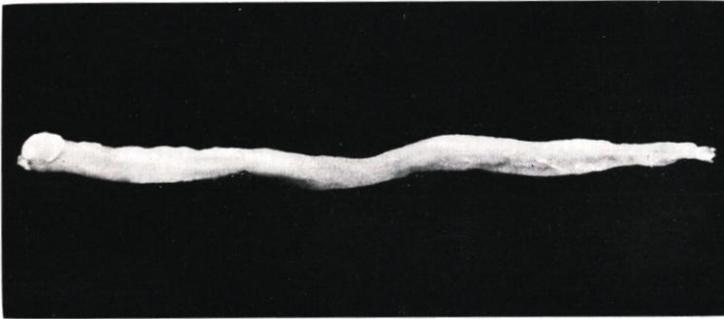


Abb. 2. Aus der Kalkröhre herausgenommene Bohrmuschel. Links Vorderende mit Bohrschalen, rechts Hinterende mit Paletten und eingezogenen Syphonen

genannt. Er ist jedoch kein Wurm, sondern eine echte Muschel, wenn auch seine Lebensweise von der der übrigen Muscheln erheblich abweicht.

Die bei uns beheimatete Bohrmuschel, *Teredo navalis*, ist eine der mehr als 100 Teredinen-Arten, von denen die meisten in den tropischen Gewässern leben. Die sonst so charakteristischen Kennzeichen der Muscheln, die den Weichkörper umgebenden Schalen, sind hier stark zurückgebildet. Sie sind nur noch als Fragmente am Kopfende vorhanden und zu Bohrwerkzeugen ausgebildet. Der langgestreckte Weichkörper, der eine Länge von 15 bis 20 cm erreicht, sitzt geschützt in der selbstgebohrten Röhre, die zum Schutz der zarten Haut mit einer von dem Tier abgesonderten Kalkschicht ausgekleidet ist (Abb. 3). In der Nähe der Holzoberfläche ist die Bohrmuschel festgewachsen; sie kann daher auch ihr selbstgebautes Haus, die Röhre im Innern des Holzes, niemals mehr im Leben verlassen. Sie wächst nach vorn in dem Maße, wie sie sich im Holz weiterfrißt. Der Weichkörper wird nach dem Hinterende schmaler und teilt sich in zwei dünne bewegliche Röhren, die — Syphonen genannt — in das freie Wasser hinausragen. Mit ihnen kann das Tier atmen; sie dienen außerdem der Fortpflanzung, zur Nahrungsaufnahme und zur Ausscheidung der Exkremente (Abb. 4). Neben den Syphonen befinden sich am Hinterende noch zwei Kalkstücke, die sogenannten

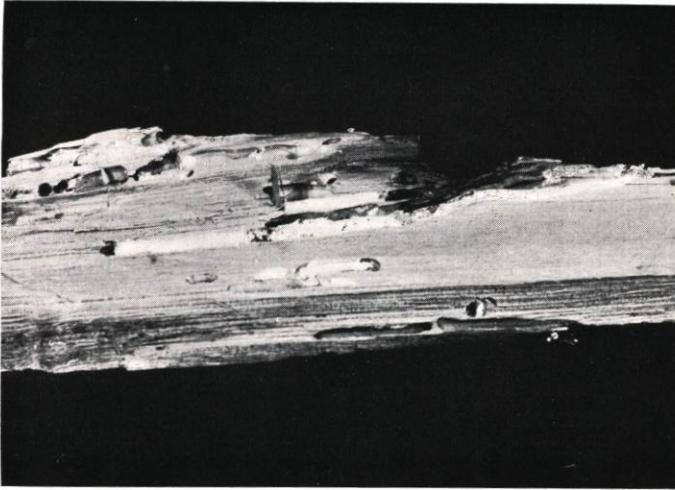


Abb. 3. Mit einer Kalkschicht ausgekleidete Bohrgänge



Abb. 4. In das freie Wasser hinausragende Syphon

geweichten Holzteilchen erreicht, wobei die Zähnnchen nicht übermäßig beansprucht werden und deshalb nur wenig Verschleiß haben (Abb. 6).

Die Entwicklung der Terediniden ist für die Praxis von gewisser Bedeutung, deshalb sei sie kurz gestreift.

Alle Terediniden sind Zwitter, bei denen abwechselnd die männlichen und weiblichen Keimdrüsen reifen. Die Tiere stoßen bis zu 1 Million Eier ab. Die freischwimmenden, etwa fünfhundertstel Millimeter großen Lärvcchen besitzen zwei Muschelschalen, die sie im Gefahrenfalle ganz schließen können. Sie bewegen sich mit einem Wimperkranz im Wasser fort (Abb. 7), den sie jedoch abwerfen, sobald sie das Holz erreicht haben. Auf dessen Oberfläche kriechen sie mit Hilfe eines langen, vorstreckbaren Fußes und graben sich mit ihren Schalen eine Höhlung in das Holz, verkriechen sich darin und verschwinden damit für immer von der Außenwelt. Da sich das von der Larve gebohrte, oft nur stecknadelkopfgroße Loch in dem Holz nicht vergrößert, ist es ungemein schwer, von außen die oft schweren Schäden an den Holzbauwerken zu erkennen (siehe Abb. 15). Bei der großen Zahl der Larven werden unter besonders günstigen Verhältnissen die Hölzer so dicht befallen, daß zwischen den einzelnen

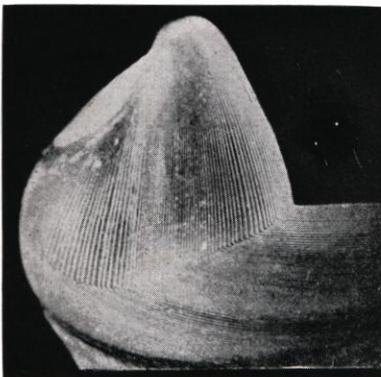


Abb. 5. Stark vergrößerte Bohrschale

Paletten. Mit ihnen sperrt das Tier im Gefahrenfalle die kleine, winzige Austrittsöffnung und kann sich so notfalls auf Wochen sicher abschließen.

Über den Bohrvorgang bestand lange Unklarheit. Es handelt sich auch nicht um ein Bohren, also um ein Drehen der Bohrschalen in einer Richtung, sondern vielmehr um ein Raspeln oder Schaben. Die beiden Bohrschalen sind mit mehreren Reihen scharfer Zähnnchen — etwa 1000 Stück auf jeder Schale — besetzt (Abb. 5). Die beiden Schalen werden durch kräftige Muskeln gegeneinander bewegt. Während der eine sich zusammenzieht, streckt sich der andere. Mit der so erzeugten Kippbewegung der beiden Schalen wird ein Abschaben der zudem auf-

Bohrgängen nur dünne Scheidewände verbleiben. In Cuxhaven sind z. B. in einem Meter eines 40 cm starken Pfahles nach zwei Jahren über 500 Bohrmuscheln gezählt worden. Die jungen Muscheln bohren sich zunächst in Richtung zum Stamminnern, schwenken dann aber in Stammrichtung ab. Nach wenigen Wochen sind die Tiere fortpflanzungsfähig. Sie leben im allgemeinen zwei bis drei Jahre. Der Durchmesser der Gänge schwankt zwischen 5 und 12 mm.

Von den holzerstörenden Krebsen ist der häufigste die Bohrsassel, *Limnoria lignorum* RATHKE. Sie ist über die ganze Welt verbreitet, bis 5 mm lang und von asselähnlicher Gestalt (Abb. 8). Daneben tritt bei uns auch der Bohrkrebs, *Chelura terebrans* PHILIPPE, auf (Abb. 9). Er ist etwa doppelt so groß wie die Assel.

Die Krebse nagen unter der Holzoberfläche, den Frühholzschichten folgenden, rundliche Gänge. Die Oberflächen der Gänge werden in regelmäßigen Abständen durchbrochen, damit das zur Atmung benötigte Frischwasser eindringen kann. Wegen der notwendigen Sauerstoffzufuhr können die Krebse — im Gegensatz zur Bohrmuschel — nur wenige Millimeter in das Holzinnere eindringen.

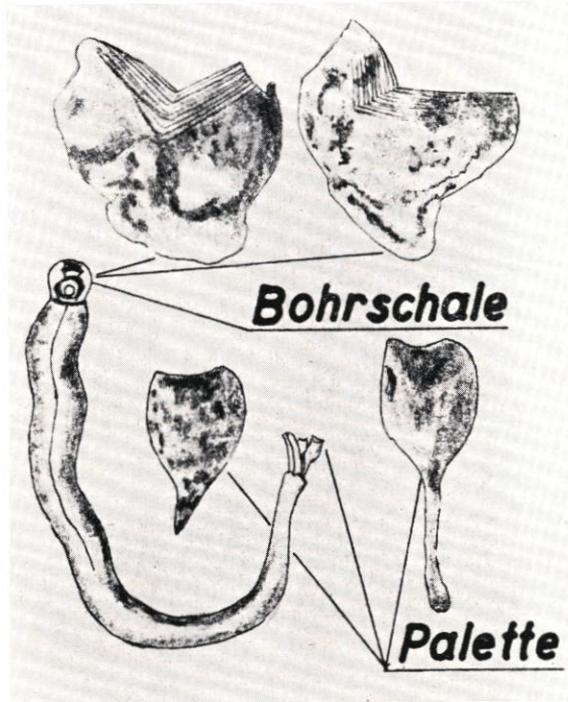


Abb. 6. Bohrshalen und Paletten der Bohrmuschel

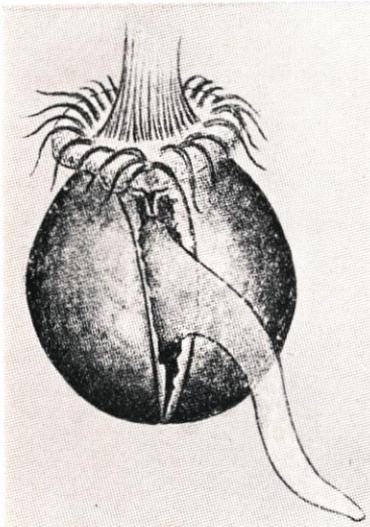


Abb. 7. Freischwimmende Larve der Bohrmuschel

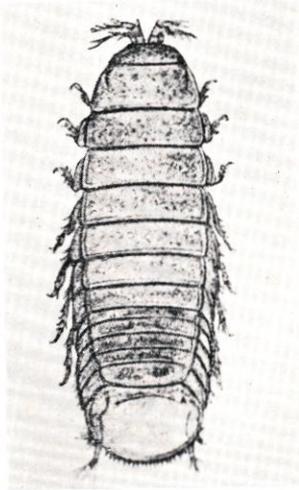


Abb. 8. Die Bohrsassel *Limnoria lignorum*



Abb. 9. Der Bohrkrebs *Chelura terebrans*

Dadurch, daß nur die oberflächlichen Schichten unterhöhlt werden, die dann durch Wellenschlag und Wasserbewegung zerstört werden, geht die Holzzerstörung durch Krebsfraß wesentlich langsamer vor sich als bei der Bohrmuschel. Man rechnet bei uns mit einer jährlichen Durchmessermin- derung von 1 bis 3 cm. Abbildung 10 zeigt eine abgetrennte Lamelle eines Fichtenstammes, die durch *Limnoria* und *Chelura* völlig zerstört worden ist. Das Holz war auf der Station Chioggia bei Venedig ausgelegt.

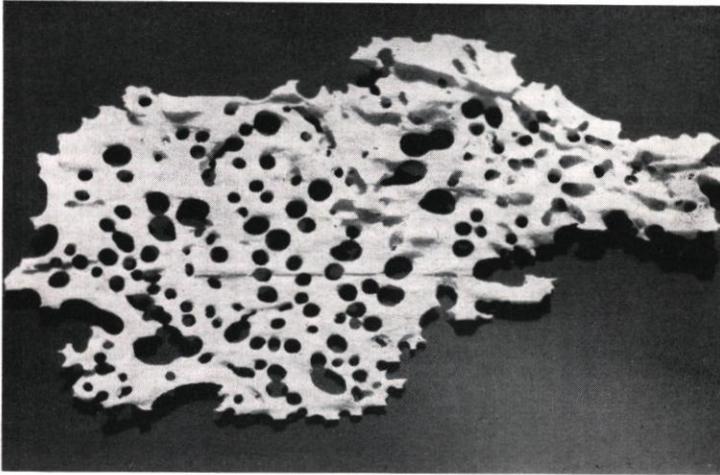


Abb. 10. Abgetrennte Lamelle eines von *Limnoria spec.* und *Chelura terebrans* Philippi (große Löcher) stark zerstörten Holzes aus der Lagune von Venedig bei Chioggia (Vergr. 4- bis 5fach)

Die Ausbreitung und Entwicklung der Terediden und Krebse ist vorwiegend vom Salzgehalt, den Wärmeverhältnissen, daneben vom Verunreinigungsgrad und vom Sauerstoffgehalt des Wassers abhängig.

Teredo navalis L. ist zwischen 7‰ und 35‰ Salzgehalt lebensfähig. Unter 9‰ stellt sie ihre Bewegungen ein; aber sie soll auch unter dieser Grenze noch viele Tage lebensfähig sein. Versuche haben ergeben, daß *Teredo* sich sehr gut nach plötz-

licher Wiederherstellung ihres alten Milieus erholt. Das vielfach geübte Verfahren, teredobefallene hölzerne Schiffe für eine Woche ins Süßwassergebiet zu verlegen, ist deshalb nicht immer von Erfolg.

Die Bohrkrebse benötigen stärkeren Salzgehalt; bei *Limnoria* liegt die untere Grenze bei 15‰. Fortpflanzung und Zerstörung sind weiter stark von der Wassertemperatur abhängig. Frost tötet die Tiere, auch zu hohe Wärme ist abträglich. Verunreinigung des Wassers hemmt die Entwicklung der Bohrmuschel, die der Bohrkrebse dagegen weniger.

B. Vorkommen, Art und Umfang der Schäden an den deutschen Küsten

In der Bundesrepublik tritt die Bohrmuschel allenthalben im See- und Küstengebiet der Nord- und Ostsee auf und dringt auch in die Brackwasserzone der Tideflüsse ein. Voraussetzung ist immer ein durchschnittlicher Salzgehalt des Wassers an der Befallstelle von mindestens 9‰. Dabei ist der Befall an einzelnen Punkten dieses Bereichs durchaus verschieden und zeitlich ohne erkennbare Gesetzmäßigkeiten stark schwankend; irgendwelche gleichlaufende Tendenzen, z. B. eine allgemeine Zunahme an allen Küstenorten in einer bestimmten Zeitspanne, sind nicht beobachtet; tritt an einem Ort ein Maximum des Befalls auf, so ist es durchaus möglich, daß ein Nachbarort ganz normale Befallverhältnisse zeigt. In Gewässern mit geringer Strömung kann es auch bei einem Salzgehalt von durchschnittlich weniger als 9‰ zu einem Befall durch die Bohrmuschel kommen, wenn sich eine Schichtung des Wassers ausbilden und erhalten kann, wobei nur am Grund der für *Teredo* erforderliche Salzgehalt vorhanden ist (z. B. Nord-Ostsee-Kanal und Schleusenpriel in Cuxhaven).

Bedroht sind sämtliche, nicht mit geeigneten Schutzmitteln behandelten Holzbauwerke in den fraglichen Gebieten, wobei die Schädlinge zunächst die weicheren Holzarten befallen; ausländische Harthölzer sind verhältnismäßig bohrmuschelfest, was wahrscheinlich nicht allein auf die Härte des Holzes, sondern besonders auf die im Holz enthaltenen Giftstoffe zurückzuführen ist. Sind diese Stoffe ausgelaugt, wird das Holz ebenfalls angegriffen. Schnittholz wird leichter befallen als Rundholz. Die Zone des Befalls reicht von etwa 1 m über MTnw bis zum Grund; das größte Ausmaß der Zerstörungen dürfte in der Höhe des für die Tiere optimalen Salzgehalts liegen, in Brackwassergebieten also meist am Grunde, weil an der Oberfläche der Süßwassereinfluß vorherrscht. Bewuchs der Hölzer wirkt wahrscheinlich nur verzögernd. Bei Kaimauern auf Pfahlrosten und bei Höften wird die vorderste, am strömenden Wasser liegende Pfahlreihe bevorzugt angefallen. Holz, das nicht mit dem freien Wasser in Verbindung steht, wird nicht befallen.

Die Bohrrassel — *Limnoria lignorum* — ist im Gebiet der Bundesrepublik an verschiedenen Stellen festgestellt worden: z. B. Borkum, Norderney, Baltrum, Wangerooge, Jadegebiet, Helgoland und List a. Sylt.

C. Bisherige systematische Untersuchungen über das Vorkommen und über die Schutzmittel

1. Umfrage der früheren Preußischen Landesanstalt für Wasser-, Boden- und Lufthygiene

Im Jahre 1924 wurde von der Preußischen Landesanstalt für Wasser-, Boden- und Lufthygiene ein Fragebogen über Verbreitung, Lebensweise und Bekämpfung des Bohrwurms an etwa 150 verschiedene Behörden und Ortschaften an der deutschen Nord- und Ostseeküste versandt. Die Auskünfte wurden von Dr. Felix ROCH ausgewertet und die Ergebnisse in der Veröffentlichung „Die Holz- und Steinschädlinge der Meeresküste und ihre Bekämpfung“ (1927) niedergelegt. Die Arbeit beschäftigt sich mit der geographischen Verbreitung der *Teredo navalis* L. in Deutschland, mit der Ermittlung der Schäden, mit den bis dahin angewandten Schutzmaßnahmen und ihren Erfolgen. Der Verfasser stellt fest, daß die Bohrmuschel an der ganzen deutschen Nordseeküste und in der Ostsee bis Warnemünde verbreitet ist. Sie wird durch Frost-, Süßwasser- und Abwässereinflüsse empfindlich gestört. Als Schutzmittel werden empfohlen:

- a) ausländische Harthölzer (am besten),
- b) Imprägnierung der einheimischen Holzarten, wobei als Tränkungsflüssigkeit Creosot vorgeschlagen wird,
- c) Beschlagen der Hölzer mit Breitkopfnägeln oder Metallplatten.

2. Versuche der ehemaligen Kriegsmarine in Wilhelmshaven

Am Leitdamm in der Innenjade (vor Wilhelmshaven) wurden in den Jahren 1925 bis 1931 kieferne und buchene Pfähle eingebaut, die in verschiedener Weise behandelt waren, und zwar im wesentlichen

- kieferne Pfähle mit 65, 75, 90, 120, 150, 180 und 210 kg Teeröl/m³ imprägniert, und
- buchene Pfähle mit 65 bis 190 kg Teeröl/m³ und Arsenzusatz imprägniert.

Die einzelnen Pfähle waren mit Nummernschildern aus Blei versehen. Diese Schilder sind von Metalldieben entfernt worden, so daß heute leider eine Rekonstruktion der Bezeichnungen nicht mehr möglich ist. Daher kann das eigentliche Ziel der Versuchsreihen, nämlich die Ermittlung des zweckmäßigsten Tränkungsgrades, heute nicht mehr erreicht werden. Gezogene Pfähle beweisen jedoch allgemein die Eignung der Teeröltränkung bei Kiefer und Buche.

In Wilhelmshaven sind außerdem noch systematische Versuche mit Probehölzern durchgeführt worden, die aus verschiedenen Holzsorten (Buche, Kiefer, Fichte, Tanne, Eiche, ausländische Hölzer) hergestellt und mit verschiedenen Schutzstoffen (Teeröl, Flurasil) behandelt waren. Über die Ergebnisse berichtet Marinebaurat R. SCHNEIDER in dem Artikel „Baustoffangriffe in Wilhelmshaven“ (1937) folgendes:

„Aus diesen Versuchen ergibt sich nach etwa achtjähriger Beobachtungsdauer, daß getränkte Buchenpfähle so gut wie gar nicht vom Bohrwurm und der Bohrrassel befallen werden. Nur bei einem Buchenpfahl konnte in einem Spalt, der tiefer als die Tränkung geht, vereinzelt Bohrwurm festgestellt werden.

Ohne Holzzerstörung wurden nach siebenjähriger Versuchsdauer getränkte eichene Bohlen gefunden. Dagegen hatten getränkte kieferne Bohlen in der gleichen Zeit schwachen Bohrwurmbefall. Von den ungetränkten buchenen, eichenen und tannenen Hölzern, die alle vom Bohrwurm angegriffen wurden, hatte die tannene Bohle sich am schlechtesten verhalten. Schon nach einem Jahr sind starke Schäden durch Bohrwurm und Bohrrassel entstanden. Bei den kiefernen Bohlen war der Bohrwurmbefall geringer. Widerstandsfähiger hat sich die buchenen Bohle, am besten die eichene Bohle gezeigt, bei der erst nach drei Jahren geringe Bohrrasselanfressung und nach fünf Jahren erster Bohrwurmbefall festgestellt wurde.

Ungetränkte kieferne Versuchshölzer, die mit Eisenkeilen und äußerem Kupferbelag bzw. mit Kupferkeilen und äußerem Kupferbelag bzw. mit Kupferkeilen und Eisenbelag versehen waren, waren nach achtjähriger Versuchsdauer im Leitdamm vollständig vom Bohrwurm zerstört.

Ein kieferner getränkter Rundpfahl von 20 cm Durchmesser, der in Abständen von 15 cm mit je einem 10 cm langen schmiedeeisernen und kupfernen Nagel beschlagen war, war nach achtjähriger Versuchsdauer nicht vom Bohrwurm befallen, dagegen hatte ein ungetränkter sonst gleichbeschlagener Pfahl schon nach zwei Jahren starke Bohrwurmanfressungen.

Ausländische Hölzer wie Greenheart-, Jarrah-, Bongossi-, Blackbutt- und Moarhölzer sind nach achtjähriger Versuchsdauer weder vom Bohrwurm noch von der Bohrrassel befallen worden. Daß aber auch diese Harthölzer nicht ohne weiteres als bohrwurmsicher zu betrachten sind, beweisen Bohrwurmangriffe an den Dichtungshölzern eines Reservetores der III. Hafeneinfahrt. Diese aus Greenheartholz bestehenden Dichtungshölzer sind etwa 20 Jahre alt. Vermutlich ist durch das lange Stillliegen dieses Tores auf dem Torliegeplatz das Eindringen des Bohrwurmes begünstigt worden.

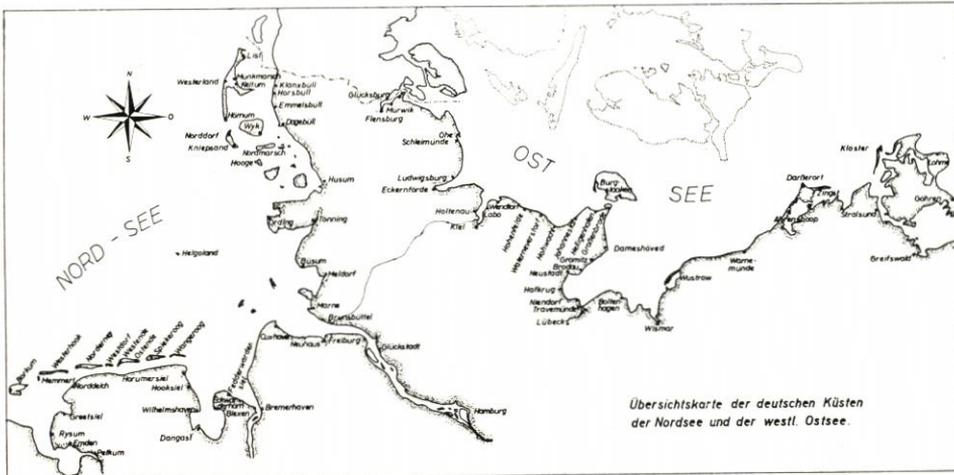
Außer mit Teeröl getränkten Versuchshölzern wurden mit Flurasil behandelte Hölzer geprüft. Diese wurden acht Tage lang mit 10proz., teilweise mit 20proz. Lösung Flurasil getränkt. Sie zeigten schon nach einem Jahre Bohrwurmbefall und Bohrrasselanfressungen, wobei die tannenen Hölzer stärker angegriffen waren als die kiefernen. Nach fünfjähriger Beobachtungszeit waren die Probehölzer so weitgehend zerstört, daß weitere Untersuchungen nicht mehr zu machen waren.“

3. Versuche des Wasser- und Schifffahrtsamts Tönning mit Tränkungssalzen

Im Jahre 1936 sind in Büsum und Tönning Versuchsreihen mit kiefernen Bohlen und Kanthölzern ausgelegt worden, die in verschiedenem Grade mit einem Tränkungssalz behandelt waren. Schon nach zwei Jahren waren sämtliche Hölzer von der Bohrmuschel befallen, und zwar um so stärker, je geringer die Tränkung war. Eine grundsätzliche Ablehnung der heutigen Tränkungssalze kann jedoch aus diesen Versuchsergebnissen nicht gefolgert werden, da diese Schutzmittel inzwischen verbessert worden sind.

D. Zusammenfassende Betrachtung über den Befall mit marinen Holzzerstörern an den deutschen Küsten unter besonderem Hinweis auf die Verhältnisse an der Elbmündung in Cuxhaven

Wie bereits erwähnt, wurde im Jahre 1924 von der Preußischen Landesanstalt für Wasser-, Boden- und Lufthygiene eine Umfrage über den Befall durch Bohrorganismen in großem Umfange durchgeführt. Um die seitdem eingetretenen Veränderungen kennen zu



Übersichtskarte der deutschen Küsten der Nordsee und der westl. Ostsee.

Teredo-Befall an verschiedenen Orten der deutschen Nord- und Ostseeküste Befallsgrade 1 - 6 aus dem Jahre 1924 nach F. Roch und aus dem Jahre 1952 nach verschiedenen anderen Autoren

1924		1952		1924		1952		1924		1952		1924		1952	
Ahrenshoop	0	0	Federwardersiel	2-3	0	Hörnum	3	4-5	Memmert	X	X	Stralsund	0	0	
Blexen	0	0	Fiesburg	0	3-4	Horsbüll	0	0	Munkmarsch	0	0	Tanning	2-3	2-3	
Böthenhagen	3	3-4	Freiburg	0	0	Horumersiel	X	3-4	Mürwik	3	4	Travemünde	0	3	
Borkum	3	4	Glücksburg	0	4	Husum	0	0	Neuhaus	0	0	Wangeroog	X	3-4	
Bremerhaven	0	0	Göhlen	0	0	Johannestadt	0	4	Neustadt	2	5	Warnemünde	3	3-4	
Brunsbüttel	0	0	Greifswald	2	2	Keitum	3-4	1-2	Niendorf	3	5	Warenversdorf	0	3-4	
Busum	2-6	2	Großefisch	0	0	Kiel	5	5	Norddeich	1-2	3-4	Westdorf	X	3-4	
Cuxhaven	3	5-6	Grämitz	3	4-5	Klanxbüll	0	0	Norddorf	2-3	2-3	Westdorf	0	3-5	
Dagebüll	2-3	2-3	Größenbrade	0	5	Klaster	0	0	Norderney	3-5	2-5	Westende	1	1-4	
Dahmshöved	2	5	Halfrug	0	5	Kniepsand	X	0	Nordmarsch	2-3	2-3	Westerhook	0	1	
Dangst	0	0	Heiligenhafen	3-4	4	Laboe	X	5	Ohe	X	X	Westerland	3	0	
Daßerort	0	0	Hohenfelde	0	3-4	List	4	4-5	Ording	0	0	Wilhelmshaven	1-4	4-5	
Eckwärdorf	3	4-5	Hohwacht	0	3-4	Löhne	0	0	Ostende	1	1-4	Wismar	0	0	
Eckwarderhorn	4	0	Holltau	0	3-4	Lübeck	0	0	Petikum	0	0	Wremen	0	0	
Emden	3	3	Hoogen	5	5	Ludwigsburg	X	5	Rysum	3	3	Wustrow	0	1	
Emmelsbüll	0	0	Hooge	1-3	2-3	Marne	0	0	Schleimünde	3	5	Wyk	2-3	2-3	
			Hooksiel	2-3	3-4	Meldorf	0	0	Spiekeroog	0	X	Zingst	0	0	

x) X bedeutet Teredo kommt vor, Stärkegrad jedoch nicht ziffernmäßig bestimmt

Küstenmuschel Teredo u. Ocher
Der Leiter der Arbeitsgruppe
Bekämpfung der Bohrmuschel

Abb. 11. Das Vorkommen der Bohrmuschel im Bereich der deutschen Küsten

lernen, wurde eine ähnliche Umfrage im Jahre 1952 von der Arbeitsgruppe „Bekämpfung der Bohrmuschel“ veranlaßt.

Von der Landesanstalt wurden seinerzeit sechs Stärkegrade zur Feststellung des Befalls zugrunde gelegt wie folgt:

1. Stärkegrad: In Fällen, wo die genannten Tiere gerade noch wahrgenommen werden oder nur an einzelnen Stellen in ganz unbedeutender Anzahl vorhanden sind, so daß man deshalb nicht von einem Angriff, dem praktische Bedeutung beizumessen ist, sprechen kann.
2. Stärkegrad: In Fällen, wo diese Tiere hier und da gefunden werden, aber wo der Befall an den einzelnen Stellen nur so gering ist, daß man von einem wirklichen Schaden nicht sprechen kann.
3. Stärkegrad: In Fällen, wo sich diese Tiere in hinlänglicher Menge finden, und im Laufe von zehn bis zwanzig Jahren an einem ungeschützten 25 cm dicken Pfahl aus Tannen- oder Kiefernholz so großer Schaden angerichtet wird, daß der Pfahl ausgewechselt werden muß.
4. Stärkegrad: In Fällen, wo eine solche Erneuerung im Laufe von fünf bis zehn Jahren notwendig ist.
5. Stärkegrad: In Fällen, wo eine solche Erneuerung im Laufe von zwei bis fünf Jahren notwendig ist.
6. Stärkegrad: In Fällen, wo eine solche Erneuerung im Laufe jedes Jahres notwendig wird.

x bedeutet: Teredo kommt vor, Stärkegrad jedoch nicht ziffernmäßig bestimmt.

Bei der Untersuchung im Jahre 1952 wurden dieselben Stärkegrade angewendet, um vergleichbare Werte zu erhalten, obwohl die oben angegebenen Stärkegrade einer Kritik nicht recht standhalten; denn es müßte unter anderem eine schärfere Trennung zwischen Tanne und Kiefer vorgenommen werden.

Das Ergebnis der Umfrage des Jahres 1952 ist in Abbildung 11 zusammengestellt, die in Anlehnung an die Erhebung von 1924 aufgestellt wurde.

Wie die Zusammenstellung zeigt, ist an einigen Orten eine Befallsabnahme festzustellen, wie z. B. in Büsum von 2—6 auf 2, Keitum von 3—4 auf 1—2 und Westerland von 3 auf 0. An anderen Orten dagegen wird eine Zunahme im gleichen Zeitabschnitt festgestellt, so z. B. in Cuxhaven von 3 auf 5—6, Eckernförde von 3 auf 4—5, Flensburg von 0 auf 3—4.

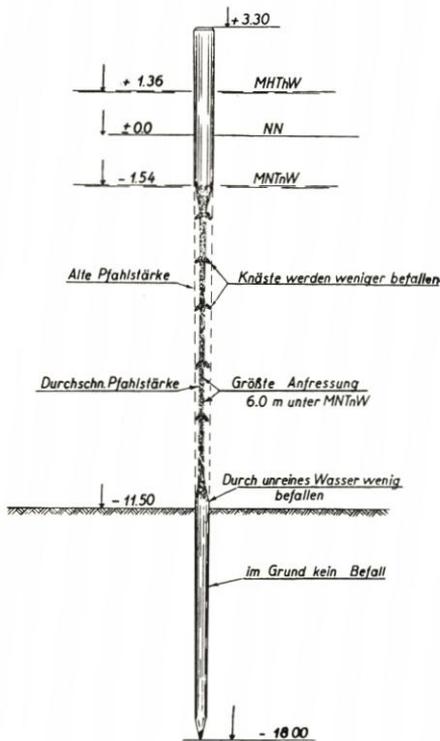


Abb. 12. Schematische Darstellung eines angefressenen Pfahles aus dem Steubenhöft

Die oben schon erwähnte Tatsache, daß Kanthölzer im allgemeinen stärker als Rundhölzer angegriffen werden, wird durch die Abbildungen 17 und 18 von Zangen von den vorderen Pfählen der Seebäderbrücke in Cuxhaven illustriert.

Daß die Angriffe nicht nur unter MTnw, sondern auch darüber erfolgen, zeigen die Abbildungen 19 und 20, die eine rückwärtige Zangenpartie der Seebäderbrücke und der hölzernen rückwärtigen Spundwand an diesem Bauwerk veranschaulichen. Beide Teile liegen etwa 0,5 m über MTnw.

Recht aufschlußreiche Beobachtungen über die Änderung der Befallstärkegrade konnten an dem Steubenhöft in Cuxhaven gemacht werden. Diese große, rund 400 m lange Anlegebrücke wurde 1914 in Betrieb genommen. Sie war eigens für die Imperator-Klasse — die 50 000-Tonner der Hapag — gebaut. Ein Wald von Kiefernspfählen — etwa 3000 — von mehr als 20 m Länge und 45 bis 50 cm mittlerem Durchmesser trug die Brücke. 1943 mußte das Befahren der Brücke mit Lokomotiven, 1946 mit sämtlichen Fahrzeugen verboten werden. Eine im Jahre 1948 an rund 2500 Pfählen vorgenommene Messung brachte die erschreckende Tatsache ans Licht, daß bei den weitaus meisten Pfählen der ursprüngliche mittlere Durchmesser von 45 cm auf rund 15 cm unter MTnw zusammengeschrumpft war (Abb. 12). 1951 brachen etwa 40 m des Höftes zusammen, als eine leichte Landramme aufgestellt wurde, um Probestämme für eine Erneuerung der Anlage zu rammen.

1936 war in Cuxhaven eine Befallstärke von 3, 1948 bis 1950 mußte sie mit 5 angegeben werden, 1954/55 ist sie auf 0—1 zurückgegangen.

Zur Illustrierung der in Cuxhaven gesammelten Erfahrungen seien nebenstehend einige typische Befallstärken gezeigt (Abb. 13—16).

Die vorstehend erwähnten, in Cuxhaven gesammelten Erfahrungen seien durch die nachfolgenden Abbildungen noch anschaulicher gemacht.

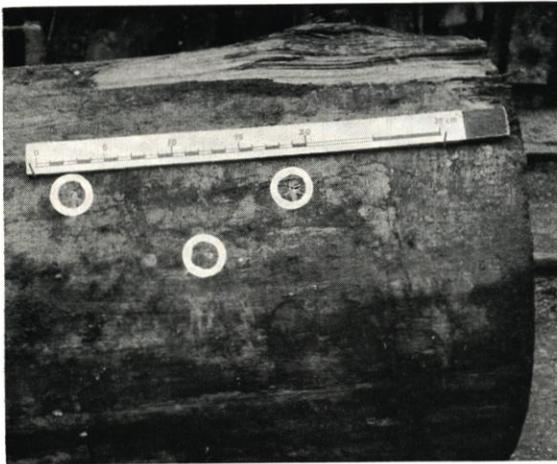


Abb. 13
Befallstärke 1: Pfahl, der nur vereinzelt von *Teredo* befallen ist, auf 20 cm Länge drei Bohrlöcher (durch Kreis gekennzeichnet)



Holzart Kiefer
eingebaut 1914, ausgebaut 1950
Standort Steubenhöf, v. d. westl. Hafenkopf
Tiefe 0,50 m über MNTW
Das Kantholz 24 X 30 war nach dem Ruppung Verfahren imprägniert
Stärkere Anfressung

Abb. 14
Befallstärke 2: Vierkantholz mit mäßigem Teredobefall, das nach 36 Jahren ausgebaut wurde



Abb. 15

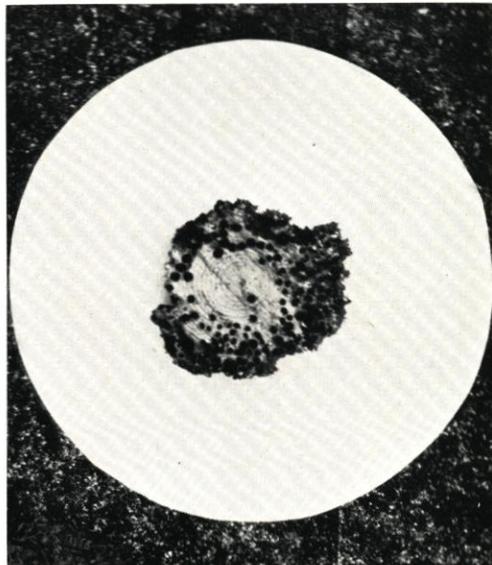


Abb. 16

Abb. 15. Von *Teredo* stark befallener Pfahl von außen gesehen. Aus der Anzahl der erkennbaren Bohrlöcher läßt sich die Befallstärke nur bei einiger Übung beurteilen. Erst durch Anschlagen des Pfahles kann man das Ausmaß der Zerstörung erkennen. — Abb. 16. Befallstärke 5: Ein Pfahl, der ausgewechselt werden muß. Früherer Durchmesser: 43 cm (weißer Kreis), verblieben: 13 cm



Abb. 17. Zangen von den vorderen Pfählen der Seebäderbrücke in Cuxhaven

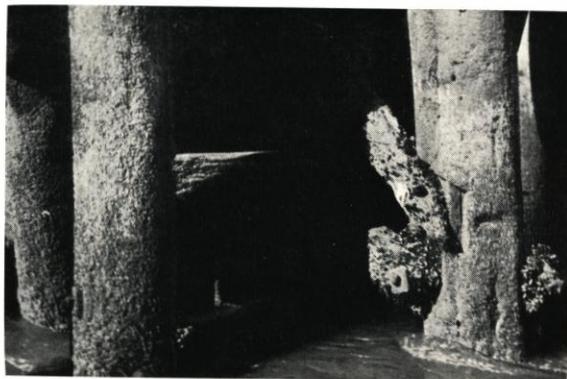


Abb. 18 (Text siehe Abb. 17)



Abb. 19. Rückwärtige Zangenpartie der Seebäderbrücke Cuxhaven, etwa 0,5 m über MTnw

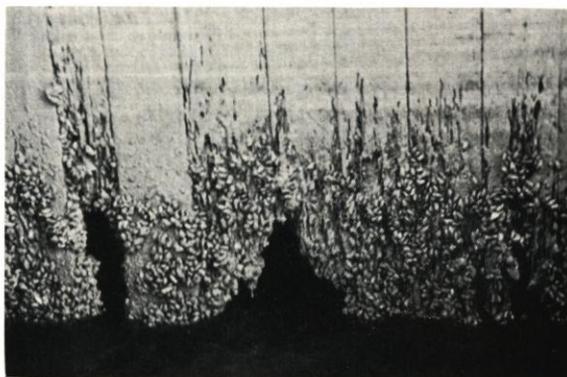


Abb. 20. Rückwärtige Spundwand der Seebäderbrücke, etwa 0,5 m über MTnw



Abb. 21. Zerstörte Pfähle im Steubenhöft, noch eingebaut (1,50 m unter MTnw). Aufnahme bei ungewöhnlichem Niedrigwasser infolge anhaltenden Ostwindes



Abb. 22. Die Abbildungen 22 bis 27 zeigen die durch die Bohrmuschel zerstörten Pfähle des Steubenhöfts (Cuxhaven) nach dem Ausbau

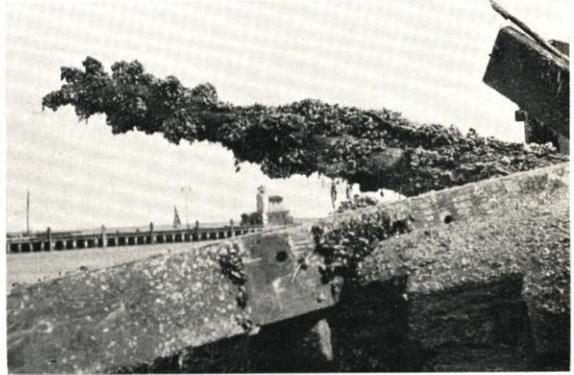


Abb. 23



Abb. 24



Abb. 25. Nordische Kiefer. Eingebaut 1914—1938

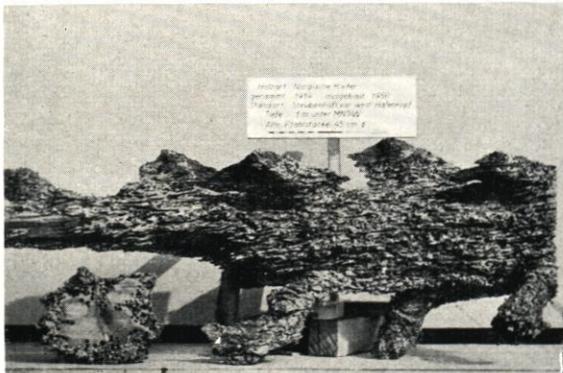


Abb. 26. Nordische Kiefer. Eingebaut 1914—1950

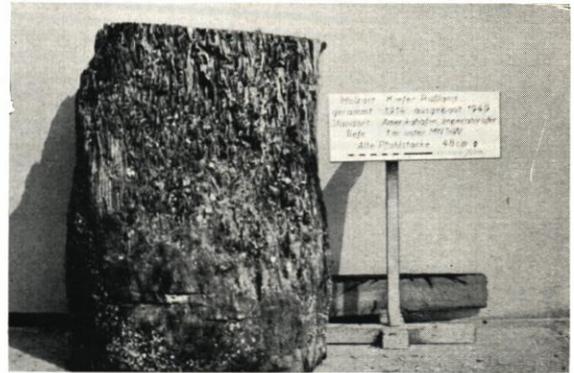


Abb. 27. Russische Kiefer. Eingebaut 1914—1949

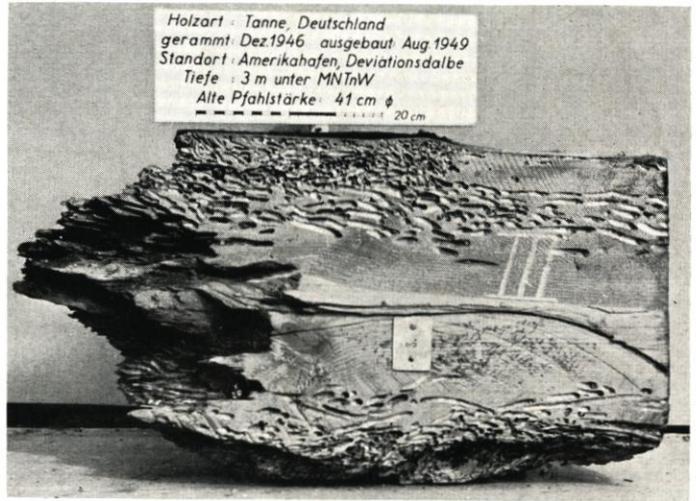


Abb. 28

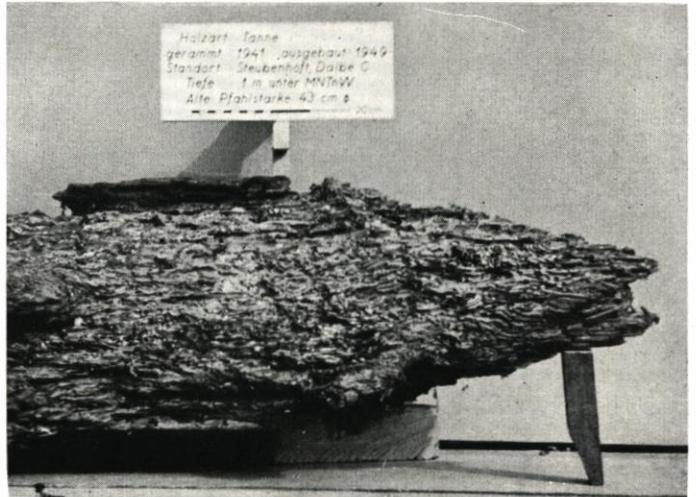


Abb. 29

Die Abbildungen 28 und 29 zeigen, daß die Kiefer wesentlich länger als die Tanne hält (vgl. Abb. 25 bis 27)

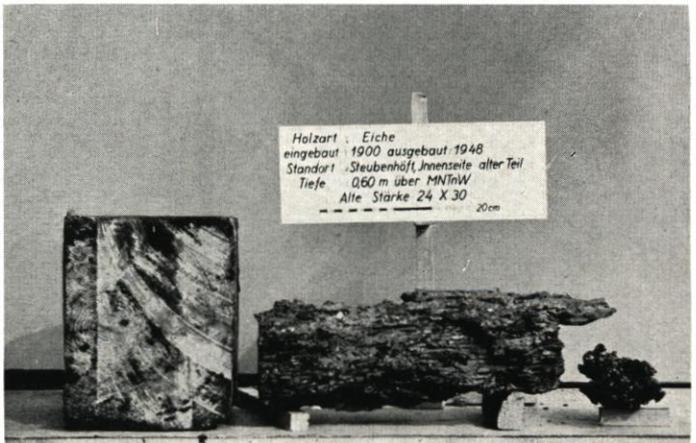


Abb. 30

Die Eiche ist zwar widerstandsfähiger als die weicheren Holzarten, aber als Kantholz ist ihre Lebensdauer auch nur beschränkt



Abb. 31

Die tropischen Hölzer sind wesentlich „bohrmuschelfester“ als die einheimischen. Eine unbedingte Sicherheit ist aber auch hier nicht gegeben

E. Schlußfolgerungen aus dem Bilanzbericht

Die im Bilanzbericht der vom Küstenausschuß Nord- und Ostsee ins Leben gerufenen Arbeitsgruppe „Bekämpfung der Bohrmuschel“²⁾ erarbeiteten Erkenntnisse über die bis dahin angewendeten Maßnahmen zur Verhütung von Schäden durch *Teredo navalis* und *Limnoria lignorum* können wie folgt zusammengefaßt werden:

- a) Vermeidung von Holzbauwerken in den gefährdeten Gebieten: Auf Helgoland hat man weitgehend Beton und Stahl anstelle von Holz verwendet. Das Steubenhöft und andere Bauwerke in Cuxhaven wurden in Stahlbauweise erneuert.
- b) Schutz der Holzteile gegen das offene Wasser: Im Emdener Hafen wurde vor die Pfahlreihen der Kaimauern eine Stahlspundwandschürze gerammt; die Hohlräume wurden mit Sand verfüllt; in Helgoland sind Betonschürzen als Schutz verwandt worden.
- c) Verwendung von ausländischen Harthölzern: Auf Helgoland verwendete die frühere Kriegsmarine für frei im Wasser stehende Holzkonstruktionen australisches Hartholz (Jarrah-Holz).
- d) Imprägnierung der Hölzer mit
 1. Teeröl (Voll- oder Spartränkung)
 2. Fluor-Arsen-Salzen.
- e) Benagelung mit breitköpfigen Nägeln, ein Verfahren, das sich aber nur wenig durchgesetzt hat.

Das obige Ergebnis befriedigte nicht, denn einmal bestanden in der Anwendung brauchbarer Schutzmittel Unsicherheiten, sodann war über die praktische Verwendung der als brauchbar erkannten Mittel keine wirtschaftliche Methode bekannt. Die Arbeitsgruppe hat deshalb die bis dahin gebräuchlichen Schutzmittel auf ihre praktische Verwendbarkeit hin systematisch zu überprüfen und gleichzeitig neue Verfahren auszuprobieren begonnen.

²⁾ Leiter der Arbeitsgruppe „Bekämpfung der Bohrmuschel“ ist Regierungsbaudirektor HAHN, Cuxhaven. Mitarbeiter sind: Professor Dr. BAVENDAMM von der Bundesanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Reinbeck; Oberregierungsrat Dr. BECKER von der Bundesanstalt für mechanische und chemische Materialprüfung, Berlin-Dahlem; Regierungsbaurat KÖHLER, Vorstand des Wasser- und Schifffahrtsamts Lübeck; Dr. KÜHL von der Bundesanstalt für Fischerei, Cuxhaven; Dipl.-Ing. KRAMER von der Forschungsstelle Norderney; Dr.-Ing. LACKNER, Bremen-Farge; Oberregierungsbaurat TILLESSEN, Vorstand des Wasserwirtschaftsamts Varel, Wilhelmshaven; Regierungsbaurat ZITSCHER vom Marschenbaumt Husum.

F. Versuchsstationen

Zu diesem Zweck wurde an fünf verschiedenen Stationen der Nord- und Ostsee eine größere Anzahl nach verschiedenen Verfahren behandelte Versuchshölzer ausgelegt. Für die Versuche wurden folgende Stationen ausgewählt:

1. Norderney, 2. Wilhelmshaven, 3. Cuxhaven, 4. List auf Sylt, 5. Holtenua.

Die Betreuung erfolgt durch die örtlichen Wasserbaubehörden in Zusammenarbeit mit dort ansässigen wissenschaftlichen Instituten. Zur Charakterisierung der örtlichen Wasser- verhältnisse werden monatlich dreimal Wasserproben entnommen, bei denen Wassertempera- tur, Salzgehalt, pH-Wert und Sauerstoffgehalt bestimmt werden.

An jeder Station wurden 2 m lange Rundhölzer von etwa 20 cm Durchmesser und eben- solche Kanthölzer 10×10 cm verwendet. Es wurden vier Holzarten: Kiefer, Fichte, Buche und Eiche für die Versuche benutzt. Die Hölzer sind so ausgelegt, daß ein größtmöglicher Be- fall durch Bohrorganismen erreicht wird. Im allgemeinen sind die Hölzer so eingebaut, daß die Einbau- bzw. Ausbaumöglichkeiten bei MTnw gegeben sind.

Um die Befallstärken an den einzelnen Stationen festzustellen, wurden außer den Ver- suchshölzern gewissermaßen als „Testhölzer“ je zwei unbehandelte Hölzer aus Weißtanne $10 \times 10 \times 100$ cm mit ausgelegt, von denen jährlich ein Stück ausgewechselt und auf Befall untersucht wird, während das andere für die gesamte Dauer des Versuchs liegen bleibt. Von allen Holzarten wurde ein Stück Rund- und Kantholz unbehandelt mit eingebaut.

Folgende Schutzbehandlungen wurden benutzt:

1. Die Volltränkung.
Bei der Volltränkung wird soviel Steinkohlen-Teeröl dem Holz einverleibt, wie es nur auf- zunehmen vermag. Die Sollaufnahme ist gleich der Istaufnahme.
2. Die Spartränkung nach dem Rüping-Verfahren.
Bei der Spartränkung sind die Sollaufnahmen an Hand praktischer Erfahrungen festgelegt worden. Sie betragen je nach Holzart 70 bis 190 kg/m³.
3. Tauchtränkung bei normaler bzw. erhöhter Temperatur mit verschiedenen ölartigen Schutz- mitteln.
4. Anwendung von Salzen im Bohrloch- bzw. Impfstichverfahren unter Druck und zusätz- lichem Anstrich.
5. Kombinationsverfahren unter Verwendung von Salzen und Harz im Kesseldruckverfahren.

Diese Verfahren wurden in Zusammenarbeit mit dem „Holzschutzkreis“, der Dachorgani- sation der chemischen Industrie für Holzschutzmittel, von folgenden Firmen ausgeführt:

- ALLGEMEINE HOLZIMPRÄGNIERUNG GMBH, Sinzheim bei Baden-Baden;
CHEMISCHE FABRIKEN AVENARIUS & CO., Stuttgart-Feuerbach, Heilbronner Straße 381;
FARBENFABRIKEN BAYER, Anwendungstechnische Abteilung, Krefeld-Ürdingen, Rheinfurterstraße 1/9;
CHEMISCHE WERKE ALBERT, Holzschutzlabor, Wiesbaden-Biebrich, Postfach 100;
CHEMISCHE WERKE HAUENSCHILD KG, Hamburg-Wandsbek 1, Holzmühlenstraße 78;
DESOWAG-CHEMIE-GESELLSCHAFT MBH, Düsseldorf, Bismarckstraße 83;
RÜTGERSWERKE AG, Frankfurt am Main 1, Mainzer Landstraße 195/217.

Die Durchführung der Schutzbehandlungen erfolgte in Zusammenarbeit mit dem Nie- dersächsischen Hafenamts Cuxhaven.

Der Großversuch an den deutschen Küsten wurde durch einen Parallelversuch in der La- gune von Venedig ergänzt, da in diesem Gebiet der Befall durch Bohrorganismen erheblich stärker ist als an den deutschen Küsten und man vielleicht hierdurch zu schnelleren Ergebnis- sen gelangen kann. Durch die örtlichen Verhältnisse bedingt, wurden die Versuchshölzer bei Chioggia nicht an Brücken befestigt, sondern in zwei Flößen ausgelegt. Um das Ausmaß der

Versuche zu beschränken, wurden hier nur Kiefer und Fichte als Rund- und Kantholz verwendet. In diesen Versuch wurden zusätzlich die Firmen CHEMISCHE WERKE E. MERCK, Darmstadt, und F. W. DÖLGER, DD-WERK, Bad Kissingen, mit einbezogen.

G. Erste Ergebnisse von den Versuchsstationen

Um einen Überblick über die bisherigen Ergebnisse zu erhalten, wurde der Befall der verschiedenen Hölzer durch Bohrmuscheln und Bohrkrebse in Schaubildern für die einzelnen Stationen, soweit sie befallen waren, zusammengestellt. Hierbei wurden sechs Befallsgrade von 0

Küstenausschuß Nord- u Ostsee
Der Leiter der Arbeitsgruppe
Bekämpfung der Bohrmuschel

BEZEICHNUNG DER HOLZER DER VERSUCHSSTATION

WILHELMSHAVEN

1955

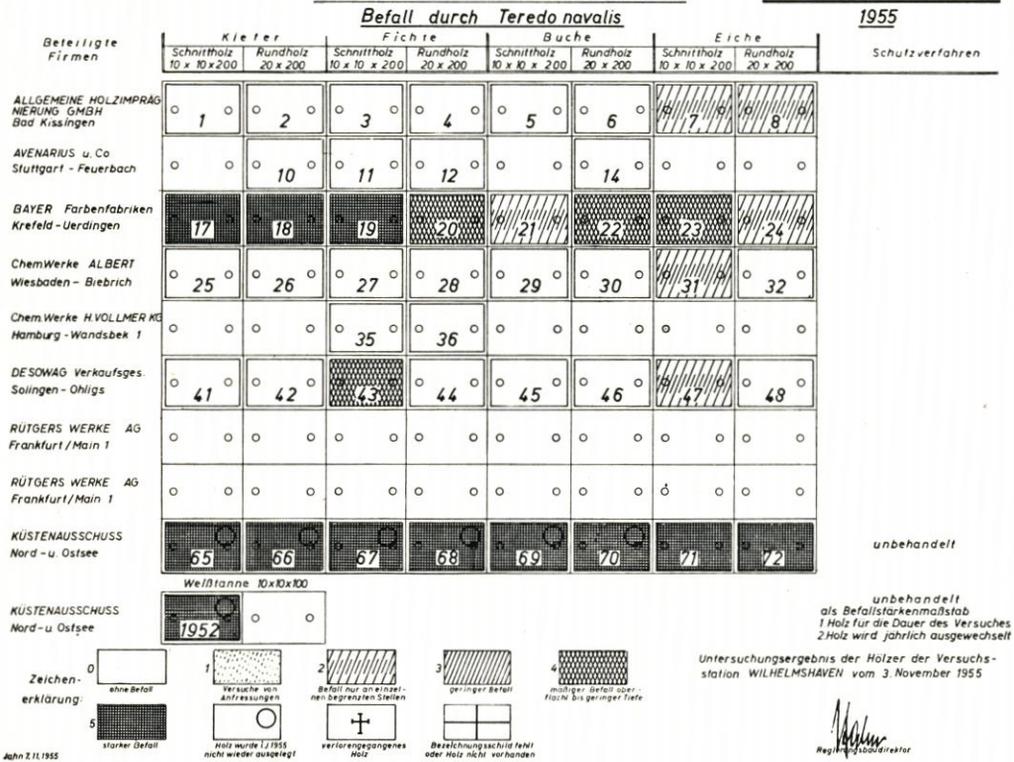


Abb. 32. Untersuchungsergebnis an den Hölzern der Versuchsstation Wilhelmshaven vom 3. Nov. 1955

(frei von Befall) bis 5 (sehr starker Befall) verwendet. Die Schaubilder, je eins von Wilhelmshaven und Italien, lassen deutlich erkennen, daß die unbehandelten Kiefern- und Fichten-Schnitt- und Rundhölzer durchweg stark von *Teredo* und *Limnoria* angegriffen wurden. In Wilhelmshaven sind auch Buche und Eiche sehr stark durch *Teredo* zerstört worden. Dagegen ist das Buchenholz in Norderney sowohl von der Bohrmuschel, als auch von den Bohrkrebse nur gering angegriffen worden, — das Buchen-Rundholz zeigt hier überhaupt keinen Teredobefall —, und auch in List sind die Angriffe durch *Limnoria* nicht so stark. Ähnliches gilt auch für das Eichenholz, das ebenfalls in Norderney und List nur geringere Zerstörungen aufweist.

Ölige Holzschutzmittel

Die von den RÜTGERS-WERKEN behandelten Hölzer waren von *Teredo* nicht befallen und im allgemeinen auch frei von *Limnoria*. An beschädigten Stellen zeigten sich in Norderney am Eichenschnittholz und in List am Fichtenschnittholz allererste Anfressungen von *Limnoria*. Lebende Tiere wurden hier nicht gefunden.

Die mit „Sotor“ durch die Firma AVENARIUS & Co. behandelten Hölzer waren im allgemeinen gut gegen *Teredo* geschützt; die Fichten-Schnitt- und Rundhölzer waren dagegen in Norderney und List von Bohrkrebsen befallen.

Ein ähnliches Bild zeigte sich auch bei den mit „HV 29“ durch die H. VOLLMER KG behandelten Hölzern, hier zeigte außerdem auch das Eichen-Schnittholz noch erste Anfressungen von *Limnoria*.

Von den mit „Xylamon T 59“ durch die DESOWAG Chemie behandelten Hölzern waren in Norderney und Wilhelmshaven die Fichten- und Eichenhölzer durch *Teredo* angegriffen worden. Dagegen waren die Hölzer gegenüber den Bohrkrebsen geschützt, lediglich das Fichten-Rundholz zeigte in List geringe Versuche von Anfressungen durch *Limnoria*, ohne daß lebende Tiere gefunden wurden.

Wasserlösliche Schutzmittel

Die Behandlung der Versuchshölzer mit „Wolmanit UABP“ der Firma ALLGEMEINE HOLZ-IMPRÄGNIERUNGS GMBH und mit „Basilit UA Spezial-KBF-Harz“ der FARBENFABRIKEN BAYER sowie mit dem Präparat „ZA 2“ der CHEMISCHEN WERKE ALBERT gewährte keinen ausreichenden Schutz gegen *Teredo* und *Limnoria*.

Vergleicht man die in Norderney, Wilhelmshaven und List gefundenen Ergebnisse mit denen aus der Adria, so zeigt sich eine in den wesentlichen Punkten sehr gute Übereinstimmung.

Über die Ergebnisse an der Station in der Venezianischen Lagune Chioggia läßt sich folgendes sagen:

Wie die Zusammenstellung zeigt, sind die unbehandelten Hölzer alle sehr stark von *Teredo* und *Limnoria* und *Chelura* befallen (Befallsgrad 5). Bemerkenswerte Unterschiede waren bei den verschiedenen Hölzern nicht festzustellen. Es sei übrigens bemerkt, daß nicht unbedingt die unbehandelten Hölzer immer am stärksten befallen sein müssen.

Aus der Zusammenstellung geht ferner hervor, daß nicht alle angewandten Schutzmittel in gleicher Weise auf Bohrmuscheln und Bohrasseln wirken, wie es bereits oben angegeben war.

Im ganzen gesehen war der Schutz bei Kiefernholz besser als bei Fichtenholz. Während im Falle der Kiefer das Schnittholz etwas besser geschützt zu sein scheint als das Rundholz, ist bei Fichte das Schnittholz — im Durchschnitt der Versuche — etwas stärker befallen als das Rundholz.

Im einzelnen zeigen sich folgende Ergebnisse:

Ölige Holzschutzmittel

Die beiden Anwendungsformen von „Schwerem Steinkohlenteeröl“ durch die RÜTGERS-WERKE AG haben den sichersten Schutz ergeben. Sämtliche Versuchshölzer waren bei der Kontrolle nicht befallen.

Die Behandlung mit „Sotor“ durch die Firma R. AVENARIUS & Co. und mit „HV 29“ durch die CHEMISCHE FABRIK HAUENSCHILD schützten die Hölzer bis auf Befall durch Bohrmuscheln und Bohrasseln an einzelnen begrenzten Stellen im Fichtenschnittholz; die anderen drei Hölzer waren jeweils ohne jeden Befall.

„Xylamon T 59“ der DESOWAG-CHEMIE-GMBH versagte in der angewandten Form gegen-

ITALIEN

Befall durch Tereidiniden

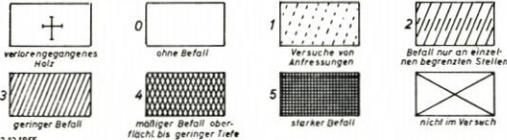
Befall durch Chelura und Limnoria

K I E F E R F I C H T E

K I E F E R F I C H T E

	K I E F E R				F I C H T E			
	Rundholz Ø 20 x 200 cm	Schnittholz 10 x 10 x 200 cm	Rundholz Ø 20 x 200 cm	Schnittholz 10 x 10 x 200 cm	Rundholz Ø 20 x 200 cm	Schnittholz 10 x 10 x 200 cm	Rundholz Ø 20 x 200 cm	Schnittholz 10 x 10 x 200 cm
Allg. Holzimprägnierung	1	2	3	4	1	2	3	4
Avenarius & Co	5	6	7	8	5	6	7	8
Farbenfabrik Bayer	9	10	11	12	9	10	11	12
Chem. Werke Albert	13	14	15	16	13	14	15	16
Chem. Werke Hauenschildt	17	18	19	20	17	18	19	20
Chem. Fabrik E. Merck	21	22	23	24	21	22	23	24
Desowag Verkaufsgesellsch.	25	26	27	28	25	26	27	28
Rütgerswerke A. G.	29	30	31	32	29	30	31	32
Rütgerswerke A. G.	33	34	35	36	33	34	35	36
Küstenausschuß	37	38	39	40	37	38	39	40
Dölger DD-Werk G.m.b.H.	41	41	41	41	41	41	41	41
Dölger DD-Werk G.m.b.H.	42	42	42	42	42	42	42	42

Zeichenerklärung:



Untersuchungsergebnis der Hölzer der Versuchsstation Chioggia/Italien in der Zeit vom 26. 9. bis 1. 10. 1955

KÜSTENAUSSCHUSS NORD- UND OSTSEE
Der Leiter der Arbeitsgruppe
Bekämpfung der Bohrmuschel

Wolman
Regierungsbaudirektor

Abb. 33. Untersuchungsergebnis an den Hölzern der Versuchsstation Chioggia/Italien in der Zeit vom 26. 9. bis 1. 10. 1955

über *Teredo*; nur das Kiefern-schnittholz war noch frei von Befall. Dagegen wurde an keinem der Hölzer *Limnoria* und *Chelura* beobachtet.

Ähnlich war das Ergebnis mit „Anyten“ der CHEMISCHEN FABRIK E. MERCK. Die Zerstörungen durch *Teredo* waren — im ganzen gesehen — noch etwas stärker als bei „Xylamon T 59“. Gegen *Limnoria* und *Chelura* war jedoch das mit „Anyten“ behandelte Holz ebenfalls noch sicher geschützt.

Wasserlösliche Schutzmittel

Von den beiden mit einem „Spezial-UA-W-Gemisch“ behandelten Fichtenkänthölzern der Firma F. W. DÖLGER war das zusätzlich mit Bohrlochfüllungen und nach Abtrocknen mit einem besonderen Anstrich versehene Holz ohne Befall. Das andere Holz zeigte Versuche von Anfrassungen durch Bohrmuscheln und Bohrsasseln.

Die Behandlung mit „Wolmanit UABP“ der Firma ALLGEMEINE HOLZIMPRÄGNIERUNG GmbH war in der angewandten Form unzureichend. Dabei war der Befall durch *Limnoria* in allen drei Holzproben vergleichenweise etwas stärker als der Befall durch *Teredo*.

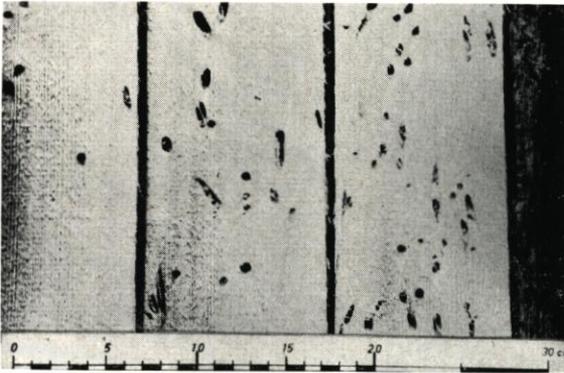


Abb. 34. Das Testholz aus dem Jahre 1952/53 der Station Wilhelmshaven, zerschnitten in 10 mm starke Scheiben. Auf den drei linken 10 mm starken Scheiben ist der Befall durch *Teredo* deutlich sichtbar

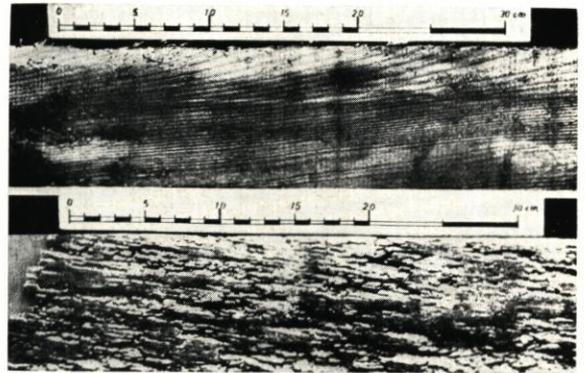


Abb. 35. Jahrestestholz 1953 von List auf Sylt; auf dem unteren Holz ist sehr deutlich der Angriff durch *Limnoria* sichtbar, die bis zu einer Tiefe von 10 mm (wie das obige Holz zeigt) eingedrungen ist



Abb. 36. Fichtenrundholz, unbehandelt, der Station Wilhelmshaven, das von Frühjahr 1953 bis Herbst 1955 ausgelegen hat und diesen starken Befall von *Teredo* zeigt. Praktisch ist das Holz innerhalb von drei Jahren aufgezehrt

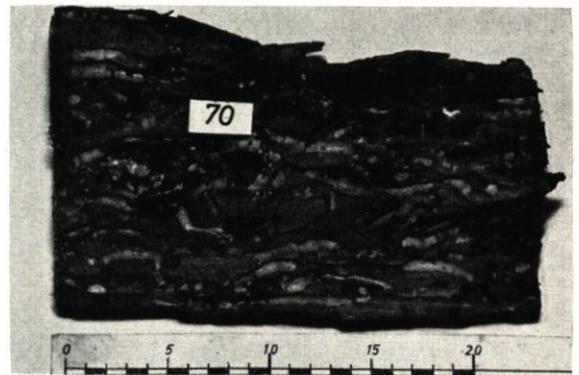


Abb. 37. Ausschnitt aus einem unbehandelten Buchenrundholz der Station Wilhelmshaven, das ebenfalls in dem gleichen Zeitraum völlig zerstört ist



Abb. 38. Die auf Land gezogenen Flöße der Station Italien



Abb. 39. Unbehandeltes Fichten-Schnittholz, bei dem eine große Anzahl von Kalkgängen freigelegt ist. Die Kalkgänge lagen bis zu 15 cm im Holz und sind von *Chelura* und *Limnoria* freigelegt. Die Hölzer haben nur zwei Jahre ausgelegen

Die mit dem Präparat „ZA 2“ der CHEMISCHEN WERKE ALBERT behandelten Hölzer waren ebenfalls sämtlich angegriffen; drei von ihnen waren von Bohrmuscheln zerstört. Der *Limnoria*-befall war hier schwächer als der *Teredo*-befall.

Die Kombinationsbehandlung mit „Basilit UA Spezial-KBF-Harz“ der FARBENFABRIKEN BAYER hat sowohl gegen *Teredo* als auch gegen *Limnoria* und *Chelura* versagt.

Zur Illustrierung des eben Vorgetragenen dienen die Abbildungen 34—39.

H. Hydrographische Betrachtungen

Um festzustellen, ob und welche Beziehungen zwischen den hydrographischen Daten, dem Auftreten der einzelnen Schädlinge und den oft starken Schwankungen im Befall vorhanden sind, wurden, wie bereits oben erwähnt, an den einzelnen Stationen neben der laufenden Beobachtung und Untersuchung der Hölzer regelmäßig Wasserproben entnommen, die auf den jeweiligen Salzgehalt, die Temperatur, den pH-Wert und den Sauerstoffgehalt untersucht wurden.

Auffallend war z. B., daß in den Jahren 1953 bis 1955 der Befall in Cuxhaven bei *Teredo* auf 0—1 zurückgegangen war, während 1947 bis 1949 der stärkste Befall 4—5 betrug.

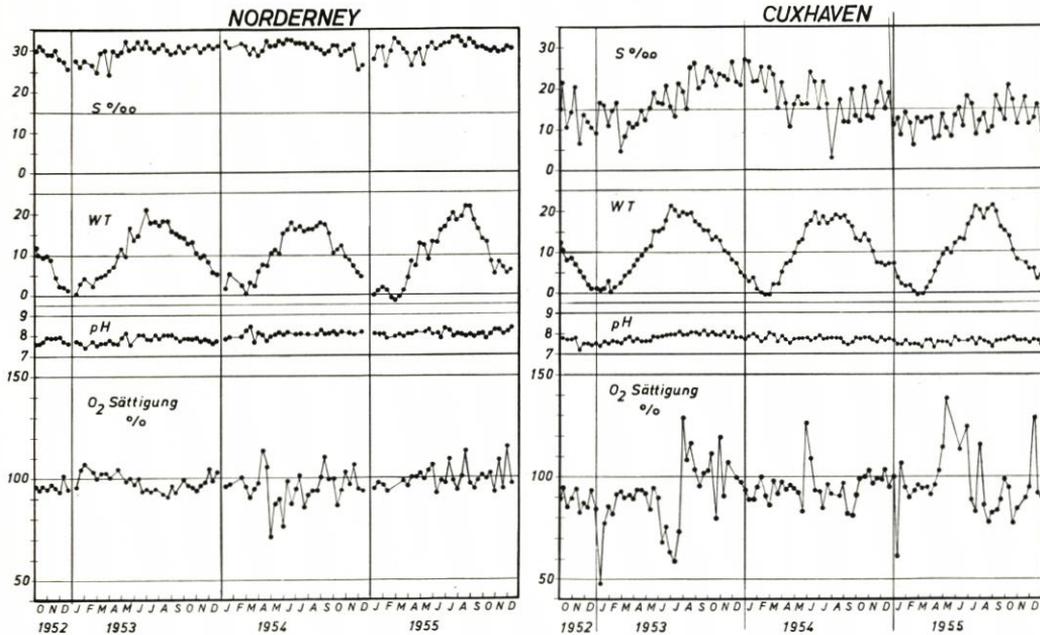


Abb. 40. Hydrographische Daten der Jahre 1952—1955 für Norderney und Cuxhaven

Limnoria war jedoch in der ganzen Zeit nie aufgetreten. In der gleichen Zeit zeigte aber Norderney sowohl *Teredo*- als auch *Limnoria*-Befall. Das Schaubild der hydrographischen Daten (Abb. 40) für Norderney und Cuxhaven zeigt für den gleichen Zeitraum wesentliche Unterschiede. Norderney zeigt einen ziemlich gleichmäßigen Verlauf. Die Werte für Salzgehalt liegen im Sommer meist über 30 ‰, in den Winter- bzw. Frühjahrsmonaten sinken sie bis auf 25 ‰. Die Wassertemperaturen sind im Januar/Februar am niedrigsten, die Werte liegen bei 0° C. Im Juli bis September werden meist 18° C erreicht; nur für kurze Zeit können die Was-

sertemperaturen auch über 20° C ansteigen, was für die Entwicklung von *Limnoria* bedeutungsvoll ist. In Cuxhaven bewegen sich die Oberflächen-Wassertemperaturen zwischen — 0,5° C im Januar bis März und 22° C im Juli/August. Abgesehen davon, daß längere Eiswinter schädigend auf den Teredobestand einwirken, sind die Unterschiede der Wassertemperatur gegenüber den früheren Jahren nicht so groß, daß dadurch eine ausreichende Erklärung für diese unterschiedliche Befallstärke gegeben wäre. Vergleicht man jedoch den Verlauf der Salzgehaltskurve der letzten Jahre mit denen der früheren Jahre, so zeigen sich hier wesentlich größere Schwankungen als bei den Temperaturen, was hauptsächlich von der Wasserführung der Elbe abhängt. In den Jahren 1954 bis 1955 lagen die Salzgehalte von Juni bis Oktober meist unter 20 ‰, oft sogar unter 15 ‰. Im Jahre 1953 stieg der Salzgehalt von August ab über 15 ‰. Herr Dr. KÜHL, Cuxhaven, Mitglied der Arbeitsgruppe, hat die Ergebnisse der einzelnen Stationen ausgewertet und wird an anderer Stelle darüber berichten. Dr. KÜHL, der mir dankenswerterweise zur Vervollständigung dieses Berichts die Unterlagen zur Verfügung gestellt hat, kommt unter anderem zu dem Schluß, daß für die Schwankungen die hydrographischen Daten die bedeutendste Rolle spielen und hierbei neben den Wintertemperaturen (Eisgang) besonders der Salzgehalt. Der Neubefall ist groß, wenn zur Zeit der Fortpflanzung der *Teredo navalis* der Salzgehalt für längere Zeit über 15 ‰ liegt. Kommen hierzu noch länger andauernde höhere Temperaturen, etwa über 20° C, so kann man, wie im Jahre 1947, mit sehr starkem Befall rechnen. Es ist dann möglich, daß innerhalb von zwei bis drei Jahren stärkste Zerstörungen auftreten. Da die Terediniden zwei bis drei Jahre leben, können diese Zerstörungen also von einem einzigen Brutfall herrühren, wenn die dazwischen liegenden Winter-Wassertemperaturen nicht zu niedrig sind.

Anders liegen die Verhältnisse bei *Limnoria*. *Limnoria* verlangt einmal stärkeren Salzgehalt als *Teredo*, ist aber gegen Temperaturen über 20° C sehr empfindlich. Deshalb ist wahrscheinlich *Limnoria* niemals in Cuxhaven aufgetreten.

I. Schlußbetrachtung

Die Ergebnisse, sowohl an den deutschen Stationen als auch an dem Parallelversuch in Italien haben bestätigt, daß im großen und ganzen solche Hölzer, die mit Teeröl-Volltränkung imprägniert sind, gegen die Angriffe der marinen Holzzerstörer geschützt sind. Leider sind die Versuche mit den übrigen Chemikalien zum großen Teil negativ ausgelaufen, wenn auch mit Rücksicht auf die kurze Zeit noch nicht abschließend über alle Mittel geurteilt werden kann. Das positive Ergebnis mit der Teeröl-Volltränkung ist jedoch deswegen nicht voll befriedigend, weil es zwar für Konstruktionshölzer von geringeren Längen durchaus brauchbar ist. Für die vielen jedoch im Seebau und speziell im Hafenbau benötigten großen und starken Abmessungen (man denke nur an die vielen Rammpfähle von 50 cm Durchmesser und mehr als 20 m Länge) ist dieses Verfahren in der Praxis deshalb kaum anwendbar, weil einmal das Holz tränkeif sein muß, was bei den starken Abmessungen kaum vor einem Jahr Lagerung möglich ist. Sodann kann eine solche Tränkung nur auf den Imprägnierwerken selbst und niemals an der Baustelle vorgenommen werden. Das Verfahren erfordert daher neben den preislichen Nachteilen erhebliche Zeitspannen. Welche Termenschwierigkeiten bei größeren Bauvorhaben neben den finanziellen damit verbunden sind, braucht nicht näher erläutert zu werden. Hinzu kommt, daß die Teeröl-Volltränkung eigentlich nur bei Kiefer und Buche vollen Erfolg bringt, während die Struktur der weichen Hölzer, Tanne und Fichte, für eine Tränkung ungeeignet ist. Die Weichhölzer müssen aber heute im großen Maße als Ersatz für die immer seltener werdende starke Kiefer genommen werden. Auch die Struktur der Eiche ist für die Tränkung nicht geeignet.

Die Arbeitsgruppe hat deshalb der an den bisherigen Versuchen beteiligten Schutzmittel-Industrie das Zwischenergebnis — die Versuche laufen weiter — mitgeteilt und sie gleichzeitig gebeten, weitere Schutzmittel zu entwickeln und für neue Versuche zur Verfügung zu stellen. Das Ziel muß bleiben, ein Verfahren zu finden, das möglichst auf jeder Baustelle anwendbar ist und nicht nur für die Kiefer, sondern möglichst auch für Weichhölzer verwendet werden kann.

Für die Zwischenzeit — bis zum Vorliegen neuer Ergebnisse — kann für die bohrmuschelgefährdeten Zonen folgendes empfohlen werden:

1. Möglichst wenig Holz verwenden, wo angängig statt dessen Stahl, Stahlbeton oder Stein nehmen. (Vielleicht ist auf diese Weise auch ein Rückgang der Bohrmuschel zu erreichen, weil ihr dann die natürlichen Nahrungsgründe fehlen.)
2. Wenn trotzdem aus bestimmten Gründen Holz notwendig ist, entweder vollgetränktes Kiefernholz oder diesem gleichwertige ausländische Harthölzer verwenden. Nach den in den letzten Jahren gemachten Erfahrungen sind die ausländischen Harthölzer nicht wesentlich teurer als vollimprägnierte Kiefernholz.
3. Für Schnittholz kann neben der Kiefer besonders mit Teeröl vollimprägnierte Buche empfohlen werden. Sie ist den tropischen Harthölzern gleichwertig.
4. Weichhölzer — Tanne und Fichte — sind ungeeignet, da sie in kürzester Zeit zerstört sind und sicher wirkende Schutzmittel für diese Hölzer heute noch nicht angegeben werden können.

Schriftenverzeichnis³⁾

1. BECKER, G.: Die Bohrmuschel *Teredo*, der gefährlichste Holzzerstörer an deutschen Küsten. Holz als Roh- und Werkstoff I, 7, 1938.
2. BECKER, G.: Holzschutzaufgaben gegen Meerwasser-Schädlinge. Zeitschr. f. Hygienische Zoologie 36, H. 4—8, 1944.
3. HAHN, A.: Bilanzbericht über Vorkommen und Bekämpfung der Bohrmuschel und anderer tierischer Holzschädlinge unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse an der deutschen Nord- und Ostseeküste. Küstenausschuß Nord- und Ostsee — Arbeitsgruppe „Bekämpfung der Bohrmuschel“. Cuxhaven 1953.
4. HARDY, E.: Studies of Harbour Borers. Dock & Harbour Auth., 18, 1948.
5. JAHN, KÜHL und OSTENDORFF: Über die Bohrmuschel *Teredo* in der Elbmündung. Als Manuskript vervielfältigt 1951 mit einem Nachtrag für die Jahre 1951/52.
6. JAY, B. A.: Marine Borers and Methods of Combating Them. Dock & Harbour Authority, Dezember 1952.
7. KÜHL, H.: Über den Bohrmuschelbefall in Fischkuttern. Fischereiwelt H. 9, 1951.
8. KÜHL, H.: Unsere gegenwärtigen Kenntnisse über die Biologie der Tereidiniden. Hansa 89, H. 1/2, 1952.
9. Küstenausschuß Nord- und Ostsee — Arbeitsgruppe Bohrmuschel: Bericht über Versuche mit Holzschutzmitteln gegen marine Holzzerstörer in der Venezianischen Lagune. September 1952.
10. Küstenausschuß Nord- und Ostsee — Arbeitsgruppe Bohrmuschel: Bericht über die Auswertung der Versuchshölzer an den Stationen A—E der deutschen Nord- und Ostseeküste. November 1955.
11. LAUCHT: Der gegenwärtige *Teredo*-Befall in der Elbemündung. Hansa 88, H. 50, 1951.
12. LUETJOHANN, E.: Ergebnisse der Taucheruntersuchung der 800-m-Kaimauer im Binnenhafen Holtenau. Hansa 89, H. 25/26, 1952.
13. MAHLKE u. TROSCHEL: Handbuch der Holzkonservierung. 3. Aufl. Berlin-Göttingen-Heidelberg 1950.
14. MEYER: Holzschutz gegen die Bohrmuschel durch Xylamon. Forstl. Wochenschr. „Silva“ Nr. 29, 1935.
15. NN: *Teredo* and *Lymnoria*. Marine News 1950.

³⁾ Das Verzeichnis führt nur das neuere Schrifttum auf.

16. ROCH, F.: Die Holzschädlinge der Meeresküsten und ihre Bekämpfung. Zeitschr. Verein deutscher Ingenieure Nr. 3, 1926.
17. ROCH, F.: Die Holz- und Steinschädlinge der Meeresküsten und ihre Bekämpfung. Veröff. Medizinalverw. Berlin Bd. 24, H. 2, 1927.
18. SCHNEIDER: Baustoffangriffe in Wilhelmshaven. Jahrb. Hafenbautechn. Gesellsch. 1937.
19. TIMMERMANN, E. H. A.: Houtvernielers in zee- en brakwater. Polytechn. tijdschr. Uitg. B. 11, H. 5/6, 1956.
20. WINDOLF: Der Bohrwurmbefall an Holzbauten in den Cuxhavener Häfen. Werft-Reederei-Hafen H. 24, 1936.

Die Versalzung der niederländischen Marschen und ihre Bekämpfung*)

Von Johan van Veen

Inhalt

1. Ursachen und Auswirkung der Versalzung	73
2. Mittel zum „Süßhalten“ der Niederlande	83
3. Die staatliche und überstaatliche Organisation der Wasserwirtschaft	85

1. Ursachen und Auswirkung der Versalzung

Der Niederländische Minister für Verkehr und Waterstaat erteilte dem Waterstaatsdienst am 2. Dezember 1952, also gerade zwei Monate vor der Katastrophe vom 1. Februar 1953, den Auftrag, endgültige Pläne für die Abdämmung der Seegaten an der südwestlichen Küste der Niederlande, ausgenommen die Schelde, vorzulegen. Wir waren schon mehr als fünfzehn Jahre damit beschäftigt. 1950 hatten wir die Mündung der Brielse Maas an einer Stelle südlich von Hoek van Holland abgeschlossen (Abb. 1).

Am 16. Februar 1953 beauftragte der Minister die von ihm ernannte Deltakommission, „den Südwesten des Landes so weit wie nur möglich vor den zwei bösen Einflüssen des Meeres zu schützen: den hohen Fluten und der Versalzung“. Der Minister dachte und, ich darf wohl sagen, hoffte, daß die Deltakommission die Küstenverkürzung vorschlagen sollte. Später galt der Auftrag für das ganze Land.

Die Idee der völligen Küstenverkürzung schwebte schon 1667 einem gewissen HENDRIK STEVIN vor, als er über den gänzlichen Ausschluß der Nordsee und über „die Gewalt und das Gift“, die „zwei bösen Einflüsse dieser See“ schrieb.

Auf die heranschleichende Gefahr des im Südwesten der Niederlande eindringenden salzigen Wassers sind wir jedoch wenig vorbereitet gewesen. Wir wurden zum erstenmal von den Gartenbauwissenschaftlern (um 1937) wachgerüttelt, die darauf hinwiesen, daß die Erzeugung von Gartenbaugewächsen sogar ein kleines Maß an Salz nicht vertragen kann.

Besonders wurde nachgewiesen, daß Gartenbau unter Glas — in den Niederlanden meistens im „Westland“ zwischen Delft, Den Haag und Hoek van Holland — sicher sehr unter Salz leidet, wenn Brackwasser für das Begießen benutzt wird. Die Verdunstung bewirkt, daß das Salz im Boden akkumulieren kann. Nötig ist ein im Boden nach unten gerichteter Reststrom von Süßwasser. Gibt es keinen Reststrom oder ist er nach oben gerichtet, dann wird man bald eine Salzvergiftung feststellen müssen. In Gewächshäusern ist also viel süßes Gießwasser nötig, viel mehr als durch die Verdunstung verbraucht wird.

Die Versuche, die hierüber angestellt wurden, wirkten suggestiv (Abb. 6 bis 8 auf S. 79 und 80). Die Landwirte gingen weiter und warfen uns Wasserbauingenieuren vor, daß wir den Salzgehalt in unseren Gewässern nachteilig beeinflussten. Im Jahre 1893 wurde noch Seewasser in den Rotterdamschen Waterweg 5 km oberhalb der Mündung bei Hoek van Holland eingelassen, bis zum trockenen Jahre 1921 noch bei Maassluis, 13 km vom Meere entfernt, bis 1934

*) Nach einem Vortrag auf der 2. Arbeitstagung des Küstenausschusses Nord- und Ostsee am 8. Mai 1956 in Kiel.

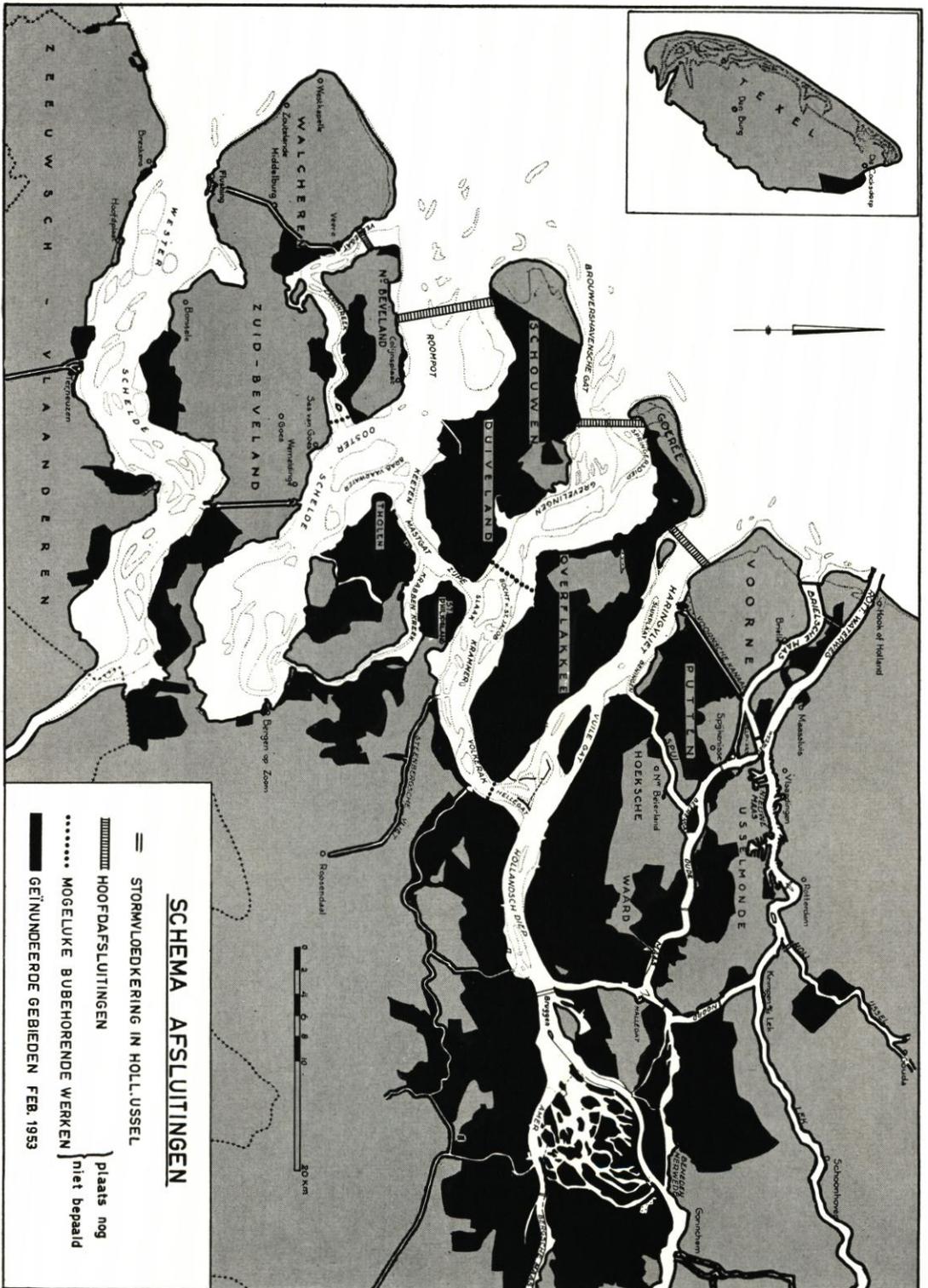


Abb. 1. Die geplante Abdämmung der Seegaten in Zeeland (Deltaplan, vgl. Die Küste, 1954)

bei Vijfsluizen, 21 km vom Meere entfernt, und bis 1947 in Rotterdam (Parkhaven), 28 km vom Meere entfernt.

Ob diese Versalzung wirklich in einem halben Jahrhundert 23 km landeinwärts gekommen ist, unterliegt berechtigtem Zweifel. Vermutlich ließ man früher wohl Brackwasser ein und man war überhaupt in Acker- und Gartenbaukreisen nicht so wach wie jetzt.

Dennoch müssen wir auf Grund eines Vergleichs der Salzgehaltsmessungen von 1907/08 mit den heutigen zugeben, daß die Salzgrenze in den Wasserwegen von Rotterdam und Dordrecht in beträchtlichem Maße landeinwärts gekrochen ist. Seit 1921 stehen auch zuverlässige

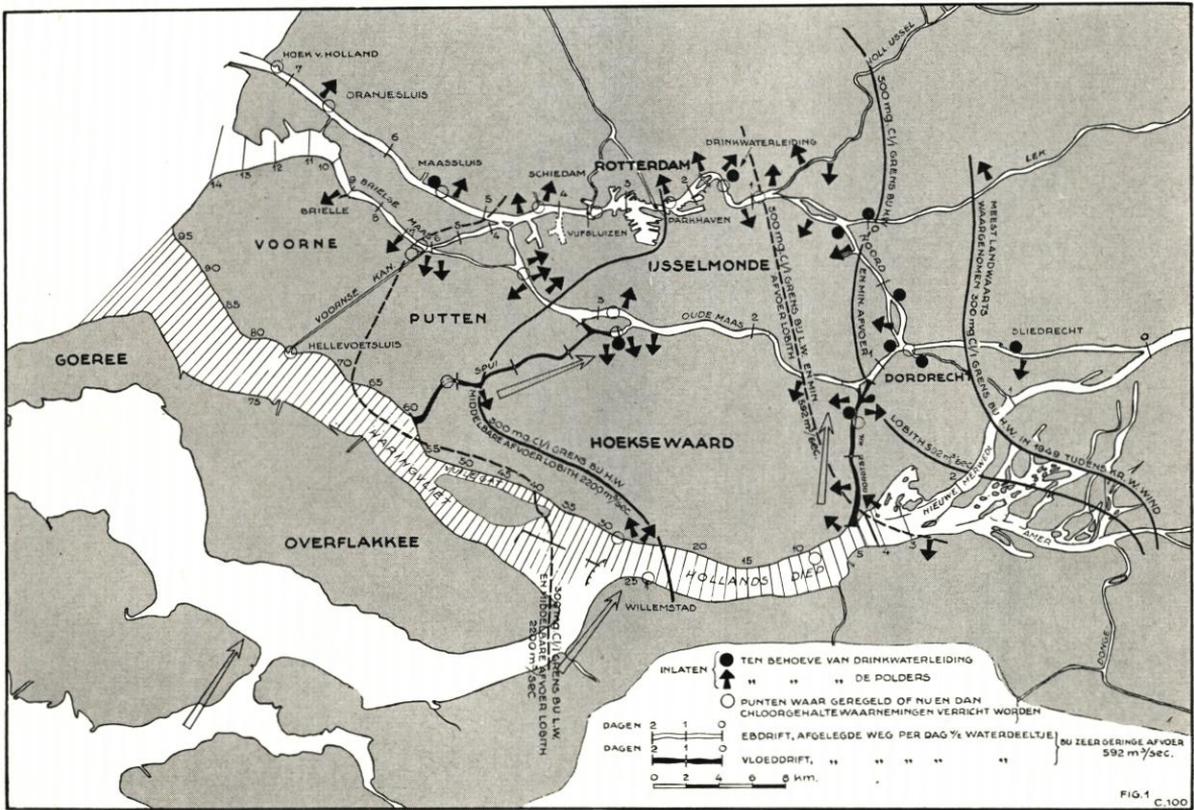


Abb. 2. Hoch- und Niedrigwassergrenzen von 300 mg Chlor/Liter in normalen und trockenen Perioden. Reststromweg je Tag

(Die „offen“ gezeichneten Pfeile symbolisieren die salzigen Restströme, die in den trockenen Zeiten, nämlich in Zeiten, wenn die Abflusmengen der großen Flüsse verhältnismäßig klein sind, landwärts ziehen)

Beobachtungsreihen zur Verfügung, die davon zeugen, daß der Salzgehalt der genannten Gewässer bedeutend zugenommen hat. Seit 1934 kann die Stadt Maassluis kein Trinkwasser mehr aus dem Fluß zapfen, und man mußte sich ein sogenanntes Wasserboot anschaffen. Dieses Boot holt das Trinkwasser jetzt meistens aus der Oude Maas, von einer Stelle etwa 10 bis 20 km landwärts von Maassluis.

Die Rotterdamer Trinkwasserleitung liegt jetzt an der äußersten Grenze. Wer nicht aus Rotterdam kommt, wird etwas am Tee, den man in dieser Stadt serviert, auszusetzen haben; die Rotterdamer selbst aber haben sich an den Geschmack gewöhnt. Man kann von neun

Trinkwasserfassungsanlagen in dem Rheinmündungsgebiet sagen, daß sie in größere oder kleinere Schwierigkeiten geraten sind (Abb. 2).

Die Salzgrenzen, nämlich die Grenzen, die 300 mg Chlor/Liter markieren, ziehen sich jetzt in trockenen Zeiten in den Rheinmündungen bei Flut 36 bis 48 km landeinwärts (von der

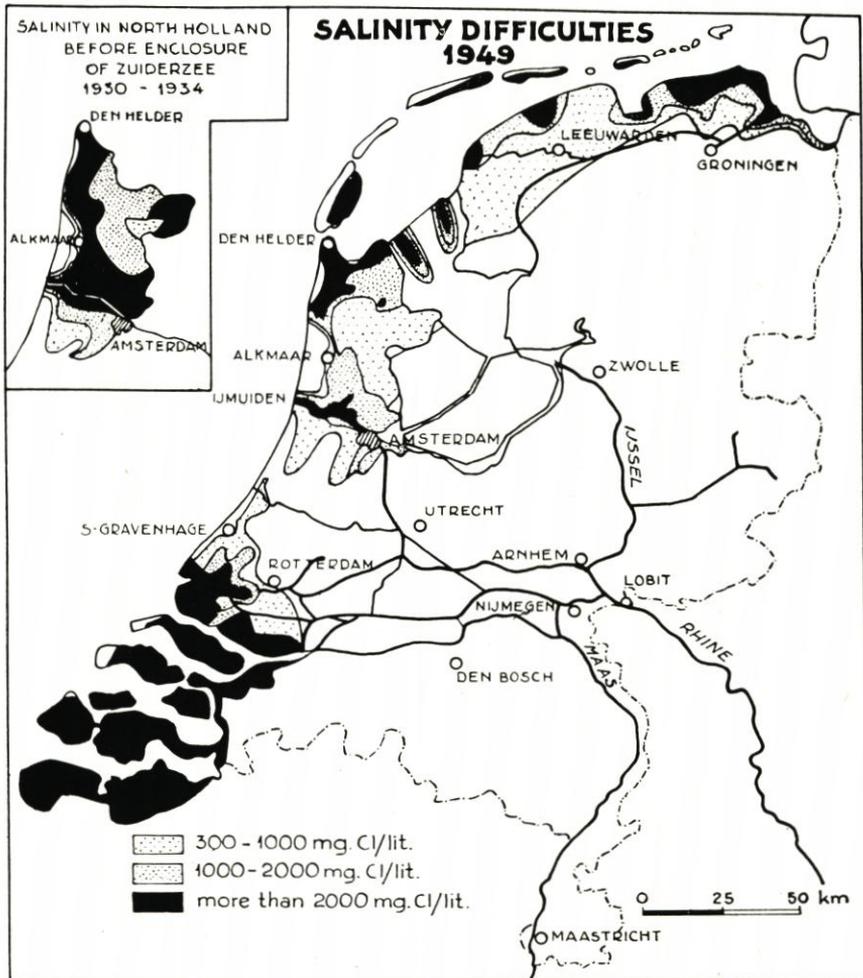


Abb. 3. Allgemeine Übersicht der Versalzung der niederländischen Gewässer

Küste gerechnet). Die Linien, die diese Grenzen auf der Karte, Abbildung 2, darstellen, sind durch das Land gezogen, aber das ist unrichtig. Im Lande, mit den vielen Kanälen und Gräben, verlaufen die Grenzen ganz anders.

Die Rheinmündungen sind jedoch noch verhältnismäßig gut. Anders ist es im Norden und Süden.

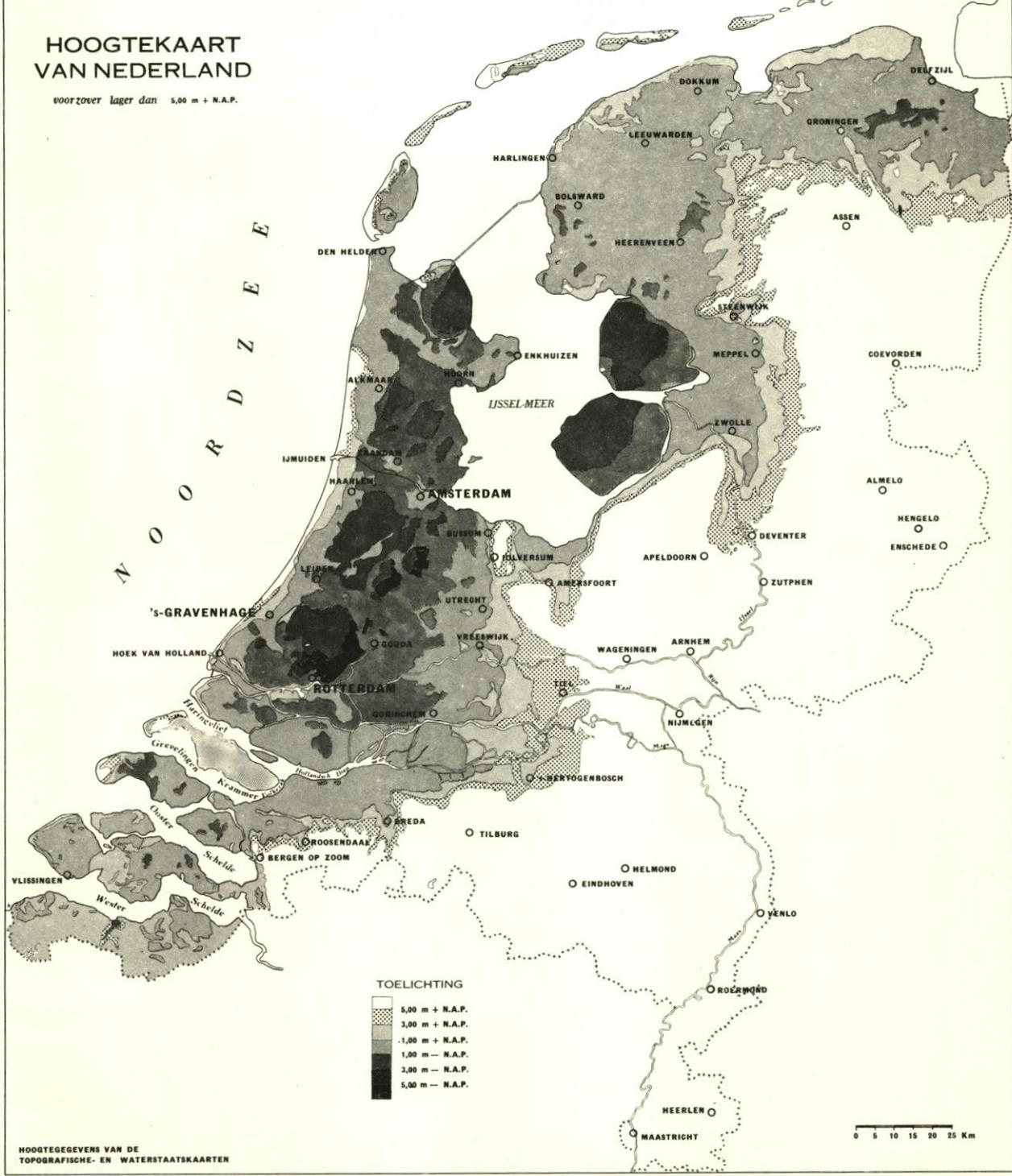
Die Zuiderzee ist um 1300 salzig geworden. Dies steht im Zusammenhang damit, daß der Kleigürtel zwischen Wieringen und Harlingen durchbrochen und erodiert wurde, so daß der große Moorsee namens Flevo eine bessere Verbindung mit dem Meere bekam.

Im Süden sind die zeeländischen Gewässer immer salzig gewesen (Abb. 3). Die Schelde

HOOGTEKAART VAN NEDERLAND

voorzover lager dan 5,00 m + N.A.P.

N
O
O
R
D
Z
E
E



TOELICHTING

(Dotted pattern)	5,00 m + N.A.P.
(Horizontal lines)	3,00 m + N.A.P.
(Vertical lines)	1,00 m + N.A.P.
(White)	0 m + N.A.P.
(Light grey)	1,00 m - N.A.P.
(Dark grey)	3,00 m - N.A.P.
(Black)	5,00 m - N.A.P.

HOOGTEGEGEVENS VAN DE
TOPOGRAFISCHE- EN WATERSTAATSKAARTEN

0 5 10 15 20 25 Km

Höhenkarte der Niederlande
(Höhenstufen zwischen - 5,00 m bis + 5,00 m N.A.P.)

führt zwar einiges Süßwasser ab, aber die Menge ist klein. Wenn der Rhein einen sehr hohen Stand hat, strömt etwas Süßwasser über den Volkerak nach Süden; es erreicht das Meer über Zeeland aber nicht, da hier gewöhnlich ein Reststrom vorhanden ist, der Salzwasser aus dem Meer über die Osterschelde und die Zijpe nach Norden führt. Dies ist ein Reststrom, der infolge des Gezeitendrucks von Süden her entstanden ist. Die Größe des Stroms ist etwa 10 Millionen Kubikmeter in jeder Gezeit. In trockenen Zeiten wirkt der Gezeitendruck aus Süden auch im Kil und im Spui, so daß Brackwasser aus dem Hollandsch Diep nordwärts gestaut wird und es dem Wasserweg von Rotterdam gleichsam in den Rücken fällt.

Die südlichste Rheinmündung, der Haringvliet, ist infolge der anhaltenden Salzwasserinjektionen aus dem Volkerak ständig brackig. Eine andere Ursache dieser Versalzung des Haringvliets ist die enorm lange Reisezeit, die ein Teilchen Süßwasser braucht, um von den Moerdijkbrücken das Meer bei Goeree zu erreichen. In außerordentlich trockenen Perioden würde dieses Teilchen für diese 50 km fast hundert Tage brauchen, aber diese Trockenzeiten halten nicht so lange an. Die Wassermassen pendeln in dieser Zeit fortwährend hin und her und verursachen eine Mischung des Salz- und Süßwassers; diese Mischung ist eine der Ursachen, daß die Salzgrenze von 300 mg Chlor/Liter weit landeinwärts dringt.

Mischung ist die große Ursache der Versalzung unserer Rheinmündung, denn Mischung bedeutet Brackwasserbildung. Gäbe es keine Mischung, so gäbe es kein Brackwasser und die Salzgrenze würde nur 15 km von den Mündungen entfernt liegen statt 40 oder sogar 60 km.

Rotterdam hat offene Häfen, welche die Mischung von Süß- und Salzwasser in erheblichem Maße fördern. Salzwasser wird während der Kenterung von Flut auf Ebbe und kurz danach vom über den Salzkeil im Waterweg hinwegstreichenden Süßwasser nach dem Meer mitgeführt, aber dies verursacht einen salzigen Reststrom über den Boden landwärts. Viel Schlick und Sand kann deshalb auch nicht das Meer erreichen, sie werden sogar aus dem Meer landwärts geführt.

In offenen Häfen zieht bei Flut Salzwasser am Grunde aus dem Fluß in den Hafen ein, Süßwasser an der Oberfläche aus dem Hafen heraus in den Fluß. Bei Ebbe ist es umgekehrt. Dies hat nicht nur Mischung zur Folge, sondern auch Verschlickung der Häfen (Abb. 4).

Wir haben seit 1940 nur noch wenig im Waterweg gebaggert, aber es kann sein, daß die Schifffahrt jetzt größere Tiefen unbedingt nötig hat.

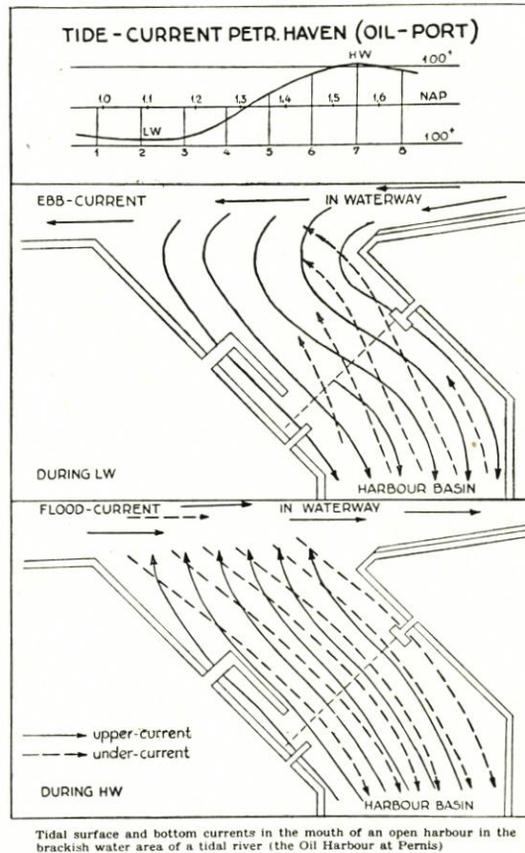


Abb. 4. Salzwasserströmung der Flut in offenen Häfen verursacht Brackwasserbildung durch Mischung

Abbildung 5 zeigt die Zunahme des Salzgehalts bei Maassluis seit 1921. Diese Zunahme ist hauptsächlich eine Folge des Hafenaues und der Baggerungen im Waterweg, in der Oude Maas und in den Flüssen oberhalb von Rotterdam.

Bei einer Abflußmenge des Rheins von 1000 m³/s (was durchschnittlich zwanzig Tage im Jahr vorkommt) können wir bei Niedrigwasser jetzt ungefähr die folgenden Chlorzahlen erwarten:

bei der Trinkwasserleitung Rotterdam	200 mg Chlor/Liter
beim Parkhaven	1200 mg Chlor/Liter
bei Vijfsluizen	1750 mg Chlor/Liter
bei Maasluis	2250 mg Chlor/Liter.

Das Seewasser kam also nur bei den Rheinmündungen nicht sehr weit landeinwärts, obgleich die Grenze von 300 mg Chlor/Liter weit landeinwärts zog. Die Zuiderzee, die Watten,

die zeeländischen Gewässer und die Westerschelde waren demgegenüber fast völlig salzig. Nach 1920 änderte sich die Lage: Die Zuiderzee wurde kurz nach 1932 süß und die Rheinmündungen wurden nach 1920 immer salziger; beide Erscheinungen waren auf menschliche Eingriffe zurückzuführen.

Der Deutlichkeit halber ist es erwünscht, zu betonen, daß man bei der Bekämpfung des Salzes sehr oft mit den minimalsten Prozentsätzen an Salz, in der Nähe der Geschmacksgrenze, rechnet. Was würde es nützen, wenn man das spezifische Gewicht des Wassers von 100 % Seewasser bis 50 % Seewasser herabdrücken würde,

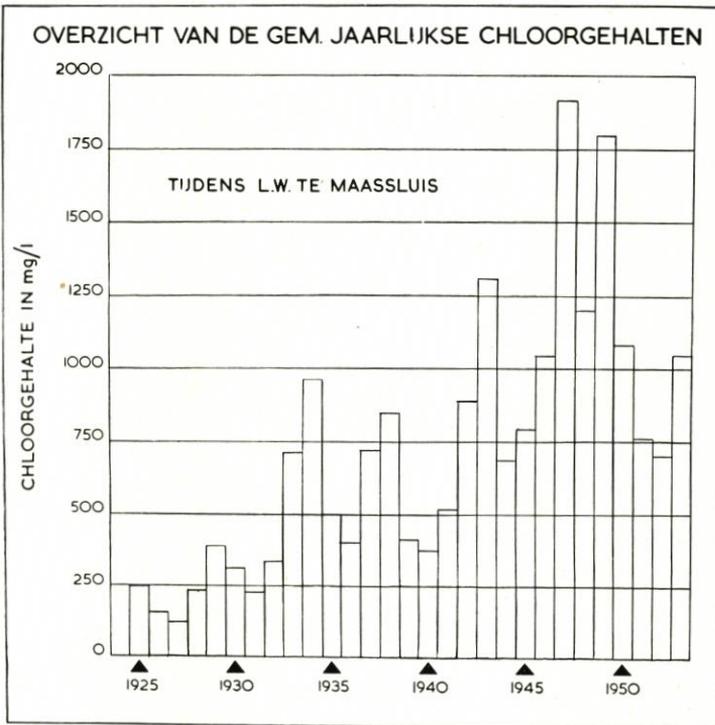


Abb. 5. Zunahme des Chlorgehalts zu Maassluis seit 1921

wenn die Pflanzen, der Mensch und die Tiere eine Verdünnung von etwa 1 % verlangen? Es ist wohl gesagt worden, daß es nichts zur Sache tut, ob ein Mensch mit einem Strang oder mit hundert Strängen gehängt wird; man will ja auch den einzigen Strang nicht um den Hals fühlen.

Welches sind die für den Menschen und für den Acker- und Gartenbau zulässigen Grenzen?

Der Mensch verlangt in der Regel Trinkwasser von weniger als 100 mg Chlor/Liter, aber er kann ganz ruhig bis zu 300 mg Chlor/Liter gehen, obschon die Geschmacksgrenze dann überschritten worden ist. Malaria tritt zwischen den Grenzen von 750 mg und 500 mg Chlor/Liter auf.

Die Landwirte geben die folgenden Zahlen:

Wasser zum Gießen darf nach den folgenden Ergebnissen von RIEMENS nicht mehr

als 300 mg Chlor/Liter enthalten (Versuche mit Tomaten und anderen Gemüsen, 1934, vgl. Abb. 6 bis 8):

Giesswasser	300 mg Chlor/Liter	15 % Ernteverlust
	600 mg Chlor/Liter	28 % Ernteverlust
	1200 mg Chlor/Liter	54 % Ernteverlust.

Höhere Prozentsätze an Chlor sind aber zulässig, wenn im Grabenwasser, das als Giesswasser gebraucht wird, etwas Kalk vorhanden ist und wenn man viel Durchspülwasser gebraucht, jedoch nicht zu viel, da die Pflanzen sonst erkranken. Es ist für Kulturen unter Glas also sehr erwünscht, die 300-mg-Chlor/Liter-Grenze nicht zu überschreiten.



Abb. 6. Bohnenpflanzen, mit Wasser von verschiedenem Chlorgehalt begossen

Für das Spritzen von Obstbäumen sind auch nicht mehr als 400 mg Chlor/Liter zulässig, da die Blätter sonst verbrennen. Birnen sind weniger empfindlich als Äpfel, Steinfrüchte noch etwas weniger.

Das Vieh gewöhnt sich in gewissem Sinne an Brackwasser. In Zeeland, wo das Wasser in den Gräben meistens brackig ist, nimmt man 3000 mg Chlor/Liter als Grenze an, für Pferde aber nicht mehr als ungefähr 2000 mg Chlor/Liter. Die antagonistische Wirkung anderer Salze, welche häufig in Brackwasser vorkommen, wie z. B. Sulfate, ist hierbei berücksichtigt. Ungewöhnte Tiere ertragen einen kleineren Chlorgehalt. In den Jahren 1947 und 1949 starben manche Kühe.

Für die gewöhnlichen Ackerbaugewächse soll man den Salzgehalt des Bodenwassers in der Grundschicht von 5 cm bis 20 cm berücksichtigen; der Gehalt nimmt in dieser Schicht je nach der Tiefe zu. 75 % des normalen Ertrages werden noch erreicht bei folgenden Grenzwerten des Salzgehalts im Bodenwasser:

Weisse oder braune Bohnen	400 mg Chlor/Liter
Erbsen	360 mg Chlor/Liter
Mohnsamen	600 bis 1200 mg Chlor/Liter
Zwiebeln	1500 mg Chlor/Liter
Kartoffeln	660 bis 2500 mg Chlor/Liter.

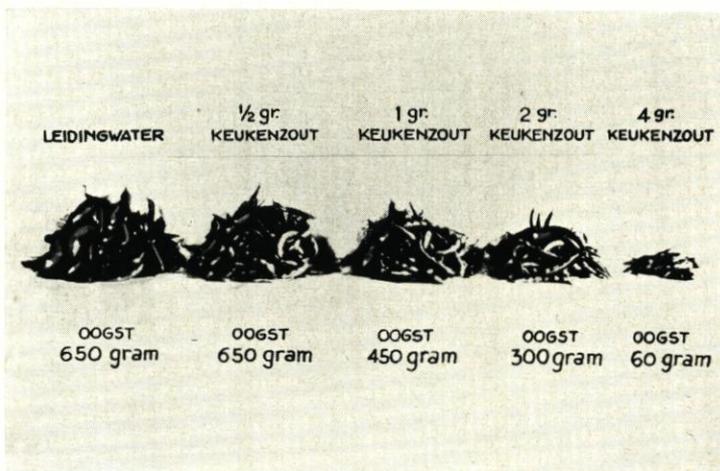


Abb. 7
Ertrag der Pflanzen von
Abbildung 6

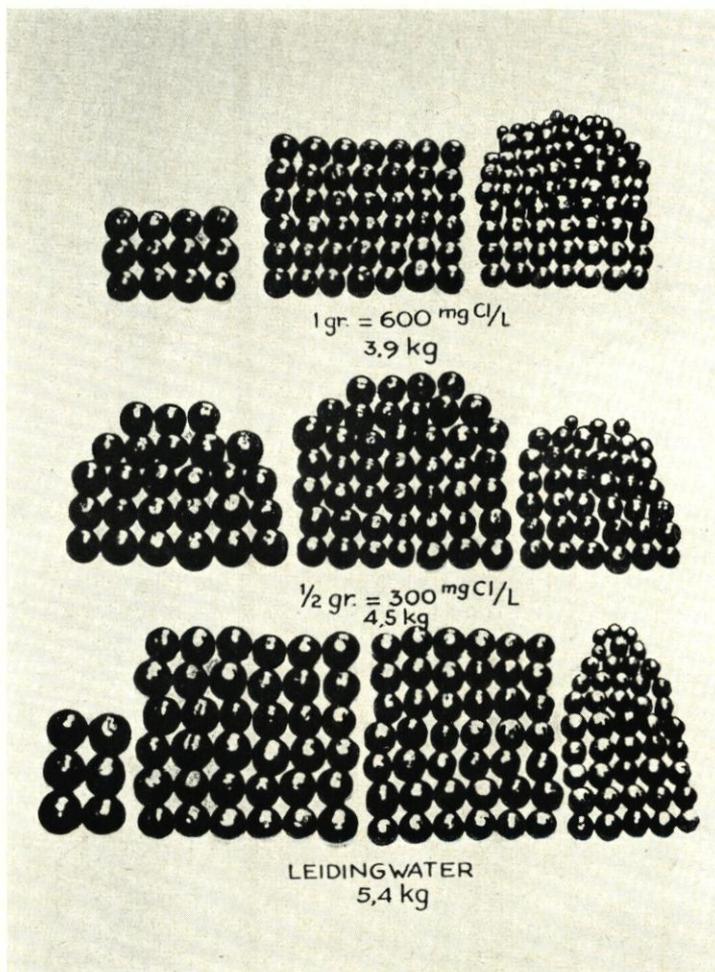


Abb. 8
Ernte von Tomatenpflanzen,
mit Wasser von verschie-
denem Chlorgehalt begossen

Die Erbsen und Bohnen sind also besonders empfindlich, Getreide und Zuckerrüben können mehr Salz vertragen. In trockenen Jahren (Frühjahr) kann der Salzgehalt der genannten oberen Schicht den normalen Gehalt um das Drei- oder Vierfache übertreffen. Die Beschaffenheit des Bodens hat auch Einfluß. Gartenbauboden ist meistens der beste und kann deshalb etwas mehr Salz vertragen. Im allgemeinen ist die Grenze also 300 mg Chlor/Liter.

Man wird annehmen müssen, daß die tiefer als der Meeresspiegel liegenden Polder hinter den Dünen schließlich zur Versalzung verurteilt sind. Je größer die Differenz der Wasser Spiegel von Polder und Meer ist, desto eher wird die Salzgrenze (die immer weiter in das Polderland hineinrückt, seit wir mit der Entwässerung unseres Landes anfangen) die hinter den Dünen gelegenen Polder erreichen (Abb. 9). Die weiter östlich gelegenen niedrigen Polder haben eine süße Quelle, die von dem Sandgebiet im Osten des Landes herrührt.

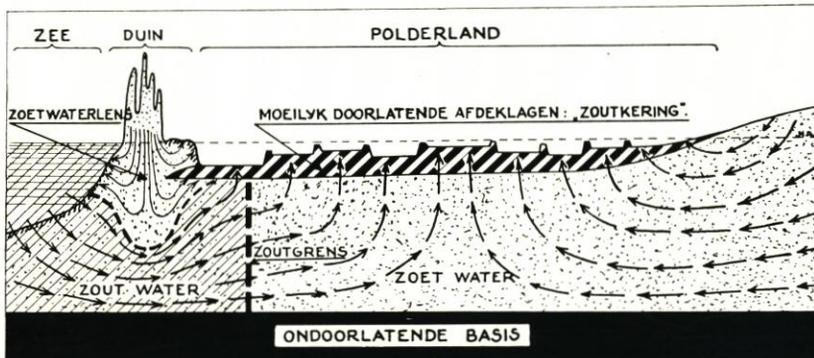


Abb. 9. Das Vorwärtsdringen der Salzgrenze im Untergrund

Der Chlorgehalt im Haarlemmermeer (Tiefe 6 m unter NN) beläuft sich jetzt durchschnittlich auf 611 mg/l. Eine Kleischicht, welche das Salzwasser daran hindert, in den Polder einzudringen, übt hierbei Einfluß aus und auch der sogenannte Süßwassersack der Dünen. Zwischen der Unterseite dieses Süßwassersackes und einer undurchdringlichen Schicht auf einer Tiefe von etwa 160 m befindet sich die sogenannte Spalte, durch die das Seewasser eindringt. Die Süßwassermenge der Dünen nimmt durch Wasserentziehung für die „Randstadt Holland“ (4 Millionen Einwohner) ab. Man berechnet den Salzwasserzustrom bei einer Spaltweite von 50 m auf 24 mm im Jahr, bei einer Spaltweite von 100 m auf 40 mm im Jahre. Wäre die Spaltweite 120 m, dann würde der Chlorgehalt im Haarlemmermeer bis etwa 1000 mg Chlor/Liter zunehmen.

Das Instandhalten des Salzwasserwehrs, in diesem Fall des Süßwassersackes der Dünen, geschieht jetzt (seit 1956) mit Hilfe e i n g e p u m p t e n Flußwassers (Abb. 10). Große Rohrleitungen von 46 und 80 km Länge führen Rheinwasser in die Dünen (Kosten etwa hfl. 18 und 32 Millionen). Dies geschieht natürlich nicht nur, um das Vordringen des Salzwassers zu hemmen, sondern vornehmlich, um in den Dünen eine ständige, gute und zuverlässige Süßwassermenge für die Trinkwasserleitungen zu besitzen.

„Künstliche Salzwasserquellen“ entstehen durch Gasquellen im niedrigen Teil des Landes. Die Bauern bedienen sich des Methans oder Sumpfgases zur Beleuchtung. Das Gas quillt aus dem Boden hervor und führt viel Brackwasser mit sich. Diese Privatgaserzeugung wird immer mehr verboten. Die Bauern durchbohrten die das Wasser abschließenden Kleischichten, was sehr schädlich war.

Sehr viele tiefe Teiche (bis zu 25 bis 30 m Tiefe) wurden in den letzten Jahren zum Zweck

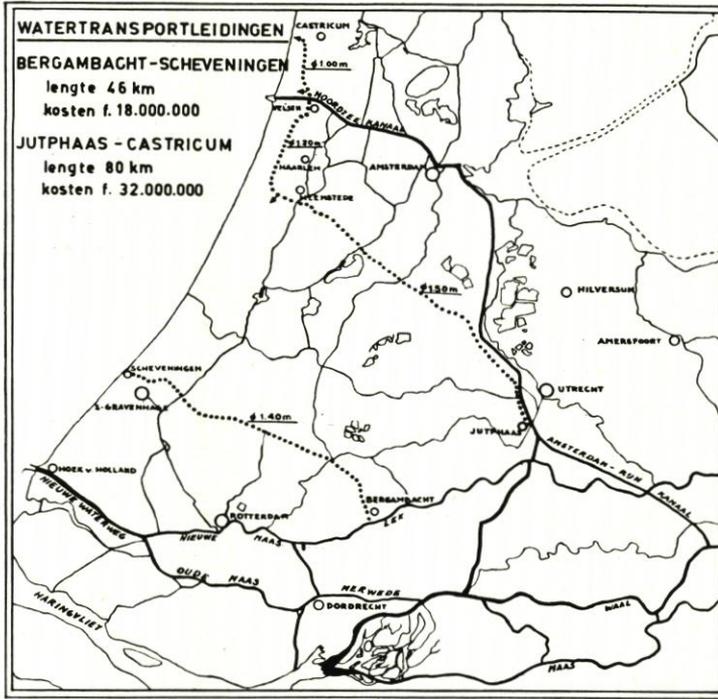


Abb. 10. Die neuen Rohrleitungen vom Lek zu den Dünen

der Sandgewinnung (z. B. für Wege) gebaggert. Auch hierbei wurde die Kleischicht durchschnitten. Man dämmt solche tiefen Teiche ein, damit das Salzwasser aus dem Boden nicht in die nahen Gräben und damit in das Kulturland einströmen kann.

Eine weitere Ursache für die Versalzung der niederländischen Marschen ist das salzige Schleusenwasser. Schon 1667 meinte HENDRIK STEVIN, daß das „Gift“ hauptsächlich durch die Schleusen eindringe. Wirklich haben die Schleusen schuld an dem Eindringen einer übermäßigen Salzmenge.

Dieses Eindringen hat wenig mit der Niveaudifferenz, in diesem Falle mit der niedrigen Lage der westlichen und nördlichen Niederlande zu tun. Auch Kanäle, die hoch gelegen sind, versalzen durch Seeschleusenfüllung, z. B. wenn der Wasserstand im Kanal und der Hochwasserstand gleich hoch sind, wie es im Kanal Gent-Terneuzen der Fall ist. Die Ursache ist das größere spezifische Gewicht des Seewassers, wodurch sich die ganze Schleusenammer von unten bis oben mit Salzwasser füllt, sobald sich die Außentore der Schleuse öffnen. Sobald die Außentore geschlossen sind und die Binnentore sich öffnen, strömt das Salzwasser in den Kanal ein.

So strömen jedesmal, wenn die große Schleuse von IJmuiden gebraucht wird, 300 000 Kubikmeter Salzwasser in den hinter dieser Schleuse gelegenen Nordseekanal. Wäre dies reines Seewasser, dann würden bei jeder Schleusung 7500 Tonnen Salz hereinkommen. Man kann, indem man das Schleusungsverfahren so schnell wie möglich verlaufen läßt, diese Menge auf ungefähr 3000 Tonnen reduzieren, das sind bei zehn Schleusungen je Tag also 30 000 Tonnen oder 2000 Waggonladungen Salz, die täglich in den Kanal geworfen werden.

Es ist schwer, dieses Salzwasser wieder zu entfernen, da es größtenteils nahe am Boden liegt und weit landwärts zieht. Auch das Wasser bei Amsterdam ist dadurch brackig. Man kann Pumpen einbauen, aber das ist kostspielig. Eine Spalte in einem großen Siel nahe am Boden, durch die bei Außen-Niedrigwasser das Salzwasser nach See zu abgelassen wird, ist etwas billiger, aber diese Spalte soll groß sein und die Geschwindigkeit des ausströmenden Wassers nur klein, da man sonst das süße Oberwasser statt des salzigen Unterwassers hinaussaugt.

Namentlich wenn sich ein See hinter der Schleuse befindet, ist es ein hoffnungsloses Unternehmen, das Salzwasser zu entfernen. Bei den Schleusen des IJsselsees könnte man lange Paralleldämme bauen, um das Salzwasser zwischen diesen Dämmen zu halten und es in der beschriebenen Weise bei Außen-Niedrigwasser wieder in die See ablassen zu können.

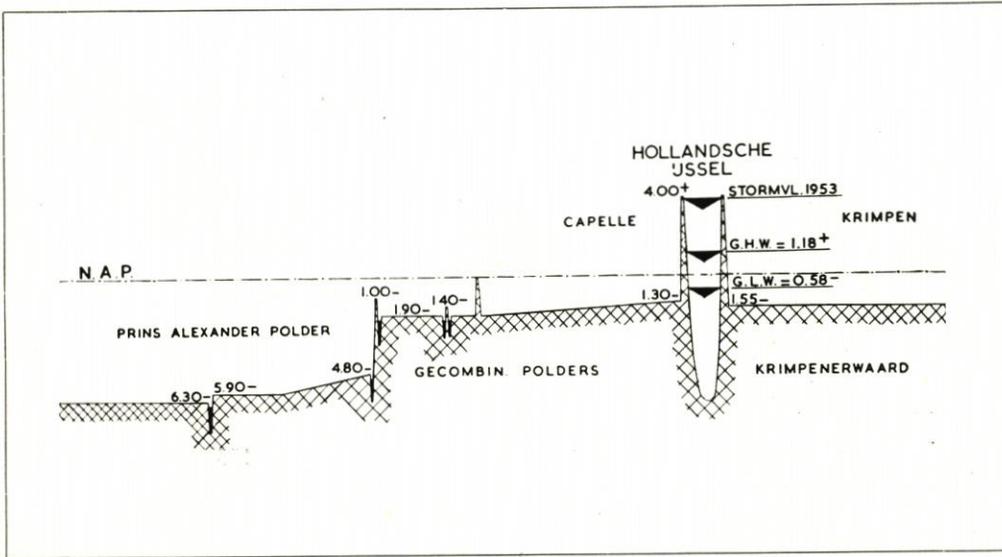


Abb. 11. Wasserstände in der bedachten Hollandsche IJssel und das Kulturland der Umgebung

2. Mittel zum „Süßhalten“ der Niederlande

1. Ein Mittel ist schon genannt worden: das Einpumpen von Rheinwasser in die Dünen.
2. „Schließe den Boden“ durch das Verstopfen der Tausende von Methangasquellen.
3. „Schließe die Küste“: möglichst wenig „Salzschleusen“ in einer möglichst kurzen Küstenlinie (vgl. Abb. 1).
4. Sorge dafür, daß das durch die Schleusen hereingekommene Salzwasser so schnell wie möglich abgelassen werden kann.
5. Sorge für ein Durchspülungssystem aller Kanäle und Gräben, um das infolge des Aufquellens eingedrungene Salzwasser ablassen zu können.

Obwohl diese Arbeiten ausführbar sind, sind sie alle sehr kostspielig. Man fragt sich auch, ob wir genug Süßwasser haben, um die Niederlande auf die oben beschriebene Weise süß zu halten. Eine einfache Berechnung lehrt, daß der Rhein und die Maas in trockenen Zeiten nicht genug Süßwasser liefern.

Heute besteht der Wunsch, über die folgenden Mengen an Süßwasser an den unten erwähnten Schleusen (erste Spalte der folgenden Tabelle) verfügen zu können (die möglichen Mengen sind jedoch kleiner — zweite Spalte); die Mengenangaben der Tabelle sind alle roh geschätzt.

	Wunsch (Kubikmeter/Sekunde)	Möglich	
Statenzijl	5	0	
Delfzijl	15	5	
Noordpolderzijl	3	0	
Zoutkamp	10	10	1)
Dokkumerzijlen	10		

	Wunsch (Kubikmeter/Sekunde)	Möglich	
Übertrag	43	15	
Harlingen	15	5	
Schleusen Zuiderzeesperrdeich	200	40	2)
Den Helder	25	5	
IJmuiden	150	50	3)
Katwijk	10	0	
Scheveningen	25	10	
Oranjekanal	10	5	
Maassluis	10	5	
Kanal durch Rozenburg	15	10	
Hellevoetsluis	20		
Dintelsas	10	155	4)
Steenbergse Vliet	10		
zusammen	543	300	
Rotterdammer Waterweg	725	725	
insgesamt	1268	1025 m ³ /s	

Die Abflußmenge des Rheins läßt sich in trockenen Zeiten auf 1000 m³/s und die der Maas auf 25 m³/s beziffern. Der allerniedrigste Rheinabfluß war 593 m³/s, aber es handelt sich hier um nur einige Tage im Herbst eines trockenen Jahres.

Wir müssen also ökonomisch mit dem Süßwasser umgehen. Es würde durch Küstenverkürzung und durch die vorher angedeuteten Maßregeln an den Schleusen möglich sein, nicht über das Budget hinauszugehen, unter anderem durch das Ausführen folgender Arbeiten:

Abdämmung der Lauwerszee (etwa 1960)

Bau von Paralleldämmen landwärts der Sperrdeichschleusen (?)

Bau eines Spaltseiles zu IJmuiden, auf einer Tiefe von 15 m unter NN oder ein Pumpwerk

Ausführung des Deltaplans (bis etwa 1980)

} vgl. die Ziffern 1) bis 4)
der vorstehenden Tabelle.

Aber die Landwirtschaft ist damit nicht zufrieden, denn sie wünscht nicht nur süße Niederlande, sondern sie verlangt auch noch 400 m³/s Süßwasser für die Bekämpfung der Trockenheitsschäden, deren Höhe in einem trockenen Jahre die Summe einer Milliarde Gulden übersteigt.

Es ist also in jeder Hinsicht deutlich, daß wir in trockenen Perioden mit unserem Süßwasserbudget nicht auskommen können. Es gibt ein Defizit von etwa 500 auf 1000 m³/s.

Wir versuchen dies durch Süßwasser-Reservoirs auszugleichen: den IJsselsee, den zukünftigen zeeländischen See, die zukünftigen Wattenseen, und auch durch Grundwasserreservoirs.

Das Süßwasser ist so kostbar, daß wir es nicht verschwenden dürfen. Jede 400 Liter Süßwasser können ein Kilogramm „trockenen“ Ertrag liefern, wenn es nur genug Land gibt. Die „Verschwendung“ durch das Ablassen von Süßwasser durch die Entwässerungsschleusen des Zuiderzeesperrdeiches ist jetzt 200 m³/s. Unter Berücksichtigung der Wachstumsperiode von fünf Monaten und vorausgesetzt, daß wir genug Kulturland haben, bedeuten die 200 m³/s eine „trockene“ Ernte von 10 000 000 Tonnen oder einer Tonne für jeden Niederländer. Und wir können dieses Kulturland teilweise erwerben, indem wir die Watten eindeichen.

Die Watten bestehen zwar aus Sand, aber die modernen Untersuchungen lehren, daß feinkörnige Sandgründe wie die Wattensände gute Ernten liefern können, wenn man die Grundwasserstände beherrschen kann und Kunstdünger gebraucht. Die Frage des Flugsandes kann, wenn nötig, mit Buschwäldern oder mit einer Grasdecke gelöst werden. Es gibt bei uns keine großen Unterschiede der Roherträge von Grasland und Kornland.

Ein anderer Punkt ist die Erholung. Die Watten können schöne Landschaften mit vielen Seen (die heutigen Wattentrassen) werden, deren waldige Ufer zu Erholungsstätten werden können. Man hält unsere ärmsten Sandgebiete, z. B. die Veluwe, jetzt für Erholungsstätten und sie sehen ungemein angenehm und blühend aus. Alte Häuser sieht man dort nicht mehr.

Die Watten werden wahrscheinlich fruchtbarer und schöner als die ärmsten und ödesten Sandgebiete werden. Die Pläne zur Eindeichung der Watten werden jetzt untersucht. Diese Pläne haben keine Eile, da die Sicherungsarbeiten gegen die Überschwemmungsgefahr vorgehen sollen und 25 Jahre erfordern werden.

3. Die staatliche und überstaatliche Organisation der Wasserwirtschaft

Ich komme jetzt zu unserer Wasserwirtschaftsorganisation. An der Wasserfrage sind interessiert: die Landwirtschaft, der Gartenbau, die Schifffahrt, die Trinkwasserversorgung, die Industrie, der Naturschutz und die Erholung.

Es gibt in den Niederlanden zweierlei Verwaltungsstellen auf diesem Gebiet: „Waterstaat“ und „Landwirtschaftsministerium“. „Rijkswaterstaat“ betreibt die Studien und die „Verwaltung“ (d. h. den Ausgleich) der wichtigsten Gewässer. Wir haben mit der Kanalisierung des Niederrhein-Lek angefangen, wobei die Stauschleuse zu Doorwerth (bei Arnheim) als „Wasserhahn“ für die Verteilung des Rheinwassers nach Norden und Westen (nach Norden über die IJssel und das IJsselmeer, nach Westen über den Waal) benutzt werden soll.

Ein anderer „Wasserhahn“ ist in der wichtigsten Rheinmündung, dem Haringvliet, vorgesehen, und zwar in der Mündung bei Hellevoetsluis. Das dort geplante Entwässerungssiel hat $16 \times 60 = 960$ m Lichtweite. Der Arbeitshafen, der für den Bau des Dammes nötig ist, ist fertig und mit dem Bau des Siels ist angefangen. Mit Hilfe dieser zwei „Hähne“, die in zehn oder zwölf Jahren fertig sein werden, kann man das Rheinwasser schon ziemlich gut „verwalten“. Drei der vier Rheinmündungen werden dann abgesperrt sein. Die vierte, der Rotterdamer Waterweg, bleibt für die Schifffahrt offen.

Man hat zwar erwogen, auch diese Mündung, durch die 40 % des Rheinwassers das Meer erreichen, mit Schleusen abzdämmen, aber dies stößt auf große Schwierigkeiten. Schon jetzt wird dieser Hafen von mehr als 20 000 Seeschiffen jährlich angelaufen, d. h. durchschnittlich geht jede 25 Minuten ein Schiff ein und ein Schiff aus, oft also stundenlang in einem fort jede fünf Minuten ein Schiff ein, ein Schiff aus. Man würde also viele große Kammerschleusen mit großen Ausbaumöglichkeiten für noch mehr Schiffsverkehr haben müssen. Jede Schließung würde 2000 bis 3000 Tonnen Salz in den Fluß bringen und dies würde den Rotterdamer Waterweg fast ebenso stark versalzen wie es jetzt der Fall ist. Außerdem würden außerhalb der Schleusen voraussichtlich große Versandungen und Anschwemmungen entstehen, was viele den Schiffsverkehr hemmende Baggermaschinen nötig machen würde.

Dennoch können wir das Landwirtschaftsministerium verstehen, wenn es von einer *Verschwendung* von 725 m³/s Süßwasser im offenen Rotterdamer Waterweg spricht. Eine Schleusanlage würde die Lage hier aber kaum verbessern.

Man würde die Belange der Landwirtschaft und der Schifffahrt trennen können, indem man das Land zwischen Amsterdam und Waterweg vom IJsselmeer oder über einen Kanal aus

dem Lek nördlich von und außen um Rotterdam herum mit Süßwasser versorgen würde. Die Parkhavenschleuse in Rotterdam würde dann eine Entwässerungsschleuse statt einer Bewässerungsschleuse werden. Aber das ist kostspielig und macht allerhand Schwierigkeiten, weil das Land sehr tief liegt.

Das hereingequollene Salzwasser, zusammen mit der Industrieverunreinigung der öffentlichen Gewässer, verlangt eine gute Durchspülung des Landes, ein System von Adern und Schlagadern. Die Schlagadern dürfen bei Lobith oder Arnheim kein Wasser aus dem Rhein zapfen, denn sonst verfügt die Schifffahrt auf dem Rheinarm Waal nicht mehr über genug Tiefe.

Will man die Trockenheitsschäden der östlichen Provinzen beschränken, dann müßte das Wasser aus dem IJsselmeer aufgepumpt werden.

Im Deltaplan ist eine Sicherstellung der südwestlichen Niederlande vorgesehen, wobei der offene Fahrweg Hoek van Holland — Deutschland erhalten bleibt. An diesem Prinzip wollen wir vorläufig so lange wie möglich festhalten.

Ich hoffe dargelegt zu haben, daß wir große Opfer bringen müssen und bringen wollen, um die Niederlande süß und fruchtbar zu halten. Die Sicherungsarbeiten gegen Sturmfluten stehen damit nicht im Widerspruch, auch die Schifffahrt wird keine oder keine großen Schwierigkeiten erfahren.

Es wird Ihnen aber deutlich geworden sein, daß wir in großem Maße von der Menge und der Güte des Rheinwassers abhängig sind. Und hier guckt meine Sorge um die Ecke. Ich weiß, daß die Zahl der Einwohner am Rhein sich auf viele Millionen beläuft und daß Herr Direktor STRAAT gesagt hat, daß „die Verfaulung des Rheins erschreckend“ sei.

Wir sind auf dem Rhein manchmal schon auf bedenkliche Weise an die Grenze von 300 mg Chlor/Liter herangekommen. Es besteht wohl die Absicht, die Grenze von 250 mg Chlor/Liter nicht zu überschreiten, aber auch wenn das gelingt, werden die Frequenzen unter 250 immer zunehmen, denn die Chlormengen werden von Jahr zu Jahr größer. Man könnte eine Lösung finden, indem man wenigstens in trockenen Zeiten einen Teil des Salzwassers und der anderen Verunreinigungen aus dem Ruhrgebiet über die Ems oder die Weser abführt (ebenso wie man das Salz vom Elsaß über die Rhone ableiten könnte).

Ich übertrage Ihnen diese Idee gern, damit Sie sie näher betrachten mögen.

Die Versalzung des Grundwassers an der schleswig-holsteinischen Westküste*)

Von Ernst Dittmer

Inhalt

1. Einleitung	87
2. Möglichkeiten der Entstehung salzigen Grundwassers	88
3. Geologischer Aufbau und hydrogeologische Verhältnisse im Küstengebiet	89
4. Ausdehnung und Grad der Versalzung	93
5. Ursachen der Versalzung	95
6. Auswirkungen der Versalzung	98
7. Zusammenfassung	100
8. Schriftenverzeichnis	101

1. Einleitung

Die Marschen und Niederungen der schleswig-holsteinischen Westküste verfügen über die größten und ergiebigsten zusammenhängenden Grundwasserleiter des Landes. Dennoch fehlt es — von wenigen Ausnahmen abgesehen — überall am nötigsten Trink-, Tränk- und Brauchwasser. Das Grundwasser enthält neben anderen unerwünschten Stoffen wie Huminsäure, Schwefelwasserstoff, Nitraten, Nitriten, Ammoniak und hohen Eisen- und Mangankonzentrationen einen wechselnd hohen Salzgehalt, der im weitaus größten Teil der Marsch über der Geschmacksgrenze liegt und teilweise selbst in unmittelbarer Nähe des Geestrandes außerordentlich hohe Werte erreicht.

Die Versalzung des Grundwassers war insbesondere bei den Brunnenbauern seit langem bekannt. Aus der Verbreitung von Filterbrunnen, auch der artesischen, in der Marsch läßt sich leicht die erfahrungsgemäß erkannte Grenze zwischen brauchbarem und salzigem Grundwasser feststellen. An einer gründlichen wissenschaftlichen Untersuchung der Versalzungserscheinungen hat es jedoch bislang gefehlt, da in manchen Gebieten Beobachtungsbrunnen nicht zur Verfügung standen. Eine eingehendere Beratung in der Trink- und Brauchwasserversorgung auf wissenschaftlicher Grundlage wurde erst seit etwa zwanzig Jahren nach der geologischen Bearbeitung durch die Forschungsstelle Westküste möglich.

Erste Mitteilungen über die Eigenschaften des Grundwassers in den Marschen sowie einzelne Wasseranalysen finden sich bei W. WOLFF (1922), zahlreiche Angaben bei H.-L. HECK (1931—1948) und WOLFF und HECK (1949). Neuerdings hatten A. JOHANNSEN (1954), F. VINCK (1954) und O. FISCHER (1955) den derzeitigen Stand der Erkenntnisse für die Westküste nach Angaben von DITTMER (1953) mitgeteilt. Weitere Hinweise brachte DITTMER (1952, 1954, 1954a, 1956), nachdem er erste Untersuchungsergebnisse bereits 1939 in einem unveröffentlichten Bericht niedergelegt hatte. Dennoch herrschen heute noch in weiten Kreisen, besonders in den Marschen selbst, sehr unklare Vorstellungen von der Art und dem Umfang, von den Ursachen und Auswirkungen der Versalzung des Grundwassers.

Erst die seit 1935 eingeleitete Neubearbeitung der Geologie und Entwicklungsgeschichte des Quartärs durch DITTMER (1938—1955), W. G. SIMON (1941), K. GRIPP und E. DITTMER

*) Nach einem Vortrag auf der 2. Arbeitstagung des Küstenausschusses Nord- und Ostsee am 8. Mai 1956 in Kiel.

(1941) ermöglichte die Klärung hydrogeologischer Fragen, insbesondere die der Versalzung. Die hauptsächlichsten Ursachen und der Umfang waren seit langem bekannt. Einen wesentlichen Impuls erhielten die aufgenommenen und ständig durch Ausbau des Netzes an Beobachtungsbrunnen erweiterten Untersuchungen aber durch das Bekanntwerden halophiler Pflanzenbestände und Versalzungserscheinungen der Oberflächengewässer (siehe Aufsätze von CHRISTIANSEN und STEINBERG sowie WOHLBERG in diesem Heft).

2. Möglichkeiten der Entstehung salzigen Grundwassers

Der Salzgehalt im Grundwasser kann durch Auslaugung des primären Salzgehalts vorquartärer mariner Sedimente und Salzlagerstätten entstehen. In Betracht kommen insbesondere die in Schleswig-Holstein verbreiteten Doppelsalinare des Rotliegenden und Zechsteins. Salzkonzentrationen werden ferner im Lias, Keuper und der Kreide beobachtet. Auch der Salzgehalt der an der Westküste bis zu mehr als 2000 m mächtigen tertiären Meeresabsätze ist zweifellos primär, ist jedoch für die Versalzung quartärer Grundwasserleiter ohne Bedeutung, da das höhere Miozän im Pliozän und Pleistozän ausgesüßt war und eine Abgabe von Salzwasser wegen der geringen Durchlässigkeit ohnehin kaum erfolgt. In der Regel liegen alle salzführenden Formationen auch so tief, daß eine Versalzung der quartären Grundwasserleiter ausgeschlossen ist. Lediglich im Bereich der Salinarstrukturen, auf denen Rotliegendes und Zechstein sowie Kreide bis nahe an die Oberfläche reichen, sind mehr oder weniger verbreitete Versalzungserscheinungen möglich. Sie werden in ständig zunehmendem Maße erkannt (A. JOHANNSEN, 1953). Im Bereich der schleswig-holsteinischen Westküste bedingen die Strukturen von Oldenswort und Marne—Heide—Hennstedt—Süderstapel örtliche Versalzungen in pleistozänen Grundwasserleitern. H.-L. HECK (1932) hat in der Eiderniederung bei Oldenbüttel eine Sole in 103 m Tiefe aufgefunden. Grundwassererschließungsarbeiten des Marschenbauamts Heide im Treenetal, das über sehr ergiebige Vorkommen verfügt, führten leider zur Aufdeckung eines weiteren Versalzungsherdens am Nordende der Struktur Süderstapel. Durch seitliche Zuflüsse flußabwärts abnehmende Salzgehalte in den riß- und würmzeitlichen Sanden kennzeichnen dieses Vorkommen. Die Marschen und Niederungen Nordfrieslands liegen im Bereich des West-Schleswig-Blocks, auf dem Salinaraufbrüche nicht vorkommen und daher die Möglichkeit der Versalzung aus älteren Formationen ausscheidet (HECHT, v. HELMS und KEHRER, 1956). Das nördlichste Vorkommen salzigen Grundwassers liegt auf dem Ausläufer der Oldensworter Struktur in Schichten der Oberkreide unter dem Wasserwerk der Stadt Husum in Rosendahl.

Wie weit sich primärer Salzgehalt in den tonigen Ablagerungen des Eem-Meeres über die Würm-Vereisung hinaus gehalten hat, was im Dauerfrostboden durchaus möglich gewesen wäre, läßt sich einstweilen nicht entscheiden, da eine Wiederversalzung nach der jahrtausendlang zurückliegenden holozänen Transgression zweifellos erfolgt ist. Die zum Teil sehr mächtigen tonigen Absätze des älteren Holozäns in Dithmarschen und Eiderstedt (E. DITTMER, 1952) enthalten in 10 bis 30 m Tiefe vielfach noch ihren ursprünglichen Salzgehalt. Auf dem nordfriesischen Festland dagegen, dessen ältere holozäne Bildungen zumeist dem oberen Brackwasser angehören, sind Ablagerungen mit nahezu ursprünglichem Salzgehalt nur aus den jungen Schlickauffüllungen der nach den Sturmflutkatastrophen von 1362 entstandenen großen Einbrüche (Bottschlotter Tief, Kleiseer- und Hülltofter Tief) an einigen Stellen bekannt geworden. Als Versalzungsherd angrenzender Grundwasserleiter sind sie jedoch ohne Bedeutung, wie Untersuchungen ergeben haben.

Die nach den Sturmflutkatastrophen von 1362 und 1634 abgelagerte junge Marsch hat nach ihrer Bedeichung bzw. Wiederbedeichung ihren Salzgehalt alsbald verloren, zumal vor

der Einführung intensiver Entwässerungsmaßnahmen ständige Überschwemmungen die Entsalzung förderten. Werden in jungen Marschablagerungen heute dennoch Versalzungserscheinungen beobachtet, so kann es sich nur um Wiederversalzung handeln.

Es kann also festgestellt werden, daß abgesehen von Teilen der Eider- und Treene-niederung, bei denen sich der Salzgehalt des Grundwassers von einem bekannten Salzstock herleitet, in den Marschen der Westküste die Versalzungserscheinungen nicht durch Aus-laugung aus älteren Formationen erklärt werden können. Als einzige Ursache muß das Ein-dringen von Seewasser in die quartären Grundwasserleiter herausgestellt werden.

3. Geologischer Aufbau und hydrogeologische Verhältnisse im Küstengebiet

W. RICHTER und H. FLATHE (1956) haben die Versalzungserscheinungen in einem Teil Ostfrieslands zum geologischen Bau und der Erdgeschichte in Beziehung gestellt. Sie sehen die Ursache im hydrostatischen Druckgefälle vom Meer zum Süßwasserkörper und machen Trans- und Regressionen für die Versalzungs- und Aussüßungsvorgänge verantwortlich. Setzungen der Marschlandablagerungen und die dadurch oft zu einem wesentlichen Teil bedingten Auswirkungen zwangsläufiger wasserwirtschaftlicher Maßnahmen werden nicht berücksichtigt. Dies und die nicht genügend gesicherte Kenntnis holozäner Entwicklungsphasen (Verlandung bedeutet noch nicht Regression!) führen zu dem Ergebnis, daß sich das küstennahe Grundwasser gegenwärtig im Zustand der Aussüßung befindet. Diese Folgerung trifft, wenn überhaupt irgendwo, für die schleswig-holsteinische Westküste zweifellos nicht zu. Ebenso haben in den niederländischen Marschen die Versalzungserscheinungen eindeutig zugenommen (siehe Aufsatz VAN VEEN in diesem Heft). Es ist daher für die Erklärung der Versalzung des Grundwassers, insbesondere auch des stark wechselnden Ausmaßes, nicht nur die möglichst eingehende Kenntnis des Geestrand- und Küstengebietes in geologischer und morphologischer Hinsicht, sondern auch die Berücksichtigung der künstlichen Eingriffe in die hydrogeologischen Verhältnisse erforderlich. Der Mensch wird dabei nicht erst beim Schöpfwerk und den Drainungen mitbestimmender Faktor, sondern schon bei der frühesten Be-deichung, den großräumigen Verfehnungen, der Anlage von Sielzügen und Schleusen. Seit mindestens tausend Jahren hat er an den Änderungen hydrostatischer Zustände mitgewirkt (DITTMER, 1954).

Die Grenze Geest—Marsch, der Geestrand, ist nicht nur eine morphologische Grenze, die durch die Ablagerung der Marsch- und Moorbildungen sichtbar geworden ist, sie stellt auch eine Grenze zwischen geologisch verschieden aufgebauten Gebieten dar. Die erste Anlage ihres Verlaufs wurde in weiten Teilen schon während der Rückzugsphase der Riß-Vereisung durch glazifluvogene Kräfte, im Bereich des Elbe-Urstromtals durch die Würm-Vereisung bestimmt, während die Nordsee an der Gestaltung des Geestrandes nur an einzelnen Stellen beteiligt war.

Als wesentlich für die Versalzungsvorgänge des küstennahen Grundwassers sind die Beziehungen zwischen dem sehr wechselvollen Aufbau des Geestrandgebietes mit seinem Hinterland und dem anders gearteten Aufbau des pleistozänen Untergrundes der Marschen erkannt worden.

Die „alte Geest“ — Am Geestrand wechseln Moränengebiete und Sander des Riß-Pleistozäns mit zahlreichen würmzeitlichen Tälern, die aber in fast allen Fällen ebenfalls in der Riß-Vereisung angelegt sind, miteinander ab. Die „alte Geest“ besteht aus einer Wechsel-folge glazigener und glazifluviatiler Gesteine, also aus Tonen, Mergeln, Sanden und Kiesen, die meist mehr oder weniger gestaut sind und oft Schuppen älterer Ablagerungen enthalten.

So ist z. B. die Bredstedter Geest mit dem 50 m hohen Stollberg ein Stauchmoränengebiet, das überwiegend aus Schollen des Obermiozäns, Unterpliozäns, des Bredstedter Tons (Holstein-See) (H.-L. HECK, 1942) und Geschiebemergeln aufgebaut und durch seine Armut an Grundwasservorkommen bekannt ist. Die geringe Speicherfähigkeit, die teilweise rückwärtige Entwässerung über die Sander macht sich in einer hohen Salzkonzentration des Grundwassers unmittelbar vor dem Geestrand bemerkbar, wie noch zu erläutern sein wird. Als Gegensatz kann das Geestrandgebiet zwischen Windbergen, St. Michaelisdonn und Burg/Dithm. herausgestellt werden, das durch besondere Durchlässigkeit des verbreitet sandigen Pleistozäns sowie durch seine Höhenlage günstige Bedingungen für Grundwasserabflüsse in die präholozänen Grundwasserleiter der geestrandnahen Marschgebiete aufweist. Die Anhäufung artesischer Brunnen ist hier wie auch am Südrand der Husumer Geest ein beredtes Zeichen. Im einzelnen wechselt der geologische Aufbau der alten Geest von Ort zu Ort. Die Grundwasserführung und die Zuführung in die zusammenhängenden, angrenzenden Grundwasserleiter

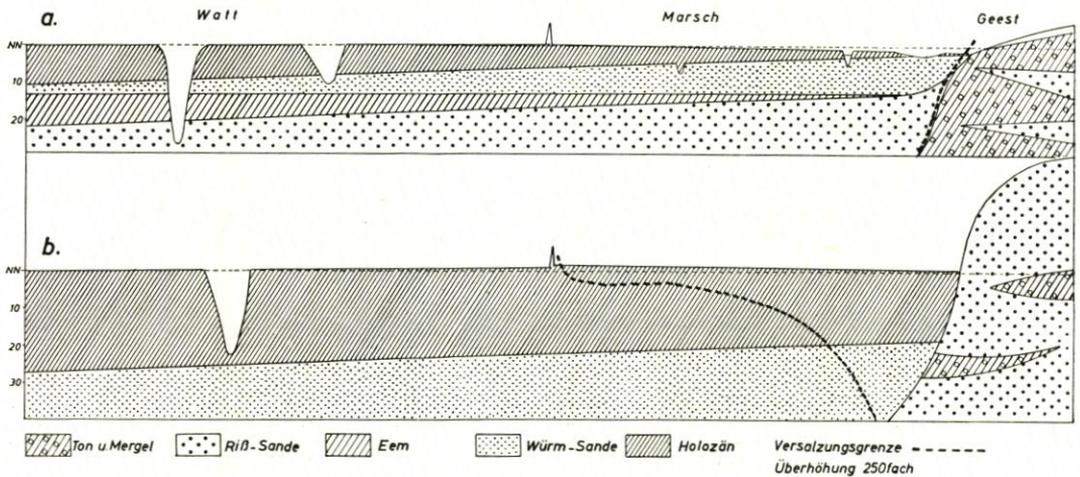


Abb. 1. Schematische Darstellung geohydrologischer Verhältnisse
a: Nordfriesland b: Süder-Dithmarschen

unter der Marsch ist davon in besonderem Maße abhängig. Leider sind die Verhältnisse nicht wie bei den angeführten extremen Beispielen hinreichend genau bekannt. Es muß einstweilen der Hinweis genügen, daß das Ausmaß der Versalzung und die Unterschiede im Salzgehalt weitgehend von dem unregelmäßigen Aufbau der alten Geestrandgebiete abhängig sind und daher ein einfacher Verlauf der „Isohalinen“ nicht zu erwarten ist.

Da von den pleistozänen Grundwasserleitern allein die riß- und würmzeitlichen Schmelzwassersande und -kiese von praktischer Bedeutung sind, können sich die Ausführungen auf diese und die holozänen Verhältnisse beschränken (Abb. 1). Altpleistozäne Grundwasservorkommen sind im Küstengebiet kaum bekannt, tertiäre wie das der Braunkohlensande am Südrand der Husumer Geest (DITTMER, 1956) und einige Kaolinsandvorkommen sind in diesem Zusammenhang nur von örtlicher Bedeutung.

Die Schmelzwasserabsätze — Die Gebiete der alten Geest werden durch teilweise breite Täler, ehemalige Schmelzwasserrinnen, unterbrochen. Die Wiedau und Süderau, Lecker und Soholmer Au, Arlau, Treene und Eider sind nachweislich als bereits am Ausgang der Riß-Vereisung entstanden erkannt worden (DITTMER, 1942, 1952), während wegen der noch nicht völlig geklärten Geschichte des Niederelbtals die Entstehung der weiter südlich

gelegenen Täler wie der Miele noch unklar ist. Die Schmelzwasserrinnen von Eider und Treene verliefen ursprünglich zwischen der schleswigschen Geest und einem von Sylt bis Eiderstedt reichenden Geestgebiet nordwärts, während die Zuflüsse von der Arlau bis zur Wiedau in dieses Tal einmündeten. Später, vermutlich während des Warthe-Vorstößes, erfolgte der Durchbruch über Eiderstedt nach Westen, und am Ende der Riß-Vereisung bestanden jene beiden Hohlformen, die in der nachfolgenden Warmzeit von den Absätzen des Eem-Meeress aufgefüllt wurden, die Nordmann- und die Nordfriesische Rinne (DITTMER, 1951).

Die Absätze dieser Schmelzwasserrinnen, zumeist gröber als die der Würmvereisung, haben eine ausgedehnte Verbreitung und eine ausgezeichnete Verbindung zu den rißzeitlichen Sanden des schleswig-holsteinischen Hinterlandes wie auch zu den westlich vor dem Geestrand gelegenen, im ganzen Bereich von Marsch und Wattenmeer nachgewiesenen und bis in die offene See reichenden Sandergebieten. Gerade im Küstengebiet stellen diese Sande und Kiese einen großräumig zusammenhängenden, mächtigen und sehr ergiebigen Grundwasserleiter dar, der außer über die Talsande teilweise auch über die alte Geest mit großen Einzugsgebieten und Speicherräumen des Landes in Verbindung steht. Während im Norden durch die überlagernden Eem-Absätze Ausdehnung und Lagerungsverhältnisse der rißzeitlichen Schmelzwasserabsätze gut bekannt sind, lassen sich diese südlich der Eider, auch in Eiderstedt selbst, wo das Eem vielfach ausgeräumt ist, meist nicht eindeutig von den würmzeitlichen Sanden und Kiesen trennen, mit denen zusammen sie einen einheitlichen Grundwasserleiter bilden. Auch im Norden liegen beide Absätze in einem 500 bis 1000 m breiten Streifen vor dem Geestrand unmittelbar übereinander, da die Geest-Marsch-Grenze zur Zeit des Höchststandes des Eem-Meeress, der (relativ gegenüber dem Land) um 7 bis 8 m niedriger lag als der heutige, entsprechend weiter westlich verlief als die jetzige.

Während der Würmvereisung wurden die älteren Schmelzwassertäler erneut benutzt, erweiterten sich die sandigen Einzugsgebiete, wurden vor dem Geestrand über dem Eem und den rißzeitlichen Sanden erneut weite Sandergebiete aufgeschüttet, die in Nordfriesland miteinander verschmolzen und verhältnismäßig hoch lagen, während Eider und Elbe in den Urstromtälern den Sand bis weit in das Gebiet der Nordsee verfrachteten und bis zum Beginn der holozänen flandrischen Transgression als Hohlformen erhalten blieben. So entstand ein weiterer ausgedehnter Grundwasserleiter, der lückenlos an der gesamten Westküste verbreitet ist und hier nahezu überall die Basis des Holozäns bildet.

Zusammenfassend läßt sich sagen: Die Verbindung der Grundwasserleiter der alten Geest zu denen der Marschgebiete ist sehr unterschiedlich, sehr gute Verbindungen bestehen dagegen über die Talsande der Flußtäler zu den ausgedehnten Einzugsgebieten des Hinterlandes. Beide Grundwasserleiter aber haben auch, und zwar mit großen Querschnitten, eine unmittelbare Austauschmöglichkeit mit der offenen Nordsee, teilweise sogar innerhalb des Wattenmeeres. Während die Tiefs des Südgebietes mit Ausnahme der Elbe wegen der großen Mächtigkeit des Holozäns dieses nicht durchschneiden, liegen die tiefen Rinnen der nordfriesischen Wattströme alle im Pleistozän, die der Norderhever, Norderau, des Vortrapp- und Lister Tiefs nach Ausräumung des Eems sogar in den Schmelzwassersanden der Riß-Vereisung. Die geologischen Voraussetzungen für eine Versalzung dieser Grundwasserleiter sind also gegeben.

Die holozänen Bildungen — Auch die Ablagerungen der Marschen und Niederungen enthalten naturgemäß Grundwasser, das aber in weitaus geringerem Maße durch Versickerung ergänzt und erneuert wird. Lediglich die obersten Bodenschichten erhalten das durch die Vegetation und die Verdunstung entnommene Wasser während der Wintermonate zurück. Die Beweglichkeit des Grundwassers in den tieferen Schichten ist wegen der Feinkörnigkeit der Absätze weitaus geringer als in den pleistozänen Absätzen. Grundwasserleitende Schichten sind auf wenige Gebiete beschränkt. Die jungen Dünen und alten Nehrungen in Dithmarschen und

Eiderstedt enthalten örtlich nutzbare Grundwasservorkommen. Auch die verhältnismäßig hoch gelegene Marsch Dithmarschens läßt eine gewisse Versickerung in das 10 bis 15 m mächtige schluffig-feinsandige, obere Holozän zu. In keinem Gebiet aber erfolgt eine Einspeisung bis in die pleistozänen Grundwasserleiter. Am hydrostatischen Zustand der unter der Marsch liegenden Grundwasserleiter sind also die in der Marsch fallenden Niederschläge und Oberflächengewässer als Faktor in den meisten Gebieten unter natürlichen Verhältnissen überhaupt nicht beteiligt. Erst die Beseitigung überschüssiger Niederschläge, die später erörtert wird, wird von teilweise entscheidender Bedeutung.

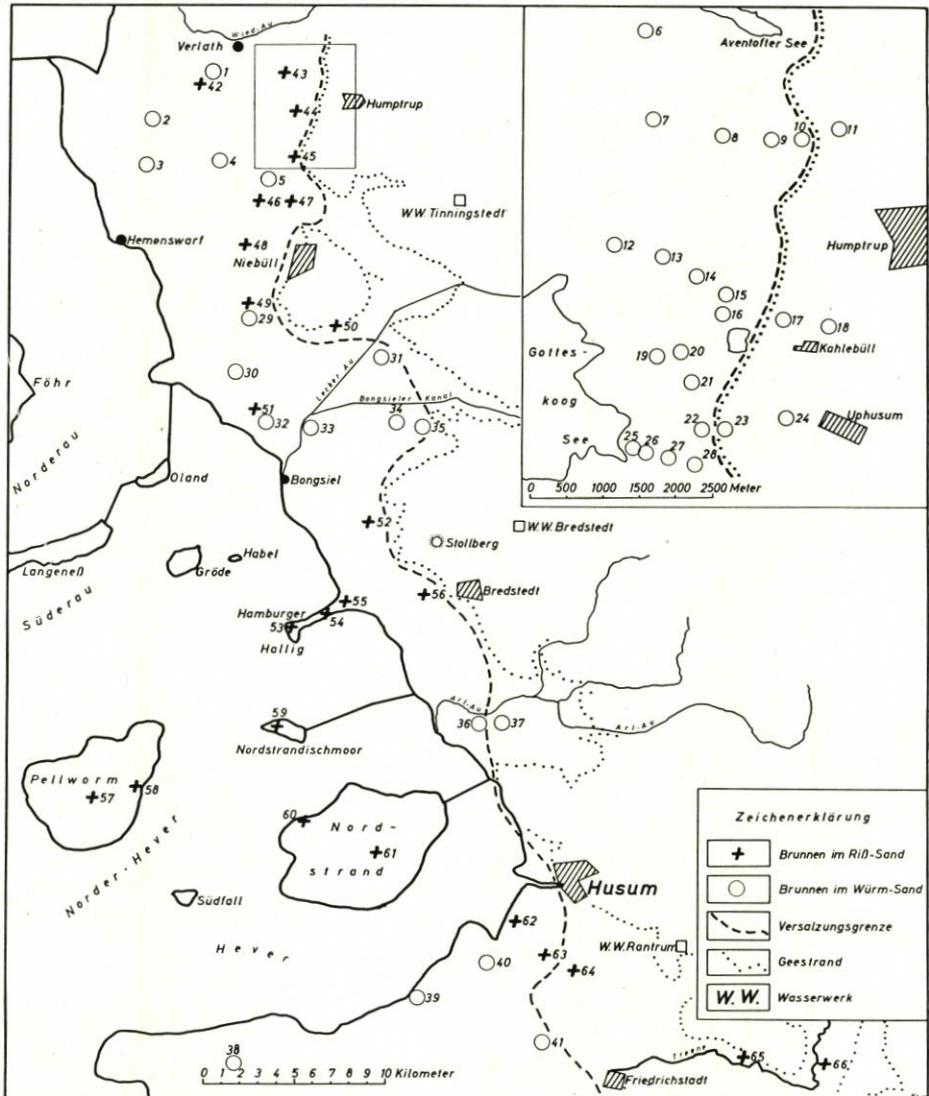


Abb. 2. Lage der Beobachtungsbrunnen und Verlauf der Versalzungsgrenze in Nordfriesland (Cl-Werte siehe Tab. 1)

4. Ausdehnung und Grad der Versalzung

Durch die Einrichtung einer großen Zahl von Grundwasserbeobachtungsbrunnen und die laufende Bestimmung des Chloridgehalts in Brunnen und Bohrungen ist die Versalzungsgrenze an der schleswig-holsteinischen Westküste jetzt ziemlich genau bekannt. Sie folgt, wie aus den Abbildungen 1 und 2 ersichtlich ist, im äußersten Norden unmittelbar der Geest-Marsch-Grenze, umläuft die Niebüller Geestinsel (ein die Marsch durchragender würmzeitlicher Schmelzwassersand), auf der vor der kürzlich eingeleiteten Drainung und Entwässerung durch Schöpfwerke eine erhebliche Versickerung erfolgte, sie quert die Niederungen der Lecker und Soholmer Au und fällt vor der Bredstedter und Schobüller Geest wieder mit dem Geestrand zusammen. Von dort verläuft sie mit kleineren Ausbiegungen nach Eiderstedt zu in Richtung Friedrichstadt, schneidet die Lundener Nehrung, hält sich von der Heider Geest in geringem Abstand, biegt leicht in die Miele-Niederung ein und erweitert ihren Abstand dann nach Süden zu unter dem Einfluß größerer Zuflüsse von der Burger Geest (Abb. 3).

In den Elbmarschen ist eine schärfere Grenze nicht zu erkennen. Die Zone mit Chloridwerten unter 1000 mg/l ist hier ungewöhnlich breit.

Chloridwerte im Grundwasser in mg/l

A. Nordfriesland (Abb. 2)

a) Brunnenfilter 0,5 m unter Oberkante Würm-Sande

1.	7540	15.	1712	29.	90
2.	595	16.	538	30.	1450
3.	4187	17.	39	31.	2660
4.	2895	18.	40	32.	2865
5.	799	19.	2230	33.	4719
6.	3851	20.	110	34.	2890
7.	4653	21.	2213	35.	155
8.	3260	22.	5000	36.	160
9.	525	23.	42	37.	75
10.	148	24.	40	38.	10150
11.	41	25.	4713	39.	4813
12.	7442	26.	2159	40.	941
13.	1040	27.	781	41.	155
14.	4190	28.	1055		

b) Brunnenfilter 1,0 m unter Oberkante Reiß-Sande

42.	6009	51.	3050	60.	344
43.	6909	52.	8544	61.	3020
44.	6904	53.	239	62.	2302
45.	6901	54.	1040	63.	150
46.	2018	55.	1155	64.	25
47.	1450	56.	12622	65.	765
48.	6674	57.	5940	66.	2660
49.	5712	58.	250		
50.	150	59.	3039		

B. Dithmarschen (Abb. 3) (Auswahl)

Brunnenfilter im Würm-Sand

1.	1780	4.	1258	7.	119
2.	1606	5.	365	8.	265
3.	1080	6.	1565	9.	1218

In Nordfriesland weicht die Versalzungsgrenze im Bereich der Verbreitung eemzeitlicher Meeresabsätze in den beiden pleistozänen Grundwasserleitern gewöhnlich etwas voneinander

ab. Die Versalzung in den unteren rißzeitlichen Sanden ist meist stärker und reicht weiter landeinwärts. Wo die Eemabsätze nahe dem Geestrand auskeilen und beide Grundwasserleiter ineinander übergehen, erfolgt eine Beeinflussung der Salzwerte von unten her, offenbar jedoch

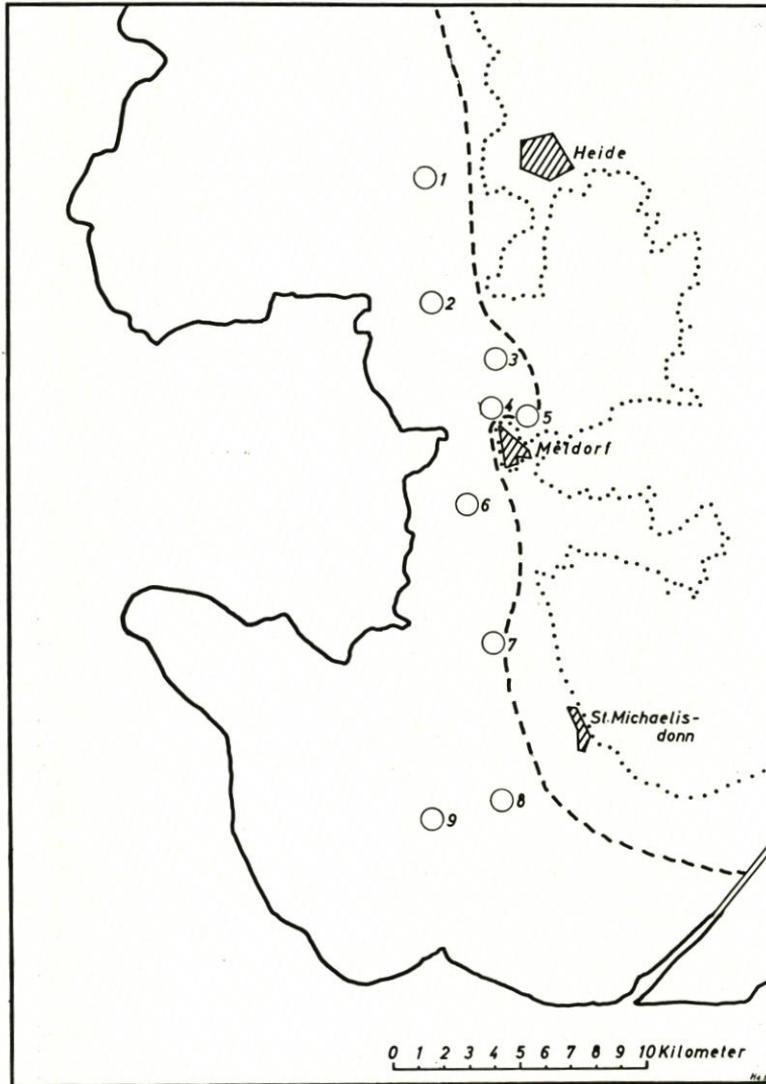


Abb. 3. Lage der Beobachtungsbrunnen und Verlauf der Versalzungsgrenze in Dithmarschen (Cl-Werte siehe Tab. 1)

zur Hauptsache erst als Folge künstlicher Eingriffe. Darauf ist es z. B. zurückzuführen, daß das Aventotter Seegebiet stärker versalzen ist als das des Gotteskoog-Sees (vgl. auch die Salztabelle bei WOHLBERG in diesem Heft). Eine Ausnahme bildet die Arlau-Niederung, vor der stellenweise weit seewärts nur geringe Salzwerte in den rißzeitlichen Sanden beobachtet werden (Norden von Nordstrand, Osten von Pellworm).

Die Stärke der Versalzung (Abb. 2 und 3, Tabelle 1) schwankt entlang der West-

küste in weiten Grenzen und ist sogar in eng begrenzten Räumen teilweise äußerst unterschiedlich. Keineswegs verlaufen die Isohalinen regelmäßig und parallel zum Geestrand. Nur in Gebieten mit großräumig einigermaßen gleichmäßigem Aufbau im Pleistozän und Holozän und ohne künstliche Beeinflussung des hydrostatischen Zustands, wie in Eiderstedt und in Dithmarschen, nimmt der Salzgehalt im Grundwasser in Richtung Nordsee ziemlich regelmäßig zu und erreicht mit 13 000 bis 14 000 mg/l im westlichen Eiderstedt fast den Salzgehalt der Nordsee an der Wattenmeerküste. In anderen Gebieten, z. B. in Nordfriesland vor der Bredstedter Geest, läßt sich teilweise ein umgekehrtes Gefälle in den Chloridwerten beobachten. Während am Fuße des Stollbergs infolge der geringen Zuflüsse von der alten Geest her Werte von 9000 bis 12 000 mg/l erreicht werden, sinken sie in den äußeren Kögen bis auf 2000 bis 3000 mg/l ab und betragen auf der Hamburger Hallig seit vielen Jahren, allerdings örtlich sehr begrenzt, ziemlich konstant sogar nur 350 mg/l. Hier werden Einflüsse sichtbar, die von den stark wasserführenden Tälern der schleswigschen Geest, wohl der Arlau, ausgehen. Die Grundwasserbewegung erfolgt eben nicht senkrecht zum Verlauf des Geestrandes von Land auf See zu oder umgekehrt, sondern kann erheblich davon abweichen.

Sehr hoch liegen auch die Chloridwerte im Gotteskoog, dessen geestwärtige Begrenzung weitgehend aus Geschiebemergel besteht. Durch das besonders enge Netz an Beobachtungsbrunnen war es möglich, die hier oft sehr scharfe Grenze zwischen Süßwasser und Salzwasser genau festzulegen. An einer Stelle nimmt der Chloridgehalt von dem Normalwert von 40 mg auf einer Entfernung von 300 m auf 5000 mg/l zu. In der näheren und weiteren Umgebung schwanken aber auch hier die Salzmenen im Grundwasser beträchtlich, was allerdings nicht allein auf natürliche Ursachen zurückgeführt werden kann.

5. Ursachen der Versalzung

Eine Versalzung der Grundwasserleiter des Küstengebiets bis zum Geestrand kann nur bei entsprechend landwärts gerichtetem Druckgefälle erfolgen. Dieses wird von zahlreichen Faktoren bestimmt und beeinflusst. Zwar verursacht auch bereits bei gefällslosem Grundwasserspiegel der Unterschied im spezifischem Gewicht eine Unterwanderung von Seewasser unter das Süßwasser des Festlands. Ein an der Oberfläche des Grundwasserleiters festgestellter Salzgehalt nimmt mit der Tiefe stets höhere Werte an. So beträgt z. B. der Cl-Wert im Beobachtungsbrunnen 40 (Abb. 2) in 20 m Tiefe 941 mg/l, bei 30 m 1192 und 40 m 3881 mg/l. Der Zustand ruhenden Grundwassers ist jedoch nach den Beobachtungen nirgends vorhanden. Die Linien gleichen Salzgehalts verlaufen nicht waagrecht und fallen nicht schwach, sondern ziemlich steil landwärts ein. Dies bedeutet, daß Grundwasserbewegungen vorhanden sind, die im Verein mit den Dichteunterschieden eine keilförmige Über- und Unterschichtung bedingen, wie sie in ähnlicher Weise aus den Tideflußmündungen der Nordseeküste bekannt ist. Für den Grundwasserspiegel an der seewärtigen Begrenzung des Grundwasserleiters ist die Höhe des mittleren Meeresspiegels maßgebend, im Tidegebiet also das Tidemittelwasser, das sich aus der Schwerlinie der Tidekurve ergibt. Jede Änderung des Tmw wirkt sich auf das Grundwasserdruckgefälle aus. An der schleswig-holsteinischen Westküste liegt das Tidemittelwasser etwa bei Normal Null. Unter diesen Wert können sich unter natürlichen Bedingungen Grundwasserstände selbst an der äußersten Küste nicht absenken. Auch dort, wo die Grundwasserstände Tideschwankungen aufweisen, ergibt sich ein Mittelwert, der dem Tmw gleichkommt.

Die Grundwasserstände am Geestrand ergeben sich aus den Grundwasserständen in den Einzugsgebieten, den Zuflußmöglichkeiten, dem geologischen und morphologischen Aufbau

sowie durch die Abflußmöglichkeiten nach See zu, wobei Mächtigkeit und Körnung des Grundwasserleiters sowie der Weg, den das Grundwasser bis zum Erreichen der offenen See zurückzulegen hätte, ebenfalls von Bedeutung sind. Da keiner dieser Faktoren rechnerisch exakt zu erfassen ist, lassen sich Grundwasserstände nur durch unmittelbare Beobachtungen ermitteln, wenn auch Unterschiede in der Höhe auf die eine oder andere Weise zu erklären sind.

Die Höhenlage des Meeresspiegels hat sich während der holozänen Entwicklung bedeutend verändert. Während der flandrischen Transgression stieg er in unserem Gebiet verhältnismäßig schnell um 40 m an. Um 4000 bis 3000 v. Chr. stand die offene See unmittelbar an Dithmarschens Geestrand, erreichte ihren höchsten Stand aber erst lange nach dem Einsetzen der Verlandung, vermutlich kurz vor Christi Geburt. Seitdem ist dieser noch nicht wieder erreicht worden, wenn auch in der jüngsten erdgeschichtlichen Entwicklung mit kürzeren und geringen Schwankungen des Meeresspiegels gerechnet werden muß. Die Auswirkungen des holozänen Meeresspiegelanstiegs, der aber die Nordsee in Nordfriesland wegen der spät eingetretenen Transgression an keiner Stelle bis an den Geestrand reichen ließ, werden durch zunehmende Sedimentation im transgredierten Gebiet überlagert, was eine fortschreitende Überdeckung der pleistozänen Grundwasserleiter durch mehr oder weniger undurchlässige Schichten und damit eine Vergrößerung des Durchflußwiderstands bedeutet. Es liegt also auch für die Vergangenheit nicht der einfache Fall vor, daß Meeresspiegelanstieg Versalzung und ein Absinken Aussüßung bedeutet.

In Nordfriesland ist die größte Ausdehnung des holozänen Festlands schon in vorchristlicher Zeit erreicht worden. Die Sturmflutkatastrophen des 14. und 17. Jahrhunderts haben zu starken Einbrüchen geführt, als deren Folge tiefe Erosionsrinnen neuer Wattströme entstanden. Obwohl der Meeresspiegel heute trotz des Anstiegs während der letzten hundert Jahre zweifellos nicht höher liegt als in der Zeit vor mehr als zweitausend Jahren, ist die Versalzung des Grundwassers heute sicher ungleich stärker als damals. In Dithmarschen dagegen hat sich in nachchristlicher Zeit, auch in den letzten tausend Jahren, die Sedimentation vor der Küste und die Verlandung fortgesetzt, und es ist denkbar, daß hier noch in jüngster Vergangenheit eine Abnahme im Salzgehalt des Grundwassers stattfand. Die durch den morphologischen Zustand am Ende der letzten Vereisung bedingten faziellen Unterschiede in der geologischen Entwicklung zeichnen sich also in ähnlicher Weise auch in den verschiedenartigen Grundwasserverhältnissen ab.

Da in der Marsch selbst die Grundwasserleiter im allgemeinen durch undurchlässige holozäne Schichten abgedeckt sind und das Grundwassergefälle sich aus dem Grundwasserdruck am Geestrand, der Länge des durchflossenen Grundwasserleiters und dem jeweiligen Tidemittelwasser ergibt, muß unter natürlichen Verhältnissen je nach der Höhe des landseitigen Grundwasserdrucks der Grundwasserstand in der Marsch stets über dem Tmw liegen; das Grundwasser muß gespannt sein, es muß eine seewärts gerichtete Grundwasserströmung entstehen, zumindest in den oberen Schichten des Grundwasserleiters. Die Versalzungsgrenze muß in jedem Fall wenigstens in einiger Entfernung vom Geestrand liegen. Derartige Verhältnisse finden sich auch tatsächlich in den bereits genannten und durch eine große Zahl artesischer Brunnen gekennzeichneten Gebieten. In diesen Fällen fällt das Pleistozän am Geestrand steil unter die holozänen Ablagerungen ein. Die Abdeckung ist praktisch vollkommen.

Tatsächlich liegen jedoch die Grundwasserstände, besonders in den Niederungen des Gotteskoogs und des Bongsieler Gebiets, vielfach erheblich unter dem möglichen natürlichen Niedrigststand, dem Tmw. Das Grundwasser ist hier nicht artesisch, es steht auch nicht unter voller Spannung, sondern es ist teilweise entspannt. Es liegt oft nur wenig über den künstlich gehaltenen Oberflächenwasserständen, die in den Sielzügen und Entwässerungs-

gräben bis zu $-2,0$ m NN abgesenkt werden können. Ihnen suchen sich die Grundwasserstände anzupassen. Die holozäne Abdeckung ist in den Geestrandgebieten schwach, in den oft unvollkommen verlandeten Gebieten des östlichen Gotteskoogs und des Bongsieler Gebiets fehlt sie stellenweise ganz. Ehemalige Seebecken (Gotteskoog-, Aventofter, Kahlebüller und Bottschlotter See), Sielzüge und Parzellengräben schneiden vielfach in den pleistozänen Grundwasserleiter ein. Je nach der Mächtigkeit des überlagernden Kleis und Torfs entsteht, oft deutlich sichtbar, Grundwasserauftrieb und Qualmwasser in erheblichen Mengen.

Diese Entspannung des Grundwasserspiegels in den geestrandnahen Niederungen führt zwangsweise zu einem landwärts gerichteten Druckgefälle, sobald die Grundwasserstände künstlich unter Tmw abgesenkt werden, aber auch zu einer Absenkung der Grundwasserstände auf den randlichen Geestgebieten. Denn an dem aufdringenden Qualmwasser ist auch das Grundwasser der Geest beteiligt, und als Folge der Entspannung findet eine allmählich fortschreitende, wenn auch nachhinkende Grundwasserabsenkung auf dem Geestrand statt, die zu einer Gefällsverminderung führt. Dagegen ist natürlich das von der See her bestehende Gefälle konstant, da das Tmw nicht zu beeinflussen ist. Jede Entspannung, d. h. jede künstliche Absenkung der Grundwasserstände in der Marsch, stört unter den beschriebenen Verhältnissen den Gleichgewichtszustand im Grundwasserhaushalt, sie führt zwangsläufig zur Versalzung. Jede Intensivierung der Entwässerung hat eine weitere Erhöhung des Salzgehalts zur Folge.

Diese durch ein reiches Beobachtungsmaterial belegte Entwicklung ist nicht erst durch die Errichtung von Schöpfwerken herbeigeführt worden. Seit der Bedeichung ist jede Entwässerungsart eine künstliche. Gezeitensiele schützen nicht nur gegen Sturmfluten, sie schließen jede Tidebewegung aus. Das hat zur Folge, daß zusammen mit dem Ausbau des Entwässerungssystems, das weit größere Querschnitte hat als ein natürliches, der Binnenwasserstand während eines wesentlichen Teils des Jahres bis in die Nähe des Mitteltideniedrigwassers abgesenkt werden kann. Der Bau von Schöpfwerken hat insofern noch größere Auswirkungen, als sie jeden gewünschten Wasserstand während des ganzen Jahres zu halten in der Lage sind und auch Gebiete entwässern können, die sich wegen des zu langen Vorflutweges mit den üblichen Methoden nicht entwässern lassen. Leider liegen Grundwasserbeobachtungen aus der Zeit vor der Inbetriebnahme der ersten größeren Schöpfwerke Verlath und Hemenswarf im Gotteskooggebiet nicht vor. Nach der Verstärkung des Schöpfwerks Verlath im Jahre 1951 auf die doppelte Leistung zeigt der Vergleich der Chloridwerte im Grundwasser einen sprunghaften Anstieg unmittelbar nach der intensivierten Entwässerung. Im Bongsieler Gebiet ist die Entwicklung weniger weit fortgeschritten, aber auch hier weist der Salzgehalt mit dem fortschreitenden Ausbau der Entwässerung eine steigende Tendenz auf.

Der augenblickliche wasserwirtschaftliche Zustand der nordfriesischen Niederungen ist letzten Endes eine Folge erdgeschichtlicher Vorgänge, mangelhafter Verlandung, frühzeitiger Bedeichung und von Setzungen, die wiederum durch künstliche Entwässerung bedingt und gefördert werden. So wie die Kultivierung dieser Gebiete durch die Geschichte der Landschaft bedingt war, hat sie ihrerseits tief in die natürliche erdgeschichtliche Entwicklung eingegriffen. Das Auftreten salzigen Qualmwassers in großen Mengen unmittelbar am Geestrand und anderen Gebieten mit geringer Marschbedeckung ist eine Folge der durch die Forderungen der Landwirtschaft bedingten wasserwirtschaftlichen Maßnahmen, die den Wasser- und Grundwasserhaushalt sehr stark beeinflusst haben.

Aber auch der Ausbau der Entwässerung besonders in den flachen Sandergebieten der Geest ist geeignet, die Grundwasserhältnisse im Küstengebiet zugunsten der Versalzung zu beeinträchtigen. Der Ausbau und die Begradigung von Vorflutern sowie Drainungen beschleunigen die oberflächliche Entwässerung, vermindern den Versickerungsanteil der Nieder-

schläge und den Grundwasservorrat, müssen schließlich eine Absenkung der Grundwasserstände auf der Geest und damit eine Verminderung des Druckgefälles von der Geest zur Marsch herbeiführen, die sich schließlich wieder auf die Lage der Versalzungsgrenze auswirkt.

6. Auswirkungen der Versalzung

Es bedarf keiner weiteren Erörterung, daß die Gewinnung von einwandfreiem Trinkwasser, von einigen kleinen Gebieten abgesehen, in den Marschen der schleswig-holsteinischen Westküste infolge des hohen Salzgehalts des Grundwassers ausgeschlossen ist. Auch ohne Versalzung wäre zwar wegen mangelhafter Qualität des Grundwassers und der Schwierigkeiten der Aufbereitung die Errichtung von Wasserversorgungsanlagen hier kaum möglich, die bis an den Geestrand herangerückte Versalzungsgrenze zwingt jedoch dazu, Gruppenwasserwerke für die Versorgung der Marsch weiter zurück auf die Geest zu legen. Das führt zu längeren und stärkeren Rohrleitungen und damit zu erhöhten Kosten. Das Wasserwerk für das Gotteskooggebiet, das nach dem Plan von 1940 ohne volle Berücksichtigung der Versalzungsgefahr am Geestrand bei Bosbüll entstehen sollte, würde, wenn es dort errichtet worden wäre, heute salzhaltiges Wasser fördern. Das jetzt in Tinningstedt errichtete Werk „Dreiharden“ liegt außerhalb der Gefahrenzone.

Die Tränkwasserversorgung, die in den Marschen gewöhnlich aus Gräben oder Kuhlen erfolgt, ist in all den Gebieten gefährdet, in denen salziges Qualmwasser in Gräben und Sielzügen auftritt und selbst unter Vermischung mit dem Niederschlagswasser, allerdings im Sommer auch unter dem Einfluß der Verdunstung, zu Chloridwerten von mehreren tausend mg/l führt. Eine rationelle Viehzucht wird besonders dann unmöglich, wenn zu geringe Kleimächtigkeiten die Anlage von Kuhlen nicht gestatten, wie sie auf Pellworm und in Eiderstedt üblich ist und dort unter normalen Witterungsbedingungen trotz versalzener Grundwasser und versalzener Gräben die Tränkwasserversorgung ausreichend sicherstellt. In einzelnen allerdings flächenmäßig nicht sehr großen Gebieten wird zur Aufrechterhaltung einer gesunden Viehwirtschaft in Zukunft die Tränkwasserversorgung aus dem zentralen Versorgungsnetz erforderlich werden. Auch in anderen Gebieten mit qualitativ schlechtem Grabenwasser dürfte die Versorgung mit einwandfreiem Tränkwasser zweckmäßig sein. Die entstehenden Kosten dürften zum größten Teil durch Leistungssteigerungen ausgeglichen werden.

Wenn große Qualmwassermengen anfallen, wirkt sich dies in erhöhten Schöpfwerkskosten aus. Der Anteil des Grundwassers, das mitgeschöpft werden muß, läßt sich ziemlich genau errechnen, wenn der Salzgehalt des Grundwassers und der des vom Schöpfwerk gepumpten Mischwassers bekannt sind. Aus den laufend seit zehn Jahren an zahlreichen Beobachtungsbrunnen im Gotteskooggebiet ermittelten Chloridwerten des Grundwassers und des Wassers am Schöpfwerk Verlathe ergibt sich z. B., daß der Grundwasseranteil oft bis zu 50% beträgt. Das bedeutet bei einer Schöpfwerksleistung von etwa 2 Millionen m³ in 24 Stunden, daß darin 1 Million m³ Grundwasser enthalten ist, was dem Jahresbedarf einer Stadt von 20 000 Einwohnern entspricht. Das mitgeschöpfte Salz würde schon bei einem Chloridgehalt von 1000 mg/l, der tatsächlich oft erheblich überschritten wird, umgerechnet in kristallisiertes Salz täglich zwei Güterzüge mit je 60 Waggon zu 15 t füllen können.

Erhöhte Schöpfwerkskosten würden zwar auch anfallen, wenn es sich um nicht versalzenes Qualmwasser handelte. Sie sind unter den hier gegebenen Verhältnissen aber eine Folge der Errichtung des Schöpfwerks, das erst diese Mengen Qualmwasser entstehen läßt und damit die Erhöhung der Schöpfleistung bedingt. Eine Begleiterscheinung ist die dadurch

gleichzeitig verursachte Versalzung. Diese Beziehung gewinnt noch dadurch an Bedeutung, daß das versalzene Grundwasser aus dem Entstehungsgebiet über weitere Gebiete verschleppt wird, so daß der Bereich versalzenen Grabenwassers viel größer ist als der, in dem tatsächlich Grundwasser austritt.

Unter ungünstigen Umständen können sich auch Auswirkungen auf den Boden und dessen Wasser- und Ionenhaushalt ergeben. In intensiv entwässerten Gebieten wird das Grundwasser durch einschneidende Gräben und Sielzüge teilweise entspannt. In benachbarten Gebieten, wo Gräben nicht in den Grundwasserleiter einschneiden, wird die Entspannung nicht denselben Grad erreichen. Hier dringt versalzenes Grundwasser als frei bewegliches Porenwasser und als Kapillarwasser auf. Bei gespanntem Grundwasser aber nimmt die Kapillarität den mehrfachen Betrag der normalen an. Bei geringer Klei- oder Torfauflage und ausreichender Durchlässigkeit steigt salzhaltiges Grundwasser bis an die Oberfläche des Bodens auf und führt in niederschlagsarmen Zeiten zu hohen Salzkonzentrationen und Auskristallisierung von Salz. Derartige Flächen sind vom Bottsclotter See, Kleiseer Koog sowie vom Gotteskoog- und Aventofter See bekannt (WOHLENBERG, 1953 und Aufsatz in diesem Heft). Wesentlich größer als diese verhältnismäßig kleinen Gebiete sind jene, wo Salz zwar nicht an der Oberfläche ausblüht, aber immerhin noch in die Wurzelzone gelangt. Wie weit sich das Aufsteigen frei beweglichen Porenwassers durch enge Entwässerung oder Drainung verhindern läßt, hängt von der Stärke und Durchlässigkeit der aufliegenden Schichten ab. Ist die Auflage geringer als die Mindestdraintiefe, so müßten die Drainrohre in den Grundwasserleiter verlegt werden, wodurch eine Grundwasserabsenkung mit dem Anfall großer Wassermengen und eine weitere Zunahme der Versalzung erreicht würde. Eine solche Maßnahme ist zwar technisch durchführbar, bedingt aber den schwierigen und kostspieligen Ausbau tieferer Vorfluter. Ob sie wirtschaftlich zu vertreten ist, hängt außerdem von der Güte und dem Wasserhaltungsvermögen des Bodens ab, da gerade in den in Betracht kommenden Gebieten häufiger niederschlagsarme Zeiten zu Dürreschäden führen.

Die erhöhte Kapillarität läßt sich zwar durch geeignete Entwässerung und Drainung auf den normalen Wert zurückbringen, aber nicht aufheben. Unter welchen Bedingungen im einzelnen salziges Grundwasser Vegetationsschäden hervorrufen kann, ist noch nicht eingehend untersucht. Auf der Insel Pellworm reicht erfahrungsgemäß eine Abdeckung mit 1 m mächtigem, schwerem Klei bei stark versalzener, nicht gespanntem Grundwasser und erheblich versalzener Grabenwasser aus, um Vegetationsschäden zu verhindern. Bei nur 40 bis 50 cm Klei stellt sich Salzflora ein.

Die Einwirkungen auf den Boden und die Bodenbildung sind an der schleswig-holsteinischen Westküste noch nicht näher untersucht. Nach niederländischen Forschungsergebnissen (v. D. MOLEN und SIEBEN, 1955) bilden sich hochliegende Reduktionshorizonte bei aufsteigendem Grundwasser. Da das Grundwasser nicht nur die Salze des Meerwassers, sondern auch meist große Mengen an Eisen- und Schwefelverbindungen mit sich führt, ergeben sich weitere unerwünschte und nachteilige Auswirkungen auf die Bodenstruktur, auf die hier nicht näher eingegangen werden soll. Auch auf diesem Gebiet sind eingehende Untersuchungen dringend erforderlich. In den Gräben mit aufquellendem Grundwasser wird meist eine starke Ausfällung von Eisen beobachtet. Wegen der Bildung von Eisenoxydhydrat in Drainrohren wird auf die niederländischen Erfahrungen verwiesen (v. D. MOLEN und SIEBEN, 1955).

Abschließend sei erörtert, in welchen Gebieten der schleswig-holsteinischen Westküste Schäden durch versalzenes Grundwasser entstehen können. Versalzungserscheinungen in Gräben und Sielzügen können überall auftreten, wo diese in grundwasserleitende Schichten des Pleistozäns oder feinsandig-schluffigen Holozäns einschneiden und die Wasserstände erheblich unter NN gehalten werden. Diese Bedingungen sind auf erheblichen Flächen des Gotteskoog-

und Bongsieler Gebiets sowie auf der Insel Pellworm gegeben. Alle übrigen Gebiete haben entweder bei niedriger Geländelage einen mächtigen und undurchlässigen Untergrund wie im nördlichen Eiderstedt oder bei salzwasserführendem schluffig-feinsandigem Holozän eine hohe Geländelage und wenig tiefe Entwässerung, wie im südlichen Eiderstedt und großen Teilen Dithmarschens, sind also weder jetzt noch in Zukunft gefährdet.

Da Vegetationsschäden erst bei weit geringerer als der der Tiefe der Gräben und Sielzüge entsprechenden Kleimächtigkeit auftreten können, sind die davon betroffenen Flächen wesentlich kleiner als das Gebiet versalzener Gräben. Zunächst scheidet diejenigen Teile aus, die salzhaltiges Grundwasser im Holozän führen, weil dann die Kleidecke stark genug ist, ferner alle Gebiete, die eine Kleidecke von 1 m und mehr oder eine Gesamtmächtigkeit anderer holozäner Ablagerungen (Torf und Faulschlamm) von 1,5 m und mehr über pleistozänen Sanden haben. Gewisse Gefahren bestehen noch bei durchlässigen Böden bis zu 2 m Mächtigkeit, doch lassen sich diese durch entsprechende Entwässerung beseitigen, wenn solchen Maßnahmen nicht andere wasserwirtschaftliche Gesichtspunkte entgegenstehen. Insgesamt belaufen sich die Flächen im Gotteskooggebiet, auf denen die Vegetation Salzsäuren erleiden kann, auf einige hundert Hektar. Im Bongsieler Gebiet tragen etwa 300 ha bereits Salzflora. Die Versalzungsvorgänge sind hier jedoch keineswegs abgeschlossen. Die Flächen mit geringmächtigem Holozän sind erheblich größer, so daß noch mit einer Erweiterung der von der Versalzung bedrohten Flächen gerechnet werden muß.

Die Gebiete, die von der Versalzung bedroht sind, sind also gemessen an der Gesamtfläche der Marschen sehr klein und fallen wirtschaftlich nicht sehr ins Gewicht. Von entscheidender Bedeutung werden sie erst durch die Maßnahmen, die zu ihrer Inkulturnahme notwendig sind und die sich auf den Wasser- und Grundwasserhaushalt weitaus größerer Gebiete auswirken. Werden diese von der Versalzung betroffenen oder bedrohten niedrigst gelegenen Gebiete durch intensive Entwässerung kultiviert, so wird die Frage einer etwa notwendigen Bewässerung für das Gesamtgebiet zu einem schwierigen Problem, das hier nicht näher erörtert werden soll.

Nachdem nun die geologischen und hydrogeologischen Grundlagen weitgehend erarbeitet, die wechselseitigen Beziehungen zwischen Grundwasserhaushalt, Versalzungsvorgängen und wasserwirtschaftlichen Maßnahmen erkannt sind, müssen die Erkenntnisse bei Planungen in diesen Gebieten von vornherein berücksichtigt werden. Es werden also Maßnahmen zu treffen sein, der fortschreitenden Versalzung Einhalt zu gebieten und sie nach Möglichkeit zurückzudrängen.

7. Zusammenfassung

Eine Versalzung des küstennahen Grundwassers kann erfolgen:

1. durch Auslaugung aus älteren salzhaltigen Formationen. Diese Möglichkeit ist an den Salzstrukturen von Marne—Heide—Süderstapel und Oldenswort gegeben. Eine derartige Versalzung ist im Treenetal nachgewiesen;
2. durch Auslaugung primären Salzgehalts holozäner Ablagerungen, die praktisch ohne Bedeutung ist;
3. durch Eindringen von Seewasser in die quartären Grundwasserleiter, für das die natürlichen Voraussetzungen an der schleswig-holsteinischen Westküste überall gegeben sind.

Von ausschlaggebender Bedeutung für das verschiedene Ausmaß der Versalzungerscheinungen sind erkannt worden: der wechselnde geologische Aufbau in den Geestrandgebieten und

die Beziehungen zum Einzugsgebiet der Geest sowie zu den Grundwasserleitern unter den nacheiszeitlichen Ablagerungen der Marsch, Veränderungen des mittleren Meeresspiegels, die geologische Entwicklungsgeschichte des Küstengebiets und die wasserwirtschaftlichen Maßnahmen in der Marsch. Wichtigste Grundwasserleiter der Marsch sind die riß- und wärmzeitlichen Schmelzwassersande.

Die Versalzungsgrenze liegt in den meisten Gebieten am oder in geringer Entfernung vom Geestrand.

Der Grad der Versalzung schwankt außerordentlich. In der Nähe des Geestrandes liegen die höchsten Werte mit 7500 mg/l Cl im östlichen Gotteskoog und mehr als 12 000 mg/l vor der Bredstedter Geest. Die auch örtlich stark schwankenden Werte sind durch den wechselnden geologischen Aufbau sowie durch wasserwirtschaftliche Maßnahmen bedingt.

Die Ursachen der Versalzung liegen 1. im Unterschied des spezifischen Gewichts von See- und Süßwasser, 2. dem zu geringen Grundwasserdruck am Geestrand, der auch unter natürlichen Bedingungen die Versalzungsgrenze nicht über die Deichlinie hinauszuschieben vermag, 3. in den von der Landwirtschaft geforderten wasserwirtschaftlichen Maßnahmen, die besonders zu den starken Versalzungserscheinungen in den Niederungen des Gotteskoogs und des Bongsieler Gebiets führten. Da bei konstantem Meeresspiegel das Grundwasserdruckgefälle von der See zum Land nur durch solche Eingriffe erzeugt werden kann, ist der Nachweis eindeutig.

Die Auswirkungen der Versalzung zwingen zu einer Verlegung der Gruppenwasserwerke auf die Geest, sie beeinträchtigen die Tränkwasserversorgung in Gebieten, wo Gräben und Sielzüge infolge aufsteigenden Grundwassers hohe Salzwerte aufweisen. Bei zu geringer Bedeckung mit nacheiszeitlichen Ablagerungen erfolgt durch Aufsteigen salzigen Grundwassers eine Beeinflussung des Wasserhaushalts der oberen Bodenschichten und damit der Vegetation. Das bedingt eine sorgfältige Planung der Meliorationsaufgaben.

Die von der auch an der Oberfläche wirksamen Versalzung betroffenen Gebiete beschränken sich zur Hauptsache auf verhältnismäßig kleine Flächen des östlichen Gotteskoogs und des Bongsieler Gebiets. Weit bedeutungsvoller sind die wasserwirtschaftlichen und kulturbaulichen Maßnahmen, welche die Kultivierung dieser Gebiete anstreben und dabei den Wasser- und Grundwasserhaushalt sowie die wasserwirtschaftliche Planung in weitaus größeren Flächen stark in ungünstigem Sinne beeinflussen.

Nachdem die geologischen und hydrogeologischen Grundlagen der Grundwasserversalzung weitgehend geklärt sind, ist es notwendig, diese naturwissenschaftlichen Erkenntnisse bei allen landwirtschaftlichen und technischen Planungen besonders zu berücksichtigen.

8. Schriftenverzeichnis

1. DITTMER, E.: Schichtenaufbau und Entwicklungsgeschichte des Dithmarscher Alluviums. Westküste Bd. I, 1938.
2. DITTMER, E.: Die Grundwasserverhältnisse in der nordfriesischen Marsch und die Gefahr der Versalzung der Niederungen. Amtlicher Bericht der Forschungsstelle Westküste vom 12. 7. 1939 (Unveröffentlicht).
3. DITTMER, E.: Wasserversorgung des Gotteskooges. Amtlicher Bericht der Forschungsstelle Westküste vom 9. 7. 1940 (Unveröffentlicht).
4. DITTMER, E.: Das nordfriesische Eem. Ein Beitrag zur Geschichte der junginterglazialen Nordsee. Kieler Meeresforschungen, 1941.
5. DITTMER, E.: Die Küstensenkung an der schleswig-holsteinischen Westküste. Forschungen und Fortschritte 17/18, 1948.
6. DITTMER, E.: Das Eem des Treenetals. Schriften Naturw. Ver. Schlesw.-Holstein Bd. XXV, Karl-Gripp-Festschrift, 1951.

7. DITTMER, E.: Die nacheiszeitliche Entwicklung der schleswig-holsteinischen Westküste. Meyniana Bd. I, 1952.
8. DITTMER, E.: Die Grundwasserverhältnisse der schleswig-holsteinischen Marschen und deren Versalzung. Amtlicher Bericht der Forschungsstelle Westküste vom 10. 12. 1953 (Unveröffentlicht).
9. DITTMER, E.: Der Mensch als geologischer Faktor an der Nordseeküste. Eiszeitalter und Gegenwart 4/5, 1954.
10. DITTMER, E.: Zur Geschichte der Landschaft und der Warften Nordfrieslands. Jaarsversl. Vereenig. Terponderzoek. Groningen 1954a.
11. DITTMER, E.: Entwässerung der Marsch durch Sickerbrunnen? Wasser und Boden 9, 1956.
12. DITTMER, E.: Ein neues Vorkommen von Braunkohlensanden. Meyniana Bd. 5, 1956 a.
13. FISCHER, O.: Landgewinnung und Landerhaltung in Schleswig-Holstein. Bd. 7: Hydrographie des Küstengebietes. Berlin 1955.
14. GRIPP, K. und SIMON, W. G.: Untersuchungen über den Aufbau und die Entstehung der Insel Sylt. I. Nord-Sylt. Westküste Bd. II, 1940.
15. GRIPP, K. und DITTMER, E.: Die Entstehung Nordfrieslands. Die Naturwissenschaften H. 39, 1941.
16. GRIPP, K.: Entstehung und zukünftige Entwicklung der Deutschen Bucht. A. d. Arch. d. Deutschen Seewarte u. d. Marineobservatoriums, 1944.
17. HECHT, F., HELMS, H. v. und KEHRER, W.: Reflection-Seismic Exploration of Schleswig-Holstein, Germany, and its geological interpretation by well data. Proceedings of the Fourth World Petroleum Congress Section I/F, Reprint 4, 1956.
18. HECK, H.-L.: Grundwasserverhältnisse und geologischer Bau im schleswig-holsteinischen Marsch- und Nordseeinselgebiet. Sitz.-Ber. d. pr. geol. L.-A. H. 6, 1931.
19. HECK, H.-L.: Das Grundwasser im Zusammenhang mit dem Bau Schleswig-Holsteins. Pr. geol. L.-A., 1932.
20. HECK, H.-L.: Marines Pliozän in Schleswig-Holstein und der „Bredstedter Ton“. Jahrb. Reichsamt f. Bodenf. 63, 1942.
21. HECK, H.-L.: Versalzungen von Grundwässern in Schleswig-Holstein, deren Umfang und Ursachen. Reichsamt f. Bodenf., 1943.
22. HECK, H.-L.: Der Grundwasserschatz Schleswig-Holsteins — ein Wegweiser zur Wassererschließung für jedermann. Hamburg 1948.
23. HECK, H.-L.: Grundwasser-Atlas Schleswig-Holsteins. Hamburg 1948 a.
24. HECK, H.-L.: Die Grundwassernot in Schleswig-Holstein. Schrift. Naturw. Ver. Schl.-Holst., Kiel 1948.
25. HECK, H.-L.: Die hydrogeologischen Grundlagen für die künftige Wasserwirtschaft in Schleswig-Holstein. GWF H. 5, 1948 b.
26. JOHANNSEN, A.: Die Küsten- und Untergrundversalzung in Schleswig-Holstein. GWF H. 10, 1954.
27. MOLEN, W. H. v. d. und SIEBEN, W. H.: Over de landbouwkundige betekenis en de kartering van de kwel in de Noordoostpolder. Van Zee tot Land Nr. 12, Zwolle 1955.
28. RICHTER, W. und FLATHE, H.: Die Versalzung von küstennahem Grundwasser, dargestellt an einem Teil der deutschen Nordseeküste. Deutsche Berichte zur Internationalen Hydrologischen Tagung in Rom 1954, Bonn 1956.
29. SIMON, W. G.: Der voralluviale Untergrund des nordfriesischen Wattenmeeres. Kieler Meeresf., 1941.
30. VINCK, F.: Die Grundwasserversalzung in Schleswig-Holstein. Ursache, Umfang, Bedeutung und Bekämpfung. Bes. Mitt. Dt. Gewässerkdl. Jahrb. Nr. 12, 1955.
31. WOHLBERG, E.: Bericht über den Stand der Untersuchungen im Gortekoog. Aml. Ber. d. Forsch.-Stelle Westküste v. 5. 10. 1953 (Unveröffentlicht).
32. WOLFF, W.: Erdgeschichte und Bodenaufbau Schleswig-Holsteins, Hamburg 1922.
33. WOLFF, W. und HECK, H.-L.: Erdgeschichte und Bodenaufbau Schleswig-Holsteins, Hamburg 1949.

Binnenland-Salzwiesen der nordfriesischen Marsch

Von Willi Christiansen und Kurt Steinberg †¹⁾

Noch vor wenigen Jahren konnte angenommen werden, „daß trotz der Nachbarschaft zweier Meere die Zahl der Salzpflanzen in Schleswig-Holstein sehr gering und ihr Vorkommen äußerst selten“ und daß der Seedeich an der Nordsee „meist eine sehr scharfe Grenze der Verbreitung [von Salzpflanzen] gegen das Binnenland sei“ (WILLI CHRISTIANSEN, 1934). Als Beweis dafür wurde angeführt, daß der verhältnismäßig junge Kaiser-Wilhelm-Koog an der Elbmündung keine einzige Salzpflanze mehr aufweist. In dem im Jahre 1925 eingedeichten Sönke-Nissen-Koog (westlich Bredstedt) allerdings konnte an Grabenrändern noch eine Anzahl von Salzpflanzen festgestellt werden. Aber „selbst in den Marschgebieten, in deren Gräben man bei Dürrezeiten Salzwasser einschleust, sind sie nicht vorhanden, wenn man nicht etwa die Strandsimse (*Scirpus maritimus*) mitrechnet“.

Inzwischen aber wurden wir von PETER LEVSEN, Dagebüll, der sich namentlich um die Erforschung der nordfriesischen Seen und Wehlen verdient gemacht hat, darauf hingewiesen, daß an den Ufern mehrerer Binnengewässer Nordfrieslands eine Anzahl von Salzpflanzen wüchse.

Durch die auf Veranlassung des Oberpräsidiums — Wasserwirtschaftsstelle — von der Verwaltung des Provinzialverbandes in Schleswig-Holstein in die Wege geleitete Pflanzensoziologische Landesaufnahme (vegetationskundliche Kartierung) hat sich nun ergeben, daß Salzböden mit Salzvegetation in Nordfriesland weit verbreitet und von großem Umfange sind. Es handelt sich keineswegs nur um die Ufer von Binnenseen und Tümpeln; am Ufer des Bottschlotter Sees, am Gotteskoogsee, einer Wehle bei Kohldamm und einer Wehle im Kleiseer Koog und an anderen Orten gedeiht eine größere Anzahl von Salzarten (sogar der Queller, *Salicornia herbacea*). Darüber hinaus überrascht es, weite Teile der Marsch von einer Salzvegetation bedeckt zu finden, so daß wir von Binnenland-Salzwiesen sprechen können²⁾.

Die Vegetation dieser Binnenland-Salzwiesen der nordfriesischen Marsch gehört nicht wie die der Marschweiden dem Fettweiden-Verbande (dem *Arrhenatherion elatioris* PAWLOWSKI 1926), sondern dem Dotterblumenwiesen-Verbande (dem *Calthion*

¹⁾ Druckfertig bei der Schriftleitung der WESTKÜSTE eingegangen 1940. Kurt STEINBERG, 1913 in Göttingen geboren, starb im Kriegseinsatz am 13. Juli 1942 in Brjansk (Rußland).

²⁾ Anmerkung der Schriftleitung: Nach den Akten der Forschungsstelle Westküste wurden am 30. Oktober 1939 im Uferbezirk des Bottschlotter Sees orientierende Salzgehaltsbestimmungen durchgeführt. Dr. D. KÖNIG fand am Ostufer des Sees im Anschluß an feuchtes und regnerisches Herbstwetter in der Uferzone, die auf sandigem Grund einen lockeren Bestand von *Salicornia*, *Spergularia*, *Suaeda*, *Puccinellia*, *Agrostis alba maritima*, *Scirpus maritimus* und degenerierendem *Phragmites* aufwies, im Bodenwasser folgende Salzwerte:

in 0— 2 cm Tiefe	13,64 ‰
„ 5—10 „ „	44,17 ‰
„ 15—20 „ „	20,50 ‰
„ 25—30 „ „	15,52 ‰
„ 35—40 „ „	13,91 ‰.

Der hohe Wert von 44,17 ‰ geht noch auf die sommerliche Verdunstung zurück, der dagegen geringe Wert von 13,64 ‰ an der Oberfläche in 0—2 cm Tiefe ist durch die aussüßende Wirkung der herbstlichen Niederschläge zu erklären.

palustris Tx. 1937) an. Das meist reichliche Auftreten von Kriechendem Hahnenfuß (*Ranunculus repens*) und Geknietem Fuchsschwanz (*Alopecurus geniculatus*) weist unsere Salzgesellschaften in die „Hahnenfußwiese“ (*Ranunculus repens*-*Alopecurus geniculatus*-Assoziation Tx. 1937). Diese Salzwiesen sind in ihrer Zusammensetzung nicht ganz gleichartig, was auf

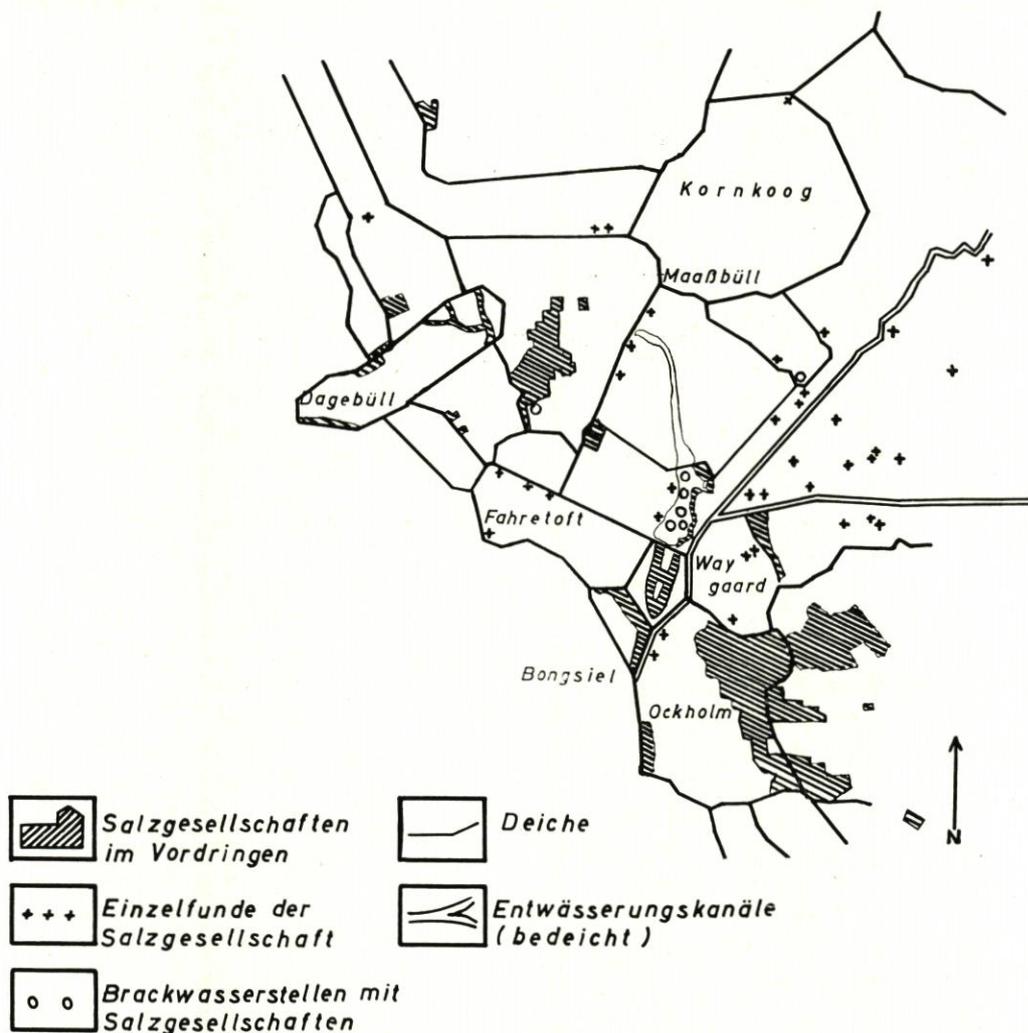


Abb. 1. Verbreitung der Salzgesellschaft in der nordfriesischen Marsch.
(Schraffiert: Geschlossenes Gebiet mit der Salzgesellschaft und Schilfbeständen und Großseggenwiesen, in die die Salzgesellschaft vorzudringen scheint)

Unterschiede des Bodens, besonders der Feuchtigkeit, zurückzuführen ist. Da indessen diese Feuchtigkeitsgrade, entsprechend der Höhenlage und der Zusammensetzung des Bodens, ganz allmählich ineinander übergehen, sind auch die einzelnen Typen durch weiche Übergänge miteinander verbunden. Immerhin lassen sich deutlich fünf Varianten unterscheiden (Tabelle I, A bis E), die drei verschiedenen Subassoziationen der Hahnenfußwiese zuzuordnen sind. Die Varianten B bis D gehören zur Subassoziation von *Heleocharis uniglumis* Tx. u. HINZ 1937.

Variante B (nach der Zierlichen Segge, *Carex gracilis*, benannt) ist naß (Tabelle I lfd. Nr. 8 bis 17). Die typische Variante C nimmt im Wasserhaushalt eine Mittelstellung ein (Tabelle I lfd. Nr. 18 bis 34). Die Variante der Hirsekornsegge (*Carex panicea*) (D in Tabelle I lfd. Nr. 35 bis 39) steht noch auf weniger nassem Boden; sie ist in Nordfriesland nur andeutungsweise vorhanden. Daneben treten Salzwiesen auch in anderen Subassoziationen der Hahnenfußwiese als Varianten auf. So gehört beispielsweise die Variante A als Variante von *Heleocharis uniglumis* zu der Subassoziation von *Phalaris arundinacea* Tx. u. PREISING 1937 (Tabelle I lfd. Nr. 1 bis 7) und die Variante E von *Juncus gerardi* zu der Subassoziation von *Poa trivialis* Tx. 1937 (Tabelle I lfd. Nr. 40 bis 46). Während die Variante A auf sehr nassem Boden steht, ist die *Juncus-gerardi*-Variante die Binnenland-Salzwiese mit den geringsten Feuchtigkeitsansprüchen.

Die Karte (Abb. 1) zeigt, welchen erheblichen Umfang die Salzwiesen im Gebiete der Soholmer-Au in Nordfriesland besitzen. Eine solch große Ausdehnung nehmen sie glücklicherweise nicht in allen Teilen der schleswig-holsteinischen Marsch an, jedoch wurden sie auch an anderen Orten der Marsch zwischen Friedrichstadt und der dänischen Grenze sowie in Eiderstedt festgestellt. Prof. Dr. TÜXEN³⁾ teilt mit, daß sie auch in der Wesermarsch bei Bremen auftreten und daß er sie im oberen Werratal in großer Ausdehnung beobachtet habe.

In der Nähe der schleswig-holsteinischen Ostseeküste stehen auf feuchten Böden, die heute durch Deiche vor Überflutungen durch die Ostsee geschützt werden, ebenfalls Salzwiesen, die aber von geringem Umfange sind. Sie gehören, wie aus der Florenliste, Tabelle II, hervorgeht, der Variante von *Juncus gerardi* (E) der *Phalaris*-Subassoziation unserer Hahnenfußwiese an.

An den übrigen Binnenland-Salzstellen in Schleswig-Holstein (Oldesloe, Wardersee, Hütten) ist der Gesellschaftscharakter durch die Kultur stark verwischt. Auf dem Brenner Moor bei Oldesloe sind neben Gesellschaften der Grasnelke (*Armerion maritimae* BR.-BL. u. DE LEEUW 1936) nur noch Bruchstücke aus der Hahnenfußwiese vorhanden⁴⁾.

Als Standort der bisher nur ungenügend untersuchten Salzgesellschaften der Hahnenfußwiese gibt TÜXEN (1937) „nasse Vertiefungen der Seemarschen innerhalb der Deiche und der Flußmarschen, auch außendeichs auf luftarmen Tonböden“ an. Der Boden der Salzstellen Nordfrieslands ist feucht bis naß. Immer ist er wintertags weithin von Niederschlagswasser überschwemmt; das Auftreten der Hahnenfußwiese überrascht den Pflanzensoziologen daher nicht. An manchen Stellen ist die aus Klei (besonders Ton) bestehende Mutterbodenschicht nur pflugfurchentief; darunter liegt zum Beispiel im Kleiseer Koog Sand; andere Standorte haben jedoch eine erheblich dickere, bis 30 cm starke, oberwärts meist recht humose Kleidecke über Torf oder Sand. Das aus dem Sand ausgedrückte Wasser schmeckt salzig⁵⁾.

³⁾ Briefl. Mitt. Für vielfachen Rat sind wir Herrn Prof. Dr. TÜXEN, Hannover, dem Leiter der Zentralstelle für Vegetationskartierung, zu herzlichem Dank verpflichtet.

⁴⁾ Anmerkung während der Drucklegung: In den letzten Jahren ist auf dem Brenner Moor *Salicornia herbacea* L. ssp. *patula* DUVAL JOUVE em. KÖNIG beobachtet worden.

⁵⁾ Ebenso ist der Torf salzhaltig. Im trockenen Sommer 1939 zeigte sich überall eine Salzkruste auf dem Torf. Weithin ist dieser Torf in früheren Jahrhunderten zur Salzgewinnung verwendet worden. Darauf weist auch der Flurname „Soltmede“ im Ockholmer Koog bei Altendeich hin. LEVSEN machte (mündlich) auf die typischen Torfgräben am Bottschlotter See aufmerksam, die ganz den von den Halligen bekannten Salzgewinnungs-Torfstichen gleichen.

Dr. DITTMER, der Geologe der Forschungsstelle Westküste in Husum, erklärte (briefl.), daß „unter den Torfen meist diluvialer Sand in geringer Tiefe vorhanden ist. Da der Torf in Trockenzeiten viel Wasser verdunstet, aber immer das Bestreben hat, dauernd wassergesättigt zu bleiben, saugt er das Wasser, und zwar in diesem Falle salzhaltiges, aus dem Talsand nach“.

Dieser diluviale Talsand ist im Kleiseer Koog und bei Waygaard gleich unter der schwachen Kleidecke anzutreffen. Am Bottschlotter See, an der Wehle am Kohldammer Deich und in der Wehle am Kleiseer Koog tritt er zum Teil zutage, zum Teil liegt er nur unter der jetzigen Pflanzendecke oder gering mächtigen jungen Torfen. Dieser Talsand ist immer in Begleitung der ehemaligen Priele und Tiefs anzutreffen. Wir finden die ursprünglichen Salzgesellschaften fast ausschließlich über den alten Prielen (s. u.); an anderen Fundstellen kann man beobachten, daß infolge menschlicher Eingriffe (Abtragen der Kleidecke zum Deich- oder Straßenbau bis auf den Torf oder Sand hinunter) die gleichen Verhältnisse künstlich geschaffen wurden, die unter den alten Prielen natürlich vorherrschen (vgl. lfd. Nr. 14 und 27).

Der Salzgehalt einer Wehle bei Kohldamm (Abb. 1) ist mit 6 ‰ nicht sehr hoch, liegt aber immerhin oberhalb der Geschmacksgrenze. In der wochenlang anhaltenden Dürreperiode im Frühling 1939 hatte sich in der Spritzzone am Nordwest-Ufer (es herrschte lange Südost-Wind) eine dicke Salzkruste auf Boden und Uferpflanzen gebildet (Abb. 2 u. 3), eine Erscheinung, die im übrigen Schleswig-Holstein außerordentlich selten ist. Auch die Fischarmut bestimmter nordfriesischer Seen und Wehlen ist wahrscheinlich auf das Salz zurückzuführen.

Über die Herkunft des Salzes können vom Pflanzensoziologen nur Vermutungen ausgesprochen werden. Am nächsten liegt begrifflicherweise die Annahme, daß es sich um den bis heute nicht erschöpften Salzvorrat aus dem ehemaligen Meeresboden handelt. Abbildung 1 zeigt die Lage der Salzstellen auf den Meßtischblättern 162 und 163, 202 und 203, und Abbildung 5 zeigt einen Ausschnitt aus einer alten Karte nach JAN BERENDS, welche die Lage der ehemaligen Wattströme beziehungsweise der damals ins Land einschneidenden Priele wiedergibt. Es läßt sich nicht verkennen, daß es in erster Linie gerade die heute noch tief gelegenen Rinnen der ehemaligen Ströme und Priele sind, welche die Salzgesellschaften tragen. Es bleibt indessen verwunderlich, daß die Jahrhunderte nach der Eindeichung nicht ausgereicht haben, das Bodenwasser auszusüßen. Der Kleiseer Koog ist 1725—29 eingedeicht worden, die Köge zwischen Hattstedt und Bredstedt, in denen Salzgesellschaften mehrfach auftreten, bereits Mitte des 15. Jahrhunderts. Wenn auch die Möglichkeit besteht, daß ein späterer Deichbruch Salzwasser zugeführt hat — so sind die Wehlen am Kohldammer Deich sicherlich bei einem Deichbruch des 1562/66 eingedeichten Kleinen Kohldammer Kooges ausgekolkt worden —, so kann es sich dabei doch nur um die Zufuhr geringer Salzmenge handeln, die in kurzer Zeit wieder hinausgeführt sein müßten. Daß selbst in Kögen, die sonst keine Salzgesellschaften tragen, unter oberflächlichen mit Süßwasser getränkten Schichten Salzwasser steht, zeigt die Beobachtung an abgegrabenen Stellen, wie am Deich der Lecker Au, im Hundebüller Koog, sogar am Wegkreuz östlich Niebüll (Reichsstraße 5), wo sich Salzgesellschaften einfinden. Dasselbe lehrt auch die Erfahrung der Bauern, daß man Tränkstellen nur dort anlegen darf, wo sie sich mit Niederschlagswasser, nicht aber mit Grundwasser anfüllen können. Auch diese Beobachtung aus der Praxis deutet darauf hin, daß die Versalzungsgefahr aus dem Grundwasser kommt. — Es wäre ferner die Möglichkeit zu erwägen, ob die Rinnen und Priele gerade über Bruchlinien im Gestein lägen, durch die Salzsole aus einem tiefliegenden Salzstock nach oben stiege. Diese Fragen zu untersuchen, ist jedoch nicht die Sache des Pflanzensoziologen. Beachtenswert ist, daß die Salzstellen nur wenige dcm über NN und damit stets niedriger als die umgebende, als Fettweide dienende Marsch liegen.

Die Artenanzahl der Salzpflanzen in den nordfriesischen Binnenland-Salzwiesen ist recht klein. Das ist jedoch nicht verwunderlich, wenn man die Nutzungsweise dieser Salzstellen berücksichtigt: nach drei- bis fünfjähriger Mahd werden die Salzwiesen gepflügt und zwei Jahre hindurch mit Hafer bestellt, der einzigen Frucht, die nach Aussage der Bauern auf diesen Böden gedeiht. Es ist außerordentlich erstaunlich, daß trotz des zweijährigen Umbruchs die Salzpflanzen immer wieder zur Vorherrschaft gelangen, und zwar stehen sie auch auf der



Abb. 2
Ufer der Salzwehle
bei Kohldamm

Aufn. STEINBERG, 1939



Abb. 3
Salzkrusten in der Ufer-
zone der Salzwehle
bei Kohldamm

Aufn. STEINBERG, 1939



Abb. 4
Salzkrusten auf Pflanzen
der Spritzwasserzone an der
Salzwehle bei Kohldamm

Aufn. STEINBERG, 1939

ebenen Fläche, der Fenne, nicht etwa nur am Rande des Grabens, der nicht gepflügt wird. Marschfennen sind in Nordfriesland wie in Eiderstedt zur Hauptsache mit der „Fettweide“ (dem *Lolio-Cynosuretum* Tx.) bestanden. Sie dienen in erster Linie zur Mastviehgräsung; nur selten werden sie umgebrochen und mit einer Halmfrucht oder mit Bohnen oder Kohl

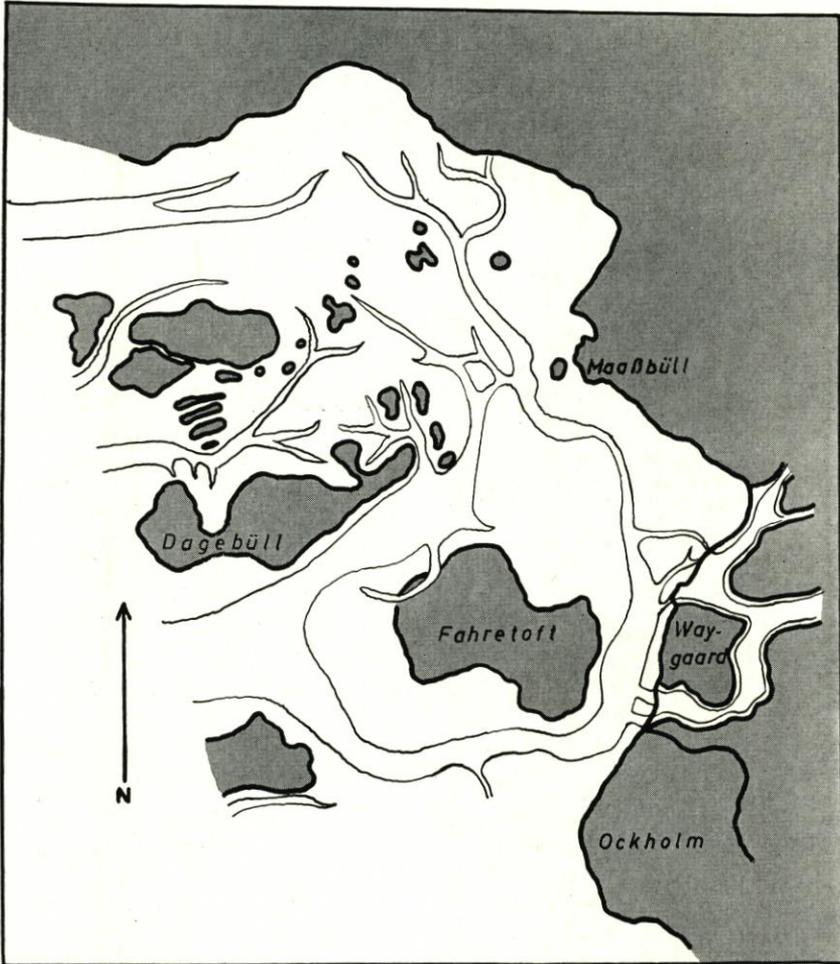


Abb. 5. Die nordfriesische Marsch im Jahre 1634

Verkleinerung einer Karte des Jan Berends: Caerte tot het ... Bedijcken ... van Butsloot, Kopie Leeghwaters im Reichsarchiv im Haag, entnommen einer Arbeit in „Nordelbingen“, Bd. VII: R. D. Baart de la Faille u. Gustav Jacoby: Zur Geschichte der Bedeichung und Kartographie der Dagebüller Bucht (Butsloot).

(Inseln und Halligen, Vorland und Festland beziehungsweise Deiche wurden mit dicken Linien, die Priele mit dünnen Linien eingezeichnet.)

bestellt. Ihr Ertrag ist geradezu sprichwörtlich. Anders dagegen die Salzwiesen. Sie sind zur Mastviehgräsung nicht geeignet und werden, wie schon angedeutet, namentlich als Mähwiesen genutzt. Wenn eine „Fettweide“ nicht beweidet, sondern zur Heugewinnung gemäht wird, so ergibt sich schon durch diese Änderung der Nutzungsweise eine Umstellung in der

Tabelle I. Salzgesellschaften der Hahnenfußwiese
(der *Ranunculus repens*-*Alopecurus geniculatus*-Assoziation)

Subassoziationen: Varianten: Laufende Nr.:	naß ←							Subassoziation von <i>Heleocharis uniglumis</i>																																		→ feucht										
	Subassoziation von <i>Phalaris arundinacea</i>							B.: Variante von <i>Carex gracilis</i>																	C.: Typische Variante																	D.: Variante von <i>Carex panicea</i>					E.: Variante von <i>Juncus gerardi</i>					
	A.: Variante von <i>Heleocharis uniglumis</i>																																																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46						
Charakterarten																																																				
<i>Alopecurus geniculatus</i>	4.5	.	2.1	3.1	.	.	.	+1	.	+1	.	1.1	.	+1	1.1	3.1	.	2.1	.	2.1	.	2.3	1.1	1.1	1.1	+1	.	2.1	.	.	2.3	1.2	2.2	+	.	.	.	2.1	+1	2.1	3.1	+1						
<i>Ranunculus repens</i>	r	+1	.	1.2	.	.	.	+1	.	.	2.1	2.1	.	1.1	.	1.1	.	1.1	.	.	2.1	2.1	.	.	.	2.3	2.1	+1	.	1.1	.	1.1	.	1.1	1.2	.	+	1.2	1.1	.	1.1	1.1	3.1	1.1	+1	1.1						
<i>Carex vulpina</i>	3.2	1.2	1.2	2.2	.	.						
Differentialarten der Subassoziationen																																																				
<i>Juncus gerardi</i>	.	.	.	2.3	.	2.2	.	1.1	1.2	3.1	.	1.1	.	.	+1	+1	.	1.3	3.3	3.3	+1	1.3	+1	+1	+3	2.3	2.2	3.5	3.1	+3	+2	3.1	3.1	4.1	+	.	2.2	2.2	1.1	.	1.1	2.3	1.1	1.2	+3	2.1	2.1					
<i>Carex gracilis</i>	+1	+1	2.1	+1	.	1.3	.	+1 ^{1/4}	r	1.1	.	+1	2.1 ^{1/4}	1.1 ^{1/4}	1.1	1.1	+1						
<i>Heleocharis uniglumis</i>	+1	1.1	1.1	.	1.1	2.3	+1	+1	3.1	3.1	+1	2.1	+1	3.4	1.1	2.1	3.1	3.1	1.1	4.5	3.1	3.1	.	.	1.1	2.1	2.1	.	1.1	+1	3.3	4.4	4.4	2.2	2.2	+1	1.1	1.1						
<i>Triglochin maritima</i>	r	1.1	+1	r	.	+1	.	2.1	+1	1.1	+1	(+)	+1	+1	.	1.1	1.1					
<i>Triglochin palustris</i>	r	+1	1.1	r	+1	+1	+1	.	.	+1	2.3	.	1.1	.	2.2				
<i>Carex disticha</i>	1.1	+1	3.1	1.2	.	.	.	4.4				
<i>Poa trivialis</i>	+1	.	.	+1	+1	.	+1	+1	.	+1	.	+1	.	.	1.1	.	+1	.	1.1	+1	.	.	.	1.1	+1	1.1	+1	.	+2	2.1	2.1					
<i>Taraxacum officinale</i>	r	r				
<i>Trifolium pratense</i>	r	1.1	.	+				
<i>Cerastium caespitosum</i>				
<i>Alopecurus pratensis</i>				
<i>Pbleum pratense</i>				
<i>Lolium perenne</i>				
Differentialarten der Varianten der Subassoziationen von <i>Heleocharis uniglumis</i>																																																				
<i>Hydrocotyle vulgaris</i>	3.1	1.1	2.1	+3	1.1	+1	.	.	+1	.	1.1	1.1	+1					
<i>Stellaria glauca</i>	1.1	+1	.	r	.	.	.	1.1	+2	.	+1	+1	.	+1				
<i>Glyceria aquatica</i>	1.1	+3/4	+3	2.1 ^{1/4}	+3 ^{3/4}	2.1	3.3 ^{3/4}	r ^{1/4}	.	+1	r	+1	.	2.1				
<i>Phalaris arundinacea</i>	1.3	1.1 ^{2/4}	+1	.	+3 ^{1/4}	2.3	+2 ^{1/4}	r ^{2/4}	+1	.	+1	.	+1	+1				
<i>Carex panicea</i>	1.2	.	2.2	2.2	2.2				
<i>Agrostis vulgaris</i>	1.2	.	1.1	1.1	+				
<i>Festuca elatior</i>	+1	.	1.1	1.1				
Verbands- und Ordnungscharakter-Arten																																																				
<i>Lychnis flos cuculi</i>	+1	+1	.	r	+1	.	+1	+1	.	+1	.	1.1	+1	+1	.	.	+1					
<i>Deschampsia caespitosa</i>	+2	.	.	+2	+2	.	+2	.	+2	+2	.	.	+2	.	+3	.	+2	2.2	2.3					
<i>Lythrum salicaria</i>	1.1	1.1	2.3	r	.	r	+1	.	1.1	+1	.	.	+1	1	r	+1	+1	r					
<i>Senecio aquatica</i>	1.1	r	r	+1	.	.	+1	1.1	.	1.1	+1	.	r					
<i>Caltha palustris</i>	.	+1	r	+1	.	.	.	+1	.	+1	.	+1				
<i>Lysimachia vulgaris</i>	+1	.	.	r	+1	.	.	.	+1	+1	+1	+1	+1				
<i>Pedicularis silvatica</i>	+1	r	.	.	.	+1				
Klassencharakter-Arten																																																				
<i>Trifolium repens</i>	.	+1	.	1.2	.	.	.	+3	.	.	.	+1	.	.	1.1	.	.	2.1	.	.	.	r	.	r	.	.	1.1	2.3	+1	1.1	.	+1	1.1	r	2.1	2.4	1.2	2.2	4.4	1.1	+1	2.1	1.1	2.1	1.1	1.1	1.1	2.1				
<i>Cardamine pratensis</i>	r	.	+1	.	+1	.	r	.	+1	.	2.1	r	.	.	1.1				
<i>Holcus lanatus</i>	.	+1			
<i>Festuca rubra genuina</i>	+1			
<i>Rumex acetosa</i>	+1			
<i>Bromus mollis</i>			
Halophile Begleiter																																																				
<i>Glaux maritima</i>	1.1	2.1				
<i>Lotus corniculatus ten.</i>			
<i>Erythraea pulchella</i>			
<i>Odontites litoralis</i>			
<i>Trifolium fragiferum</i>			
Begleiter																																																				
<i>Agrostis alba</i>	2.1	2.1	+1	2.1	+1	4.1	+1	1.1	2.1	2.1	1.1	2.1	1.1	1.1	2.1	+1	+3	+1	.	.	.	3.3	4.3	3.1	1.1	1.1	+1	+1	3.1	.	+1	1.1	1.1	+1	.	.	1.1	1.2					
<i>Potentilla anserina</i>	+1	+1	1.1	1.3	.	.	.	3.1	1.1	+1	+1	1.1	1.1	.	1.1	2.1	2.1	2.1	r	2.1	r	2.1	1.1	3.1	.	1.1	+1	+1	.	r	+3	.	+1	1.1	1.2	3.1	1.2	2.2	+					
<i>Phragmites communis</i>	1.1	1.1 ^{1/4}	1.1 ^{1/4}	1.1 ^{2/4}	+1 ^{1/4}	+1 ^{1/4}	1.1 ^{2/4}	1.1 ^{1/4}	+1 ^{1/4}	r ^{1/4}	1.1 ^{1/4}	1.1 ^{1/4}	2.1	1.1 ^{2/4}	.	1.1 ^{1/4}	2.1 ^{1/4}	+1	1.1 ^{1/4}	+1 ^{1/4}	+1 ^{1/4}	+1					
<i>Agropyrum repens</i>	.	.	.	1.1	1.1	.	+1	1.1	1.1	.	+1	+1			
<i>Galium palustre</i>	1.1	1.1	.																																																	

Pflanzendecke, zum mindesten mengenmäßig: Deutsches Weidelgras (*Lolium perenne*) und Weißklee (*Trifolium repens*) treten zurück. An den Binnenland-Salzstellen der nordfriesischen Marsch fehlt das Weidelgras fast völlig, obgleich es, wie man an besonders hoch gelegenen Stellen des beweideten V o r l a n d e s (Anwachses) der Nordseeküste erkennen kann, keineswegs besonders salzempfindlich ist. Der Weißklee findet sich auf den Salzwiesen nur in den trockeneren Varianten in erheblicher Menge (vgl. Tabelle I).

Der Ertrag der Salzwiese ist nur gering, das Heu minderwertig. Ohne Salz würden diese tiefgelegenen Stellen gute Schilfbestände und immerhin Massenerträge liefernde Großseggenwiesen tragen. Es muß aber darauf hingewiesen werden, daß bei einem rechtzeitigen, das heißt früheren Schnitt der Salzwiesen der *Carex gracilis*-Variante ein sehr guter zweiter Schnitt hereingebracht werden könnte, da sie außerordentlich schnell nachwachsen. Besonders gering ist begreiflicherweise der Ertrag der trockeneren Varianten der Salzwiese, und zwar um so geringer, je größer der Anteil an Salzarten und Kleinseggen (*Carex vulgaris* und *C. panicea*) ist.

Die Feststellung von Binnenland-Salzstellen durch die Pflanzensoziologie ist nicht nur von wissenschaftlicher, sondern auch von hoher praktischer Bedeutung. Der geringe landwirtschaftliche Ertrag dieser recht großen Salzwiesen wird gesteigert, wenn das überschüssige Salz entfernt wird, was mittels Durchspülung mit Niederschlagswasser durchführbar erscheint. Dies wird eine Aufgabe der bevorstehenden Wasserregelung des Bongsieler Entwässerungsgebietes sein. Es dürfte indessen nicht zweckmäßig sein, das im Gebiet fallende und auch das von Osten einströmende Niederschlagswasser noch schneller als bisher abzuführen. Das Süßwasser in den oberen Erdschichten verhindert das Aufsteigen des Salzwassers. Wird aber das Süßwasser fortgeführt, so steigt das Salzwasser nach oben. Insbesondere wird der Torf, auf dem die Salzwiesen fußen, immer weiter Salzwasser in dem Maße aus der Tiefe nachsaugen, wie ihm das oberflächliche Niederschlagswasser entzogen oder vorenthalten wird. Voraussichtlich würden dann sämtliche Schilf- und Großseggenbestände des Störtewerker, Langenhorner, Ockholmer und Waygaarder Kooges langsam von den Salzgesellschaften verdrängt werden.

Für den Pflanzensoziologen wird die nächste Aufgabe darin bestehen, festzustellen, wo und wie weit Salzwiesen sich in anderen Marschgebieten Schleswig-Holsteins ausdehnen. Ferner wären im Laufe mehrerer Jahre:

1. an Hand von Dauerquadraten das Vordringen der Salzgesellschaften nachzuprüfen und
2. vergleichende Untersuchungen über die Wirtschaftlichkeit der Salzwiesen einerseits und der Schilfbestände andererseits anzustellen.

Zu Tabelle I
Örtlichkeit, an der die Aufnahme gewonnen wurde

Lfd. Nr.	Aufnahme Nr.	Örtlichkeit
1	70	Langenhorner Neuer Koog Degenerierendes <i>Caricetum gracilis</i> .
2	97	Störtewerker Koog Torfgrund. Degenerierendes <i>Caricetum gracilis</i> .
3	96	Störtewerker Koog Torf. Degenerierendes <i>Caricetum gracilis</i> .
4	113	Störtewerker Koog Torfgrund.
5	87	Langenhorner Alter Koog
6	82b	Langenhorner Alter Koog
7	88	Langenhorner Alter Koog
8	11	Kleiseer Koog Torfuntergrund. Degenerierendes <i>Scirpetum maritimae</i> .

Lfd. Nr.	Aufnahme Nr.	Örtlichkeit
9	108	Bottschlotter See Torf. Degenerierendes <i>Caricetum elatae</i> und <i>gracilis</i> .
10	73	Langenhorner Neuer Koog 5—10 cm Klei über Torf.
11	16	Waygaarder Koog Torf. Degenerierender Schilfbestand.
12	17	Waygaarder Koog Torf. Degenerierender Schilfbestand.
13	83b	Bottschlotter See Torf. Degenerierendes <i>Caricetum gracilis</i> .
14	22a	Östlich Niebüll Zum Straßenbau ausgehobene Koppel mit Torfgrund. Degenerierender Schilfbestand.
15	106	Störtewerker Koog Torf. Degeneriertes <i>Caricetum gracilis</i> .
16	55	Bottschlotter See; auf Torfgrund oder Sand.
17	56	Bottschlotter See Torf. Degeneriertes <i>Scirpetum maritimae</i> .
18	54	Bottschlotter See; s. lfd. Nr. 16.
19—21	39abc	Kleiseer Koog. Im ehemaligen Kleiseer Tief. Eine leichte, bis 30 cm starke Kleidecke über Torf oder Talsand.
22	34	Hundebüller Koog Torf. Kleidecke (60 cm) 1927 zum Ausbessern des Deiches der Lecker Au bis auf den Torfgrund abgehoben. 1—2 cm starker Kleibelag infolge der winterlichen Überschwemmung. Eine Kruste von Salzkristallen!
23	85	Bottschlotter See; s. lfd. Nr. 16.
24	37a	Kleiseer Koog; s. lfd. Nr. 19.
25	93	Ockholmer Koog Torf unter 15 cm Klei.
26	107	Störtewerker Koog Torf. Degeneriertes <i>Caricetum inflato-vesicariae</i> .
27	41b	Dagebüller Koog Zum Deichbau verwandte Aushubstelle. Leichte Kleidecke über Torf.
28	41a	Dagebüller Koog
29	89	Langenhorner Alter Koog 5 cm Klei über Torf.
30	6	Bottschlotter Koog Auf Torf. Benachbart die Subass. v. <i>Phalaris arundinacea</i> .
31	94	Ockholmer Koog, Torf.
32	90	Dagebüller Koog 15 cm Klei über Torf.
33	38a	Kleiseer Koog; s. lfd. Nr. 19.
34	38b	Kleiseer Koog; s. lfd. Nr. 19.
35—39		Aufnahmen von Prof. Dr. <i>Tüxen</i> (nicht aus Nordfriesland).
40	84	Strandsaum des Bottschlotter Sees Auf Torfgrund oder Sand.
41	38c	Kleiseer Koog; s. lfd. Nr. 12.
42	8	Juliane-Marienkoog Die letzten Reste des Kleiseer Tiefs in diesem Koog.
43	7	desgleichen
44	91	Ockholmer Koog 20 cm starke Kleidecke über Torf.
45	10	Kleiseer Koog; s. lfd. Nr. 19—21.
46	9	Kleiseer Koog; s. lfd. Nr. 19—21.

Ferner treten auf:

Verbands- und Ordnungscharakter

- in lfd. Nr. 16: *Juncus filiformis*;
 in lfd. Nr. 38: *Cirsium palustre*;
 in lfd. Nr. 46: *Juncus filiformis*, *Orchis latifolius*.

Klassencharakterarten

- Cynosurus cristatus* in lfd. Nr. 27, 36, 36, 42, 43, 46.
Bellis perennis in lfd. Nr. 14, 27, 35, 42, 43.
Anthoxanthum odoratum in lfd. Nr. 30, 31, 40, 45, 46.
Ranunculus acer in lfd. Nr. 37, 39, 43.
Symphytum officinale in lfd. Nr. 2, 31, 44, 46.
Trifolium dubium in lfd. Nr. 42, 43, 45.
Vicia cracca in lfd. Nr. 14, 46.
Carum carvi in lfd. Nr. 39, 43.
Lathyrus pratensis in lfd. Nr. 39.

Halophile Begleiter

- Glaux maritima* in lfd. Nr. 8, 17, 21, 28, 45.
Lotus corniculatus in lfd. Nr. 16, 23, 27.
Centaurium pulchellum in lfd. Nr. 15, 26.
Odontites littoralis in lfd. Nr. 30, 32.
Trifolium fragiferum in lfd. Nr. 29.

Begleiter

- Juncus articulatus* in lfd. Nr. 4, 15, 16, 18, 22, 23, 27, 35, 39, 40, 45, 46.
Carex vulgaris in lfd. Nr. 12, 14, 16, 24, 33, 36, 37, 38, 39, 40, 43.
Plantago major in lfd. Nr. 8, 11, 17, 18, 22, 26, 37, 38, 40, 42, 43, 45, 46.
Myosotis palustris in lfd. Nr. 2, 3, 8, 12, 19, 41, 46.
Berula angustifolia in lfd. Nr. 2, 3, 8, 12, 25, 31.
Juncus effusus in lfd. Nr. 4, 14, 18, 22, 38, 39, 43.
Scirpus maritimus in lfd. Nr. 8, 9, 13, 16, 17, 18.
Mentha aquatica in lfd. Nr. 1, 8, 12, 26, 46.
Myosotis caespitosa in lfd. Nr. 1, 2, 8, 9.
Sagina procumbens in lfd. Nr. 22, 26, 40, 42, 43, 45.
Scirpus tabernaemontani in lfd. Nr. 8, 9, 11, 12, 17.
Prunella vulgaris in lfd. Nr. 14, 22, 40, 42, 43.
Comarum palustre in lfd. Nr. 2, 3, 13, 14.
Glyceria fluitans in lfd. Nr. 4, 7, 14, 35.
Poa annua in lfd. Nr. 19, 42, 43, 45, 46.
Rhinanthus minus in lfd. Nr. 14, 40, 46.
Carex vesicaria in lfd. Nr. 3, 9, 13.
Eriophorum polyst. in lfd. Nr. 10, 14, 22.
Oenanthe aquatica in lfd. Nr. 11.
Ranunculus sceleratus in lfd. Nr. 19, 20, 46.
Veronica serpyllifolia in lfd. Nr. 22, 27, 42, 43.
Cirsium arvense in lfd. Nr. 42, 43, 44.
Equisetum limosum in lfd. Nr. 1, 14.
Oenanthe fistulosa in lfd. Nr. 24, 46.
Rumex hydrolapathum in lfd. Nr. 3, 12.
Achillea millefolium in lfd. Nr. 43, 43.
Acorus calamus in lfd. Nr. 14.
Carex riparia in lfd. Nr. 1.
Carex rostrata in lfd. Nr. 3.
Epilobium parviflorum in lfd. Nr. 12.
Heleocharis palustris in lfd. Nr. 7.

Hippuris vulgaris in lfd. Nr. 30.
Lysimachia thyrsoflora in lfd. Nr. 17.
Scirpus lacustris in lfd. Nr. 8.
Sium latifolium in lfd. Nr. 24.
Lysimachia nummularia in lfd. Nr. 39.
Glechoma hederacea in lfd. Nr. 39.
Campanula rotundifolia in lfd. Nr. 36.

Tabelle II
 Salzwiesen aus der *Ranunculus repens*-*Alopecurus-geniculatus*-Ass. Subass.
 von *Poa trivialis*-Association Tx. 1937
 von der Ostseeküstennähe

Lfd. Nr. Tagebuch-Nr. der Aufnahmen	1 39 069	2 39 141
Charakterarten der Hahnenfußwiese		
<i>Ranunculus repens</i>	1 . 1	+ . 1
<i>Alopecurus geniculatus</i>	3 . 1	
Differentialarten der Subass. von <i>Poa trivialis</i>		
<i>Poa trivialis</i>	1 . 1	
<i>Alopecurus pratensis</i>		+ . 1
<i>Taraxacum officinale</i>	+	
<i>Trifolium pratense</i>		1 . 1
<i>Cerastium caespitosum</i>		+ . 1
Differentialarten der Variante von <i>Juncus gerardi</i>		
<i>Juncus gerardi</i>	1 . 2	2 . 3
<i>Heleocharis uniglumis</i>	r	2 . 3
<i>Triglochin maritima</i>		r
<i>Triglochin palustris</i>		r

Zu lfd. Nr. 1 am Fuhlensee bei Schilksee (Kr. Eckernförde) ferner:

Klassencharakterarten: *Festuca elatior* +, *F. rubra genuina* +, *Ranunculus acer* + . 1, *Trifolium repens* 1 . 1, *Rumex acetosa* +, *Bellis perennis* +; Begleiter: *Agrostis alba* +. *Poa annua* r, *Carex distichia* (+), *Polygonum amphibium terr.* +, *Plantago major* r.

Zu lfd. Nr. 2 Strandwiese bei Heikendorf (Kr. Plön) ferner:

Klassencharakterarten: *Trifolium minus* 2 . 2, *Holcus lanatus* 1 . 2, *Cynosurus cristatus* 1 . 1, *Agrostis alba* 1 . 1, *Festuca pratensis* 1 . 1, *F. rubra genuina* 1 . 1, *Trifolium repens* 1 . 1, *Alectorolophus major* + . 2, *Anthoxanthum odoratum* + . 2, *Bellis perennis* + . 1, *Phleum pratense* + . 1, *Ranunculus acer* + . 1, *Rumex acetosa* + . 1; Verbands- und Ordnungscharakterarten: *Caltha palustris* r, *Bromus racemosus* r, *Lychnis flos cuculi* r; Begleiter: *Lolium perenne* 1 . 1, *Poa pratensis* 1 . 1, *Polygonum amphibium terr.* 1 . 1, *Carex leporina* + . 1, *Juncus lamprocarpus* + . 1, *Rumex crispus* + . 1, *Carex vulgaris* r, *Phragmites communis* r . ¹/₄, Moos r.

Schriftenverzeichnis

- CHRISTIANSEN, Willi: Die Außendeichsvegetation von Schleswig-Holstein mit besonderer Berücksichtigung von Föhr. Föhrer Heimatbücher Nr. 16, 1927.
- CHRISTIANSEN, Willi: Das pflanzengeographische und -soziologische Verhalten der Salzpflanzen mit besonderer Berücksichtigung von Schleswig-Holstein. In: Beiträge zur Biologie der Pflanzen. Breslau. XXII, Heft 2, S. 39 bis 154, 1934.
- TÜXEN, R.: Die Pflanzengesellschaften Nordwestdeutschlands. In: Mitt. der floristisch-soziologischen Arbeitsgemeinschaft in Niedersachsen. Hannover, Heft 3, 1937.
- DE LA FAILLE und JACOBY: Zur Bedeichung und Kartographie der Dagebüller Bucht (Butslot). Nordelbingen, Bd. VII, 1928.

Die Versalzung im Gotteskoog (Nordfriesland) nach biologischen und chemischen Untersuchungen

Von Erich Wohlenberg

Inhalt

Vorbemerkung	113
I. Zur Entwicklungsgeschichte des Gotteskooges	
1. Watten, Priele, Anwachs, Halligen und Warfen (dritte Phase)	114
2. Die Eindeichung im Jahre 1566 (vierte Phase)	118
3. Die Folgen der Eindeichung	120
II. Die künstliche Entwässerung (fünfte Phase)	
1. Das Schöpfwerk Hemenswarf 1928	122
2. Das Schöpfwerk Verlath 1933 und 1951	123
III. Die Versalzung als Folge der künstlichen Entwässerung	
1. Die biologischen und chemischen Befunde	125
2. Der hydrographische Dienst des Marschenbauamts Husum — Forschungsstelle Westküste	
a. Allgemeine Feststellungen	136
b. Die Salzbewegung im Gotteskoog-See	138
c. Die Salzbewegung im Aventoft-See	139
d. Bewertung der Ergebnisse des hydrographischen Dienstes	141
IV. Folgerungen für die Landeskulturmaßnahmen	142
V. Zusammenfassung	143
VI. Schriftenverzeichnis	143

Vorbemerkung

„Die vom Standpunkt der Landwirtschaft dringend erforderliche Entwässerung der tiefliegenden Marschen hat Rücksicht zu nehmen auf die Gefahren des Salzwasseranstiegs aus dem nur in geringer Tiefe unter der Oberfläche der Marsch anstehenden salzigen Grundwasser.“
WEINOLDT u. SUHR (1951, S. 8)

Als die deutsch-dänische Landesgrenze im Jahre 1920 als politische Folge des ersten Weltkrieges von der Königsau südwärts an die Wiedau bzw. Süderau verlegt werden mußte, wurden das zwischen Tondern und Niebüll gelegene Niederungsgebiet des Gotteskooges und die westwärts anschließende, höher gelegene Wiedingharde zu Grenzkögen gegen Dänemark. Sie rückten dadurch stärker als bisher in das öffentliche Interesse, das auf der einen Seite einige Jahre später durch den Bau des Hindenburgdamms, der die Wiedingharde mit der Insel Sylt verband (1925—27), sichtbar wurde, und auf der andern Seite die Aufmerksamkeit der deutschen Landeskulturverwaltung auf sich zog mit dem Ziel der Trockenlegung und landwirtschaftlichen Erschließung des Gotteskooges. Dieser ist zwar der Fläche nach mit mehr als 8000 ha der größte Koog der Westküste Schleswig-Holsteins, der landwirtschaftlichen Erschließung nach aber der rückständigste Koog unserer Marschen überhaupt geblieben.

Als dann im Jahre 1928 auch in diesem bis dahin sehr vernachlässigten Gebiet die landeskulturelle Arbeit mit der künstlichen Entwässerung ihren Anfang nahm, begannen hier auch die ersten Untersuchungen des Verfassers. Diese vor 27 Jahren begonnenen Beobachtungen konnten zehn Jahre später, 1938, auf Anweisung des Oberpräsidenten der Provinz Schleswig-Holstein auf breiterer Grundlage wieder aufgenommen werden, als sich die Forschungsstelle Westküste des Marschenbauamts Husum diesem Sondergebiet zuwandte. Durch den Krieg wurden diese im ersten Stadium ihrer Entwicklung befindlichen Untersuchungen jäh wieder unterbrochen und konnten erst in den Nachkriegsjahren — wenn auch nur in sehr bescheidenem Maße — wieder aufgenommen werden. Wenn die Untersuchungsergebnisse jetzt zum erstenmal veröffentlicht werden, dann geschieht es, um die naturwissenschaftlich erarbeiteten Grundlagen einerseits zur allgemeinen Diskussion zu stellen und andererseits, um ihnen im Rahmen der großen öffentlichen Landeskulturmaßnahmen, wofür sie an sich die Ausgangsebene bilden

müßten (wie es in andern Küstenländern längst der Fall ist), den ihnen gebührenden Platz zuweisen zu lassen.

Den äußeren Anlaß hierzu bot die vom „Küstenausschuß Nord- und Ostsee“ am 8. Mai 1956 nach Kiel einberufene Arbeitstagung, auf der zum erstenmal die „Salzproblematik“ der Marschen durch niederländische und deutsche Forscher (VAN VEEN, DITTMER, PETERSEN)¹⁾ vorgetragen und diskutiert werden konnte.

I. Zur Entwicklungsgeschichte des Gotteskooges

Wenn die so schwerwiegende Erscheinung der Versalzung ihrer kausalen Herkunft nach verständlich werden soll, genügt es nicht, Grad oder Maß der Salzbewegung allein aufzuzeigen. Wie weiter unten gezeigt werden wird und wie auch der in diesem Heft erscheinenden geologischen Arbeit (DITTMER) zu entnehmen ist, ist es unerläßlich, sich zunächst einen landschaftskundlichen und landschaftsgeschichtlichen Überblick über das betreffende Gebiet zu verschaffen. Das ist für das Verständnis der Gotteskoogprobleme notwendiger als für jeden anderen Koog der Westküste. Während die Geschichte eines modernen Kooges unserer Küste durch zwei Phasen erschöpfend zu kennzeichnen ist, nämlich durch die Phase der Verlandung einerseits und die der Bedeichung und anschließenden Kultivierung andererseits, liegen die Verhältnisse beim Gotteskoog wesentlich verwickelter. Durch die flachen, nacheiszeitlichen Talsandablagerungen ist das Gebiet des späteren Gotteskooges von Anfang an als Depression vorgezeichnet gewesen. Bezeichnen wir die Ablagerung dieser heute noch im Koog anstehenden Talsandebenen als die erste Phase und die anschließende Vermoorung und Bewaldung als die zweite, dann nimmt die Wattenmeerzeit mit den Gezeiten, dem Einschneiden der Priele, der Bildung neuen Anwachs und der Errichtung der Warfsiedlungen in der Geschichte des Gebietes die dritte Phase ein. Die vierte umfaßt dann die Zeit nach der Bedeichung seit 1566, als zwar die Nordsee ferngehalten wurde, aber das Niederungsgebiet des Kooges mehr oder weniger ständig mit Süßwasser überstaut wurde. Und erst durch die künstliche Entwässerung seit 1928 tritt der Gotteskoog in seine fünfte Phase ein. Jede dieser fünf Phasen unterscheidet sich von der vorhergehenden durch wesentliche Merkmale; gleitende Übergänge von der einen zur anderen hat es nicht gegeben.

Viermal im Laufe dieser ungewöhnlichen Landschaftsentwicklung ist ein Übermaß an Wasser landschaftsbestimmend gewesen, und zwar zweimal das Süßwasser, zuerst bei der Vermoorung (zweite Phase), sodann nach der Eindeichung (vierte Phase); und zweimal das Salzwasser, zuerst in der Wattenmeerzeit (dritte Phase) bis zum Jahre 1566 und dann wieder heute seltsamerweise nach der Trockenlegung durch die Schöpfwerke (fünfte Phase).

Die folgenden Darlegungen befassen sich orientierend mit der dritten und vierten, im wesentlichen aber mit der letzten, der fünften Phase (ab S. 122).

1. Watten, Priele, Anwachs, Halligen und Warfen (dritte Phase)

Zwischen der nordfriesischen Geest im Bereich von Niebüll und Tondern und der bereits im Jahre 1436 (oder gar früher) bedeichten Marschinsel der Wiedingharde dehnte sich noch um das Jahr 1500 ein von Prielen und Tiefs durchzogenes Wattenmeer aus. Es wird sich nicht von den uns vom heutigen Wattenmeer vertrauten Landschaftsformen unterschieden haben. So wie sich heute vor der Festlandküste Nordfrieslands — zwar zur Hauptsache als Ergebnis der modernen Landgewinnung — junger Anwachs (Vorland) bildet, so geschah es auch im Mittelalter in Anlehnung an die damals vorhandenen Landkerne, der Geest im Osten

¹⁾ Vgl. die drei Aufsätze in diesem Heft.

und der Wiedingharde im Westen, und zwar im Zuge der natürlichen, vom Menschen im wesentlichen unbeeinflussten Verlandung mit Hilfe der Salzpflanzengesellschaften. Außerdem hatten sich allseitig vom Wasser umgebene Anwachsräume gebildet, die als Halligen die Watt- und Wasserflächen um wenige Dezimeter überragten.

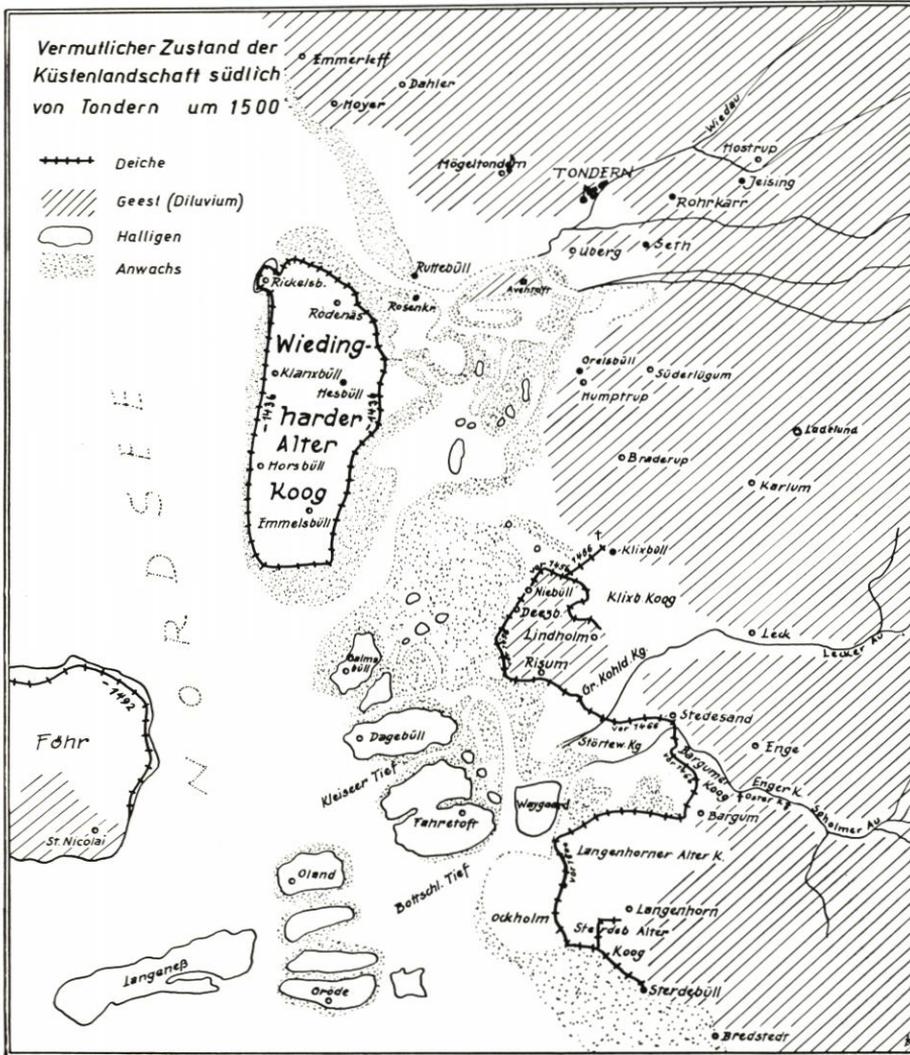


Abb. 1. Nordfriesische Küste um 1500 (aus ANDRESEN, 1940). Zwischen der bedachten Wiedingharde und der festländischen Geest wächst der spätere Gotteskoog heran

Wir verdanken dem Historiker LUDWIG ANDRESEN (†) eine hervorragende Darstellung der Bedeckungsgeschichte in unserm nördlichen Grenzgebiet (ANDRESEN, 1940). Wir geben daraus eine Karte wieder, die den derzeitigen Zustand des Gotteskooggebietes um das Jahr 1500, also vor der Eindeichung, zeigt (Abb. 1). Die Wiedingharde war damals noch allseitig vom Meer umgeben. Wir erkennen die Verlandungsräume südwestlich von Tondern bei Rutte-

büll und Rosenkranz, südlich der Diluvialinsel Aventoft, westlich von Hesbüll, nordwestlich von Klixbüll sowie die kleinen Halligen. Es ist die Zeit, als sich die westlich vom 1456 bedachten Kornkoog (Deezbüll-Risum) gelegenen Anwachsflächen von Galmsbüll, Dagebüll und Fahretoft noch im Halligzustand befanden, also noch unbedeicht waren.



Abb. 2. Mittelalterliche Keramiken und Hausgeräte aus einer Brunnengrabung auf der Warf SÖNNICHSEN auf Hattersbüllhallig

Aufn. E. WOHLBERG, 1929



Abb. 3. Zierkrug aus der Warfgrabung Hattersbüllhallig, 16. Jahrhundert

BILDARCHIV NISSENHAUS

In dieses östlich der Wiedingharde gelegene Wattenmeer hatte die Nordsee von zwei Seiten her freien Zutritt, einmal südlich der Insel Wiedingharde und zum andern nördlich davon. Wir wissen heute nicht, wo und unter welchen Begleiterscheinungen sich die von Süden kommende Gezeitenwelle in Lee der Wiedingharde mit der nördlichen getroffen hat. Wir dürfen jedoch aus ähnlich gelagerten Fällen unserer Tage annehmen, daß sich die Kräfte der Gezeitenströme ungehindert entfalten konnten und daß demzufolge die Sedimentations-(Anschlickungs-)bedingungen für eine schnelle Fortentwicklung des Anwachs nicht günstig gewesen sein können. Nur so ist es zu verstehen, daß die Halligen des späteren Gotteskooggebietes trotz des Schutzes der im Westen vorgelagerten Wiedingharde nicht zusammenwachsen

konnten, sondern voneinander getrennt blieben. Natürlich schloß dieser Umstand ihre Nutzung durch den Menschen nicht aus, aber es war nur eine extensive Nutzung als Halligland möglich. Auf den größeren Halligen errichtete der siedelnde Mensch zum Schutz gegen die Sturmfluten Warfen und auf diesen Wohnhäuser. Dieses mittelalterliche Siedlungsbild ist bis heute im Gotteskoog erhalten geblieben. Daß es sich nicht um Siedlungen der letzten hundert Jahre sondern um ältere handelt, zeigen die Abbildungen 2 und 3.

Bei der ersten Begehung des Gebietes durch den Verfasser im Jahre 1929 war man auf der Warf SÖNNICHSEN auf Hattersbüllhallig gerade damit beschäftigt, einen neuen Sod (Brunnen) in den Warfkörper hineinzubauen. Dabei förderte man in 150 cm Tiefe von einer früheren Warfoberfläche die auf den Abbildungen 2 und 3 abgebildeten Gegenstände zutage. Es handelt sich ausnahmslos um fast heile Gebrauchskeramik, also nicht um fortgeworfene, für die damaligen Bewohner wertlose Scherben. Sie müssen also einer durch Sturmflut zerstörten Siedlung, einer Vorgängerin der heutigen, zugeordnet werden (WOHLENBERG, 1955). Außer den Keramiken mögen ein noch mit Speisefett gefüllter Napf aus Messing (ganz links auf Abb. 2) und ein hölzerner Kamm (rechte Bildhälfte) erwähnt werden. Da inzwischen sämtliche Gegenstände (bis auf den Zierkrug, Abb. 3) leider in alle Winde zerstreut und somit für die Marschenforschung verloren sind (und da es sich bei diesen Fundstücken um die einzigen Keramiken handelt, die überhaupt im Gebiet des Gotteskooges bisher gefunden wurden), mögen sie nunmehr — siebzehn Jahre nach ihrer Entdeckung — als Dokumente der Landschaftsgeschichte und als Beweisstücke eines echten mittelalterlichen Halligschicksals (Sturmflutkatastrophe) in das Licht der Forschung gerückt werden.

Zeigen somit die Anwachszonen des späteren Gotteskooges das allgemein Typische des Wattenmeeres, so trifft das nicht im gleichen Maße für den eigentlichen Gezeitenbereich, d. h. für die Watten und Priele zu. Weite Flächen der Watten zeigten noch die nicht verschlickte diluviale bzw. subglaziale Oberfläche des Talsandes, der im Zuge der Flandrischen Transgression (DITTMER, 1952, 1954) in den Bereich von Flut und Ebbe gelangt war. Dasselbe Schicksal der Überflutung erlitten die Hochmoor- und Bruchwaldformationen, die sich



Abb. 4. Eichenwurzel in Lebensstellung und gestürzte Baumstämme auf dem heutigen Seeboden aus der Zeit der Moorbildung (2. Phase) vor der Überflutung durch die Nordsee
Aufn. A. BANTELMANN, 1935



Abb. 5. Der heute trockengelegte Seeboden mit den Schalen der Miesmuschel, Herz- und Plattmuschel aus der Zeit vor der Eindeichung des Gotteskooges (vor 360 Jahren, 3. Phase)
Aufn. A. BANTELMANN, 1935

vor dem Heranrücken des Meeres auf dem Talsand gebildet hatten. Die Abbildungen 4 und 5 belegen diese Entwicklung.

Abbildung 4 gibt die noch in Lebensstellung befindliche Wurzel einer mächtigen Eiche wieder, und zwar einer vom Sturm oder vom Meer gefälltten Eiche, deren Stamm noch rechts im Bild erkennbar ist. BANTELMANN (1935) schreibt hierüber in seinem unveröffentlichten Manuskript aus dem Jahre 1935²⁾ folgendes:

„Im Bruchwaldtorf finden sich nahe über dem Sand zahlreiche Eichenwurzeln, teilweise mit bis zu 30 cm hoher Stammbasis in Wachstumslage. Der durchschnittliche Stammdurchmesser beträgt 40 bis 100 cm, in einem Fall sogar noch mehr. Zwischen den Wurzeln finden sich kreuz und quer liegende Eichenstämme, die teilweise noch durch Späne mit den Stümpfen verbunden sind. Dazwischen treten Reste von Birkenstämmen auf, die wegen ihrer leichten Vergänglichkeit schlechter erhalten sind. In etwas höheren Lagen des Torfes sind Erlenwurzeln erkennbar.“ ... „Der unter den *Cardium*-Sanden lagernde Bruchwaldtorf der Schnerpeniederung enthält zahlreiche Birkenreste und Erlenstämme, die in vorwiegend nordost-südwestlicher Richtung liegen.“

Weiter heißt es bei BANTELMANN: „In der Umgebung der Fundstellen des Erlen-Birkenwaldes im Gotteskoog-See, im Kahlebüller-See und im Aventofter-See finden sich lose auf dem Seeboden verstreut Steinwerkzeuge, die (nach freundlicher Begutachtung durch Herrn Dr. h. c. RUST, Meiendorf) dem Neolithikum angehören. Diese Steinwerkzeuge finden sich besonders zahlreich im Ostteil des Aventofter-Sees. Eine weiter reichende Verschwemmung dieser Fundstücke kann wegen des Gewichts und der Anzahl derselben nicht angenommen werden. Es handelt sich um mehrere geschliffene Feuersteinbeile, mehrere Hohlschaber, einige Rundschaber und zahlreiche Späne und Werkzeugbruchstücke.“

Abbildung 5 zeigt die heute trockengelegte Oberfläche des alten Talsandes, der nach der Überflutung durch die Nordsee zum Watt wurde. Als Faunenbestandteile erkennen wir noch die Herzmuschel (*Cardium edule* L.), die Plattmuschel (*Macoma baltica*), die Miesmuschel (*Mytilus edulis* L.) und die Meeres-Strandschnecke (*Litorina litorea* L.). Das Artenbild zeigt an, daß eine echte Wattfazies vorliegt.

Durch die genannten Funde aus der Vorzeit, durch die noch heute sichtbaren Reste der Moor- und Waldbildungen sowie schließlich durch die Muschelablagerungen und Halligbildungen der Wattenmeerzeit sind die ersten drei Phasen gekennzeichnet und damit die ältesten Formen der Landschaft, die im Laufe der Jahrtausende aufeinander gefolgt sind, in die Erinnerung zurückgerufen. Die Wattenmeerzeit reicht in unsere Zeitrechnung hinein, und tausenddreihundert Jahre später rücken die ersten Bedeichungspläne diese Gezeitenlandschaft in das Licht der größeren Gemeinschaften, in das Interesse von Politik und Wirtschaft. Herzöge, Bauern und Könige wollen deichen (ANDRESEN, 1940).

2. Die Eindeichung im Jahre 1566 (vierte Phase)

In den Annalen des Deichbaus in Nordfriesland wird die Bedeichung des Gotteskooges in die Zeit von 1562 bis 1566 gelegt. BANTELMANN berichtet:

„Was lange vergeblich versucht worden war, gelang hiermit: Der Tonderndeich und der Deich des Wiedingharder Alten Kooges wurden zwischen den Orten Ruttebüll und Fegetasch (Neukirchen) durch einen Deich verbunden. Der heutige Ruttebüller See, der von der Wiedau durchflossen wird und das Tief südlich von Fischerhäuser wurden mit vieler Mühe durchdämmt, im ersten wurde eine Schleuse errichtet. Im Süden wurde die Eindeichung angeschlossen durch einen Deich, der die Horsbüllharde nordöstlich von Emmelsbüll mit dem schon vorher fertiggestellten Deich Klixbüll-Gath bei Niebüll verband. Vom Bau dieses südlichen Deiches (Südergotteskoogsdeich) werden keine Schwierigkeiten berichtet. Wahrscheinlich lagen hier ausgedehnte Marschflächen vor, die miteingedicht wurden.“

Diese mehr allgemeinen Bemerkungen lassen nicht ahnen, welch eine Kette von dramatischen Situationen mit der endgültigen Bedeichung des Gotteskooges tatsächlich verbunden war.

²⁾ Herr Dr. BANTELMANN stellte seinen Manuskriptentwurf freundlich zur Verfügung, wofür ihm auch an dieser Stelle herzlich gedankt sei!

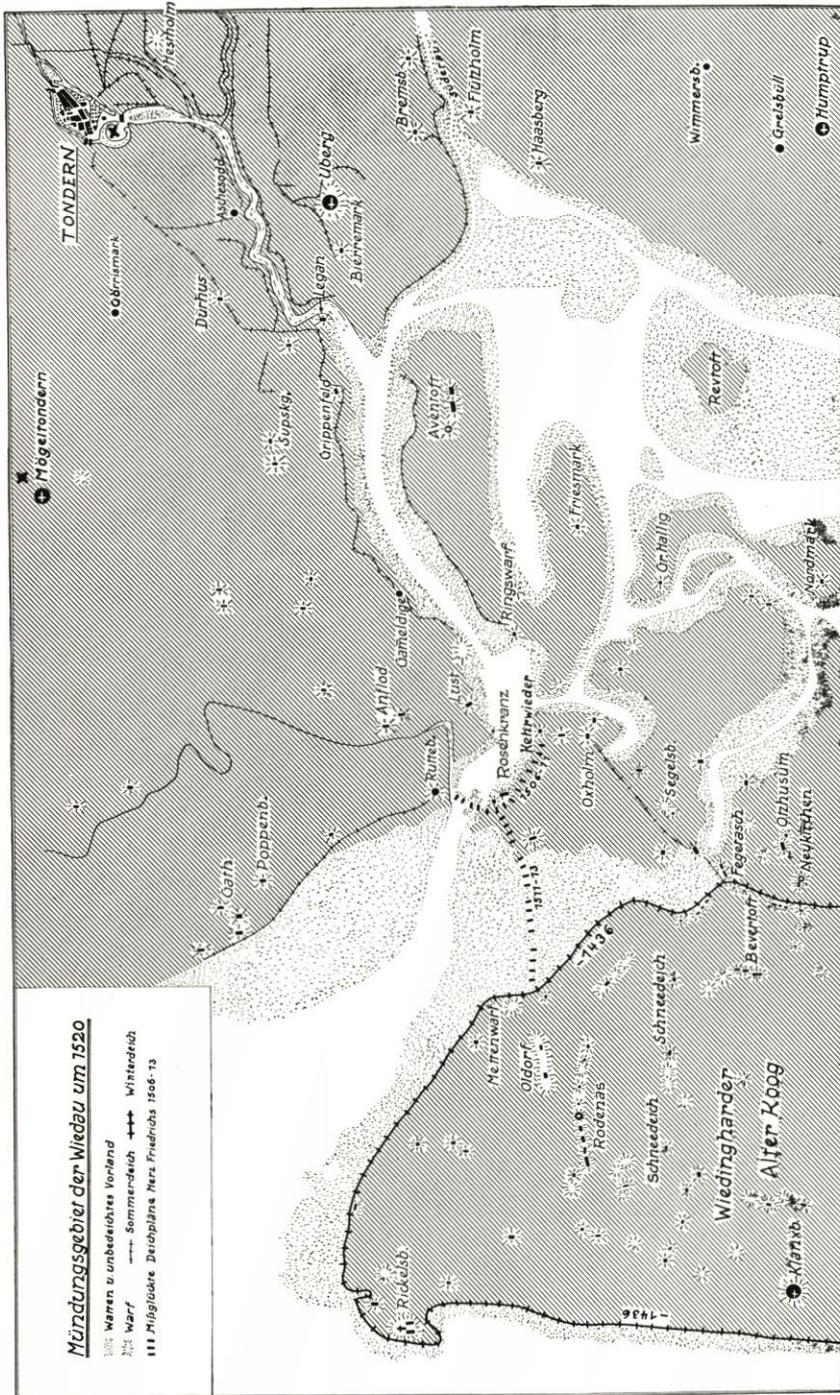


Abb. 6. Das Mündungsgebiet der Wiedau um 1520 (aus ANDRESEN, 1940) mit den mißlungeneren Deichbauten um 1513 bei Ruttebüll und Rosenkranz

Es ist das Verdienst des bereits oben zitierten Tonderaners LUDWIG ANDRESEN, in die lange Reihe von Fehlschlägen im Bedeichungswerk auf Grund seiner Forschungen in deutschen und dänischen Archiven Licht gebracht zu haben (ANDRESEN, 1940). Was bei ihm in chronologischer Folge berichtet wird, gehört zu den spannendsten und aufschlußreichsten Kapiteln nordfriesischer Deichgeschichte. Aus seiner Arbeit geben wir die Abbildung 6 wieder. Sie läßt erkennen, wie die ersten Bedeichungsversuche des Landesherrn, HERZOG FRIEDRICH I. (1490 bis 1523) im Mündungsgebiet der Wiedau zunächst scheiterten. Es gibt mit Ausnahme des Bottschlotter Werks kaum ein Gebiet nördlich der Eider, wo derart leidenschaftlich und zäh mit dem Meer gerungen worden ist. Im Grunde waren es rund dreihundert Jahre, die dieses Ringen um den Gotteskoog gedauert hat, denn der erste Versuch geht nach ANDRESEN (S. 94) auf das Jahr 1314 zurück. Nach langer Pause wurde das Projekt 1511—1513 wieder aufgenommen, aber auch dieser Deich wurde sogleich wieder durch Sturmfluten zerschlagen, fünfzig Jahre später, im Jahre 1562, erneut angepackt und 1566 endlich zum „glücklichen“ Ende geführt.

3. Die Folgen der Eindeichung

„Der so umgürtete ‚nie Kogh, so man im namen Gades angefangen und so man nomet gadeskogb‘, der Gotteskoog, mußte der Größe nach als ein außerordentlicher Erfolg gewertet werden. Er barg aber in sich viele Unfertigkeiten; er war zu früh eingedeicht, eine weitere Erhöhung des Bodens durch angeschlickten Meereston war nun nicht mehr möglich. Daher bereitete die Entwässerung bald zunehmende Schwierigkeiten. Von den fast 16 000 Demat des Kooges war reichlich ein Drittel altes hohes Vorland.“

Die restlichen 10 000 Demat wurden als „Schlickland“ von geringem Wert bezeichnet und vom normalen Hochland von Anfang an getrennt besteuert, die als „Heuer aus dem Gotteskooge“ in den Amtsrechnungen erscheint (ANDRESEN, S. 102—3). In der Neujahrsflut 1593/94 soll vom Gotteskoogdeich nur ein Drittel übriggeblieben sein. Erst im Juni 1598 wurde der Einbruch im Norden geschlossen.

„Der Gotteskoog hatte also fünf Jahre lang dem offenen Einstrom salzigen Wassers freigelegen, zum großen Teil infolge der Uneinigkeit herzoglicher und königlicher Koogsgenossen und Räte, ‚de der saken nummer konden eins werden‘.“

Durch die Sturmfluten vom 28. und 31. August 1600, 20. Oktober 1612 und 26. September 1614 wurden dem Gotteskoog erneut schwere Schäden zugefügt (ANDRESEN, S. 117).

„Nach 1600 wurde die Entwässerungsfrage für den Gotteskoog immer schwieriger, so daß Koogsleute begannen, ihr übernaß gewordenes Land mit dem Deichanteil aufzugeben, zu derelinquieren.“
„Als nach Ao. 1600“ . . ., so heißt es in einem Memorial von 1674, „die Inudation des frischen, fürnehmlich aus der Karrharde von der Geest herab in den Gottescogh einfließendes Wasser im Gottescogh sich angebeuffet, also das die alten Gottescoghischen Interessenten viele überschwemmte Lendereyen der Schatzung und Deichbeschwerden halber losgeschlagen, hat der Herzog 1620 und 1621 diese losgeschlagenen Gotzcooghsländereien als desert angenommen“, fast 4000 Demat (ANDRESEN, S. 130—1).

Besser als viele Worte vermögen diese kurzen historischen Zitate die trostlose Lage der Landeigner im Gotteskoog beleuchten. Der Koog stand im Zeichen einer dreifachen Not und Bedrängnis: Sturmfluten (bei unzureichenden Deichen), monatelange Überschwemmungen durch Binnenwasser und schlechte Böden (10 000 Demat Wattland). Diese Schwierigkeiten in der Beherrschung des Wasserüberflusses besserten sich nur um ein Geringes, als die „Rollwagenzüge“ (= Hauptsielzüge, vgl. Abb. 7 und Lageplan Abb. 27 auf S. 137) neu angelegt durch den holländischen Deichbaumeister CLAAS JANSSEN ROLLWAGEN, der vom Herzog zum „General-Deichgrafen“ mit großen Vollmachten ernannt worden war, mit verbesserten und erweiterten Schleusen das Gotteskoogwasser „in die See lösten“. Das war im Jahre 1622. Von dieser Zeit an stagnierte die Wasserlösung im Gotteskoog für abermals rund dreihundert (!) Jahre.

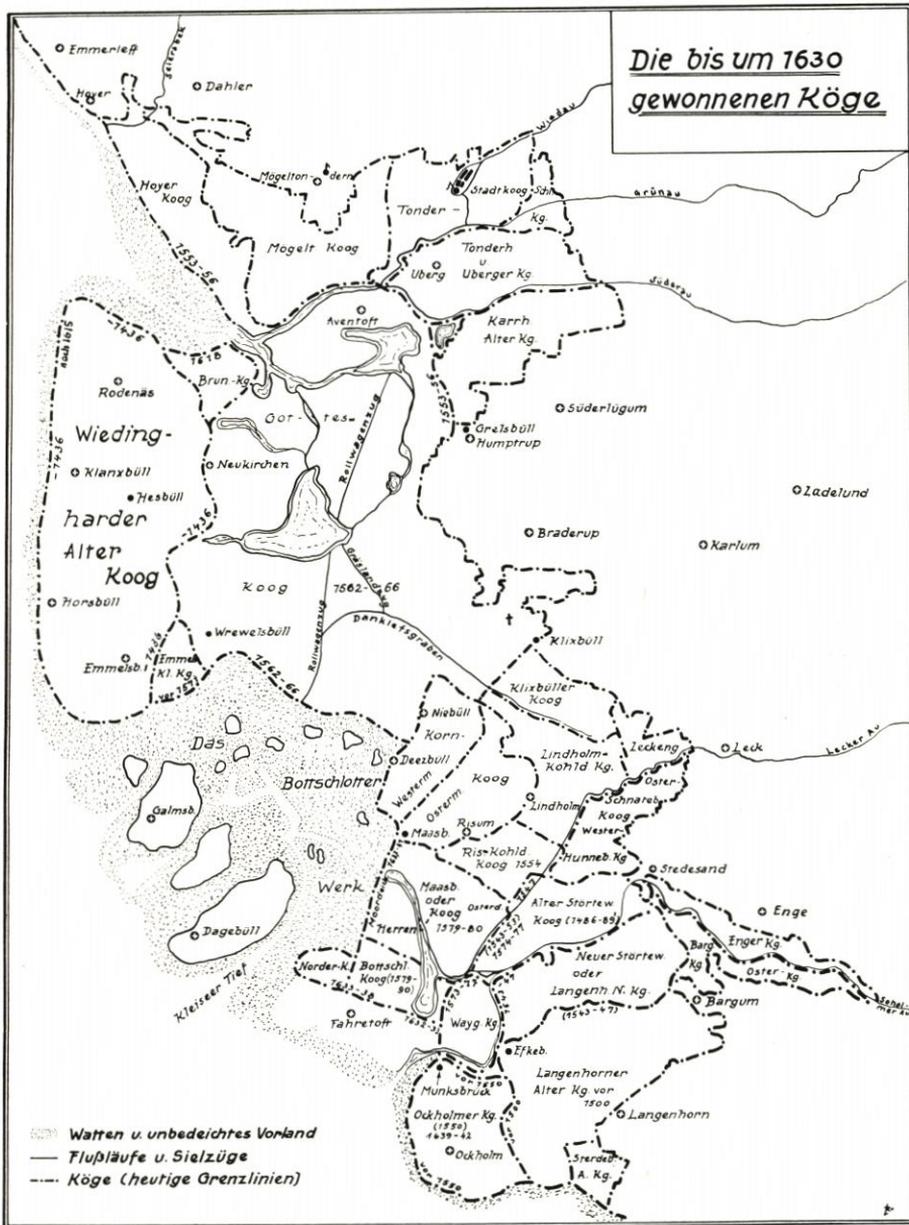


Abb. 7. Nach der Bedeichung des Gotteskooges wird die Wiedingharde landfest. Das miteingedeichte Wattland wird zu großen Binnenseen, dem Gotteskoog-See in der Koogsmittle, dem Aventoft-See im Norden (aus ANDRESEN, 1940)

Nach der Aussüßung des Kooges im Anschluß an die Bedeichung von 1566 und 1618 (Brunottenkoog) vollzog sich ein grundlegender Wandel im Landschaftsbild. Zwischen den Halligen war das Watt verschwunden, das bis dahin im Wechsel der Tiden überflutet wurde und trockenfiel. Es war jetzt ständig von Wasser bedeckt und war somit nicht mehr sichtbarer

Bestandteil der Landschaft. Infolge der tiefen Koogslage und der schlechten Vorflutverhältnisse war der Gotteskoog zu einem Auffangbecken für das Niederschlagswasser aus Marsch und Geest geworden. Aus den Halligen des Gezeitenmeeres waren Inseln eines Binnensees geworden; Inseln, die zwar nicht mehr unmittelbar die Sturmflut zu fürchten hatten, wohl aber eine andere Wassernot, die monatelang währende Überflutung durch Binnenwasser. Vom Herbst bis zum Frühjahr lag das Ruderboot sozusagen „an der Haustür“, es war für Wirtschaft, Schul- und Kirchenbesuche, Feste und Trauerfälle das einzige Verkehrsmittel. So blieb es bis in unsere Tage! Weite Flächen des ehemaligen Wattbodens und die tiefer gelegenen Randbezirke des Anwaches und der Halligen wurden im Zuge der Aussüßung von unübersehbaren Schilf- und Binsenbeständen besiedelt. Die Bewohner stellten sich um auf die Binnenfischerei, auf Rethgewinnung sowie auf die Binsenflechtere. Auch die Tierwelt änderte ihre Zusammensetzung vollkommen. In den Schilfbeständen war der Kranich bis 1935 Brutvogel. Die Schalenfauna des Wattenmeeres (Abb. 5) ging durch das Süßwasser zugrunde. Statt dessen wanderten Süßwassermuscheln und Schnecken ein. Unter den ersten seien die bekannten Teichmuscheln *Anodonta* und *Unio* genannt, die nicht nur den Boden des Aventofter- und Gotteskoog-Sees bewohnten, sondern auch die verbliebenen Tiefs und den Grund der Kanäle (Abb. 25).

An dieser Stelle darf noch auf eine Erscheinung hingewiesen werden, die mit dem hohen Binnenwasserstand zusammenhängt, nämlich auf die Erosion und Zerstörung der hohen Halligufere. Während der Wattenmeerzeit gab es Verlandungs- und Abtragungerscheinungen, aber auch während der Süßwasserperiode. An besonders dem Seegang ausgesetzten Ufern war ein ständiger Rückgang an wertvollem Halligland festzustellen. Auf Abbildung 11 auf Seite 124 handelt es sich nicht etwa um ein Halligkliff aus der Wattenmeerzeit, sondern um Zerstörungsformen durch das Binnenwasser, die erst heute nach künstlicher Absenkung des Wasserspiegels der Vergangenheit angehören.

Als der Gotteskoog im Jahre 1920 Grenzland wurde, wurde das Niederungsgebiet endlich in die modernen Meliorationsvorhaben unseres Jahrhunderts einbezogen. Die auf natürlichem Wege durch 360jähriges Bemühen nicht zu erreichende Wasserlösung wurde nunmehr auf künstlichem Wege durch Errichtung von Schöpfwerken eingeleitet. Wir treten damit in die fünfte Phase der Landschaftsentwicklung ein.

II. Die künstliche Entwässerung (fünfte Phase)

1. Das Schöpfwerk Hemenswarf 1928

Im Jahre 1928 konnte der Wasserspiegel im Niederungsgebiet des Gotteskooges zum erstenmal auf künstlichem Wege gesenkt werden. Vom Schöpfwerk Hemenswarf wurde das Gotteskoogwasser, das durch mehr als 15 km lange Sielzüge zum Schöpfwerk geleitet werden mußte, bei Südwesthörn ins Meer befördert (Abb. 8). Die volle Schöpflleistung dieses Werks konnte jedoch nicht ausgenutzt werden, weil das Wasser infolge der langen Zubringer nicht genügend schnell zu den Pumpen gelangte. In dieses erste Jahr der künstlichen Entwässerung fiel die erste Untersuchung im Gotteskoog durch den Verfasser. Im Sommer des Jahres 1929 lagen bereits die ersten Flächen beim Aventofter- und Gotteskoog-See trocken. Abbildung 11 vom August 1929 zeigt den Hof Grönland am südlichen Ufer des Gotteskoogsees. Vor dem Haus erkennen wir die durch den jahrhundertlang währenden Binnenwasserstand zerstörte Halligkante. Das zum Hof „Grönland“ gehörige Halligland ist auf diese Weise immer weiter aufgezehrt worden. So waren also die Sedimente der Wattenmeerzeit selbst während der Süßwasserstauperiode seit 1566 hier und an anderen Stellen einem Aufbereitungs-



Abb. 8. Das erste Schöpfwerk für den Gotteskoog, Hemenswarf bei Südwesthörn. Baujahr 1928
Aufn. E. WOHLBERG, 1929

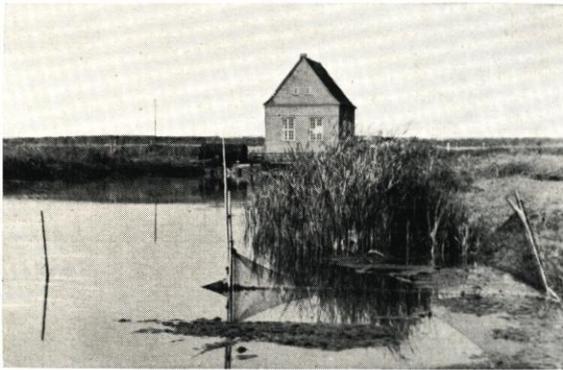


Abb. 9. Das zweite Schöpfwerk für den Gotteskoog bei Verlath an der Wiedau. Baujahr 1933 (vgl. Abb. 27)
Aufn. A. BANTELMANN, 1935



Abb. 10. Das in Bau und Leistung ($23 \text{ m}^3/\text{s}$) 1951 verdoppelte Schöpfwerk Verlath
Aufn. E. WOHLBERG, 1956

prozeß unterworfen. Von der Halligkante bis zum Bildvordergrund kommen Teile des alten Seebodens zum erstenmal nach 350 Jahren wieder ans Tageslicht. Hier handelt es sich jedoch nicht um mineralische Sedimente des Wattenmeeres, sondern um organogene Böden, um Torfe aus der Nacheiszeit, die, wie oben bereits erwähnt, erst durch die flandrische Transgression in den Gezeitenbereich der ansteigenden Nordsee gelangt waren. Rechts im Bild sehen wir den abgesenkten Spiegel des Gotteskoog-Sees (vgl. auch Abb. 5).

2. Das Schöpfwerk Verlath 1933 und 1951

Da sich die Absenkung der Seespiegel infolge der geringen Transportleistung der Zubringerkanäle nach Südwesthörn als nicht ausreichend erwies, schritt man zum Bau eines neuen Schöpfwerks im Norden der Niederung bei Verlath. Dieses Schöpfwerk (Abb. 9) wurde im Jahre 1933 zusätzlich mit einer Sekundenleistung von 10 m^3 in Betrieb genommen. Die Zubringerwege waren hier für das Wasser weit günstiger, so daß der Seespiegel von 1933 ab um weitere 100 cm, also insgesamt auf NN — 150 cm abgesenkt werden konnte. Erst jetzt konnten erhebliche Flächen der alten Seeböden allmählich in landwirtschaftliche Kultur genommen werden. Obwohl das neue Schöpfwerk Verlath, das die Wassermassen in den von Deichen umschlossenen Ruttebüller See pumpte, eine Sekundenleistung von 10 m^3 hatte, schritt man im Jahre 1951 im Rahmen der im „Programm Nord“ vorgesehenen verstärkten Meliorationen zur Verdoppelung des Schöpfwerks Verlath (Abb. 10 und Abb. 27 auf S. 137). Die Gesamtleistung des erweiterten Schöpfwerks betrug nunmehr $23 \text{ m}^3/\text{s}$. Die Höhe des Wasserspiegels war damit endlich vollkommen in die

Hand des Menschen gelegt. Infolge der hohen Pumpleistung kann er beliebig weit abgesenkt werden. Er wird seit 1952 auf einem Stand von rund 2,00 m unter NN gehalten, was einem Niveauunterschied gegenüber dem MThw der westlich benachbarten Nordsee von rund 3,00 m



Abb. 11. Hof und Hallig Grönland am Südostufer des Gotteskooges nach der ersten Wasserspiegel-senkung durch das Schöpfwerk in Südwesthörn. Die nacheiszeitlichen Moorbildungen werden vom See wieder freigegeben. (Das Bild belegt die Phasen 2, 3 und 5, vgl. S. 123)

Aufn. E. WOHLBERG, 1929

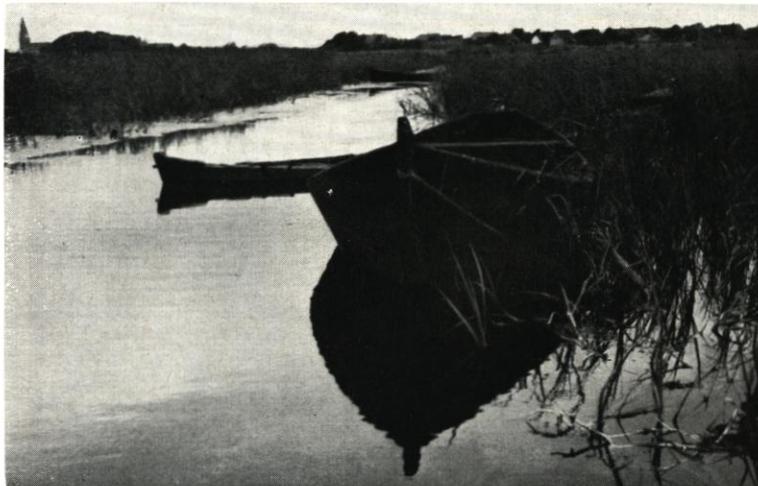


Abb. 12. Entwässerungsgraben bei Aventoft im ersten Stadium der künstlichen Entwässerung mit auf Grund liegenden Ruderbooten. Im Hintergrund Aventoft

Aufn. A. BANTELMANN, 1935

entspricht. Der Ausbau der Zubringer aus den eigentlichen Seegebieten dauert zur Zeit noch an. Um auch den letzten Quadratmeter des Gotteskooges trockenlegen und der landwirtschaftlichen Kultivierung zuführen zu können, wurde ein System von neuen Zubringerkanälen aus-

gebaggert, und zwar nicht nur im Tiefenbereich der frühalluvialen Torfe, sondern bis tief in den darunter liegenden Talsand hinein.

Die Folgen dieser Seespiegel- und Grundwasserabsenkung seien im nächsten Abschnitt auf Grund biologischer und bodenkundlicher Analysen erörtert; wir kommen damit zur eigentlichen Problematik dieser so großzügig in Angriff genommenen Melioration.

III. Die Versalzung als Folge der künstlichen Entwässerung

1. Die biologischen und chemischen Befunde

Die biologischen, hydrographischen und geologischen Untersuchungen der Forschungsstelle Westküste des Marschenbauamts Husum begannen im Jahre 1938. Aber bereits drei Jahre früher hatte BANTELMANN von seinem damaligen Wohnsitz Aventoft aus eine landschaftskundliche Untersuchung in den Niederungen des Gotteskooges durchgeführt. Diese Untersuchung geht auf das Jahr 1935 zurück (BANTELMANN, 1935). Darüber hinaus finden wir im Schrifttum der Heimatforschung aus derselben Zeit zwei Aufsätze von FRANZ HANSEN (1936 und 1936 a) über Beobachtungen im Gotteskoog, nachdem das erste Schöpfwerk Verlath neben dem Schöpfwerk Hemenswarf seit zwei Jahren in Tätigkeit war. HANSEN (1936 a) schreibt:

„Die alten Wasserläufe sind ausgebaggert, die alten Gräben tiefer und breiter gemacht, und neue Gräben werden gezogen. Jetzt kann das salzige Grundwasser herausquellen, und die neuen Schnittflächen der vielen neuen Gräben begünstigen das Auslaugen des Salzes aus dem Boden. Das Wasser ist jetzt so salzig, daß Menschen und Vieh es nicht genießen können. Die Bewohner fangen das Regenwasser von den Dächern auf und leiten es in große Zisternen. Bohren nach Süßwasser ist vergeblich geblieben.“

Eine ungeheure Tragweite liegt in diesen einfachen, schlichten Sätzen! Hier taucht zum erstenmal in der Geschichte des Gotteskooges das Wort „Salz“ auf. HANSEN spricht bezeichnenderweise vom „herausquellenden“ salzigen Grundwasser! Er hat damit alle späteren, auf exakter chemischer Grundlage erarbeiteten Ergebnisse der Forschung vorweggenommen. Der gleiche Verfasser berichtet weiter:

*„Völlig neue Pflanzen hatten sich eingefunden: Queller (*Salicornia*), Strandsoda (*Suaeda maritima*) und Gifhahnenfuß (*Ranunculus sceleratus*), alle drei in Mengen und in äußerst hohen und buschigen Exemplaren“ (vgl. Abb. 14).*

Was war geschehen? Die Wattenmeerzeit (3. Phase, vgl. oben) lag länger als 360 Jahre zurück. Seitdem hatte das ohne Unterbrechung im Überfluß vorhandene Süßwasser den Boden längst ausgesüßt.

Im Jahre 1929, als der Verfasser das Niederungsgebiet zum erstenmal durchstreifte, konnten in der Pflanzendecke keinerlei Anzeichen von salzliebenden Pflanzen entdeckt werden. Während der Feststellung von HANSEN (1936 und 1936 a) war das Schöpfwerk Hemenswarf sechs Jahre und das von Verlath zwei Jahre in Betrieb! Wir sind bei der Ergründung dieses Phänomens nicht auf die wenigen Sätze bei HANSEN angewiesen. Etwa zur gleichen Zeit, 1935 und 1936, widmete sich BANTELMANN (1935) dem Gesamtproblem Gotteskoog auf geographischem, biologischem und geologischem Gebiet. Was HANSEN mit zwei folgensweren Sätzen (vgl. oben) niederschrieb, das wird von BANTELMANN durch Analysen der Pflanzengesellschaften nach soziologischen Gesichtspunkten und durch eingehende Beschreibung der nach dem Abpumpen auftauchenden Seeböden in bezug auf Zusammensetzung, Einschlüsse und Formen vielfältig belegt. Chemische Analysen liegen aus jener Zeit nicht vor.

Bei der ersten Untersuchung des Verfassers im Gotteskoog im August 1929 konnte der Sommerwasserstand durch das Schöpfwerk Hemenswarf bei Südwesthörn um 0,60 m gegenüber früher gesenkt werden. Das Absenkungssoll wurde nach der Planung mit



Abb. 13
Die künstliche Entwässerung
setzt ein, weite Gebiete
des Aventoftter-Sees fallen
trocken. Am Horizont
Aventoft

Aufn. A. BANTELMANN, 1935



Abb. 14
Die erste Vegetation
auf dem trocken-
gefallenen Seeboden
wird durch Salz-
pflanzen (*Salicornia
herbacea* u. *Aster
tripolium*) gebildet.
Rechts am Horizont
Aventoft

Aufn. A. BANTELMANN,
1936



Abb. 15
Zwanzig Jahre später ist
der ehemalige Seeboden mit
Schilf und Gräsern bedeckt,
aber auch immer noch mit
Salzpflanzen. Im Vorder-
grund blühende Salzaster.
Am Horizont Aventoft

Aufn. E. WOHLBERG, 1956

NN — 1,20 m angegeben. Hemenswarf hat diese Zahl nicht erreichen können, wie oben begründet wurde. Von den Seeböden tauchten damals zum erstenmal die Randgebiete auf (Abb. 11). Nach der Inbetriebnahme des Schöpfwerks Verlath (von 1933 ab) wurde der Wasserstand dagegen auf — 1,50 m NN gehalten (BANTELMANN, 1935). Dieses Niveau liegt etwa 2,50 m unter MThw der Nordsee. Im Jahre 1935 wurden allein vom Schöpfwerk Verlath bei einer Sekundenleistung von 10 m³ 75 Mio m³ Binnenwasser in die Wiedau gepumpt (BANTELMANN). Um die durch diese weitgehenden Entwässerungsmaßnahmen eingetretenen Veränderungen aufzuzeigen, entnehmen wir dem Manuskript BANTELMANNs die Abbildungen 12 bis 14 und 19. Abbildung 12 zeigt, daß die ehemals so lebenswichtigen Boote nach der Wasserspiegelabsenkung sogar in den Kanälen auf Grund liegen. Die durch jahrhundertelange Überflutung gebildete Torfmudde springt, wie Abbildung 19 erkennen läßt, durch Trockenrisse gegliedert, in Platten vom Untergrund ab.

Was HANSEN (1936 a) vom *aufquellenden Salzwasser* aus dem Seeboden berichtet, wird durch die Aufnahme BANTELMANNs (Abb. 14) eindeutig bewiesen. Dieser Abbildung 14 entnehmen wir den geradezu revolutionären Charakter der Landschaftsverwandlung. Die Aufnahme hat dokumentarische Bedeutung. Fast der ganze Teil des ehemaligen Aventofter-Sees ist wieder zu einer „Watt“-Landschaft geworden, die sich durch die Salzpflanzen, den Queller (*Salicornia herbacea* L.) und die Salzaster (*Aster tripolium*), nicht vom freien Watt des Gezeitenbereichs vor der Küste unterscheidet.

In den Jahren 1938/39 setzten die Untersuchungen der Forschungsstelle Westküste — zunächst ohne Kenntnis der Untersuchungen von HANSEN und BANTELMANN — ein. Sie beschränkten sich vorwiegend auf die beiden früheren Seebecken des Gotteskoog-Sees und des Aventofter-Sees (vgl. Lageplan, Abb. 27 auf Seite 137). Es ergab sich bald, daß im Gotteskoog eine sehr komplexe Aufgabe zu lösen war. Angesichts der Fülle der für die Landeskultur außerordentlich bedeutsamen biologischen und bodenkundlichen Veränderungen entwickelte die Forschungsstelle im Jahre 1939 mit Zustimmung des Oberpräsidenten ein umfassendes Untersuchungsprogramm, zu dessen Bewältigung eine Reihe von Spezialisten gewonnen werden konnte. Durch den Krieg wurden diese Arbeiten jedoch bereits im ersten Stadium unterbrochen. Von diesen ersten Untersuchungen mögen die folgenden Ergebnisse hier mitgeteilt werden.

Die beigefügten Abbildungen 16 und 17 des Jahres 1938 zeigen gegenüber den von BANTELMANN drei Jahre vorher festgestellten Befunden keine grundsätzliche Änderung. Die Vegetationsbilder lassen zum Beispiel durchaus kein Abklingen der Versalzung der Seeböden vermuten, obwohl die Jahresniederschläge von 1935 bis 1938/39 eine Aussüßung hätten herbeiführen müssen. Daß das nicht der Fall war, geht außerdem aus den drei folgenden Tabellen hervor. Die im Sommer 1939 durchgeführten Salzanalysen geben sowohl den Salzgehalt des offenen Gewässers wieder als auch die im Boden angetroffene Salzkonzentration.

Tabelle 1
Salzgehalt im Wasser des
Aventofter-Sees

Juli 1939 (Regen im Juni 16, im Juli 86 mm)

Probe Nr.	Entnahme-Tiefe	‰ Salz
Av. 71	See-Oberfläche	1,26
Av. 74	„	1,73
Av. 91	„	1,66
Av. 92	„	1,89
Av. 94	„	1,91
Av. 105	„	1,71

Diese Proben verteilen sich über die ganze noch verbliebene Restsee-Fläche.

Abb. 16
Restfläche Aventoft-See
Ufervegetation mit Meer-
strandsbinse (*Scirpus mari-
timus*), Salzaster (*Aster tri-
polium*) und Queller (*Salic-
cornia herbacea*)

Aufn. E. WOHLBERG, 1938



Abb. 17
Restfläche Aventoft-See
mit blühenden Salzastern
(*Aster tripolium*) und
Queller (*Salicornia herbacea*)

Aufn. E. WOHLBERG, 1938



Abb. 18
Der trockengefallene Tal-
sand-Seegrund bei Aventoft
mit *Salicornia herbacea* und
Spergularia salina und wei-
ßen Salzausblühungen an
der Bodenoberfläche durch
Verdunstung des Boden-
wassers (vgl. Tabelle 3)

Aufn. E. WOHLBERG, 1939



Tabelle 2
Salzgehalt im Seeboden von
Aventoft

(Grablöcher mit Sickerwasser am Ufer des Rest-
sees) Juli 1939 (Niederschläge im Juni und Juli
siehe Tabelle 1)

Probe Nr.	Entnahme-Tiefe	%o Salz
Av. 72	60 cm	5,99
Av. 184	60 cm	4,33
Av. 188	60 cm	8,62

Tabelle 3
Salzgehalt im Seeboden von
Aventoft

Östliche Uferzone im *Salicornia*-Gürtel mit Salz-
ausblühungen an der Oberfläche (vgl. Abb. 18).
Juli 1939 (Niederschläge im Juni und Juli siehe
Tabelle 1)

Probe Nr.	Entnahme-Tiefe	%o Salz
Av. 1	0 bis 2 cm	231,13
Av. 2	2 bis 5 cm	90,71
Av. 3	2 bis 5 cm	57,49
Av. 4	2 bis 5 cm	44,75
Av. 5	2 bis 5 cm	44,15

Vergleicht man die Salzwerte der drei Tabellen miteinander, so zeigt das restliche offene Seegewässer mit durchschnittlich 1,7 g Salz im Liter einen verhältnismäßig niedrigen Salzwert an. Das Sickerwasser in den Grablöchern am Rand des Restgewässers, die bis zu 60 cm Tiefe ausgehoben wurden, läßt bei einem Mittelwert von 6,3 g Salz je Liter im Vergleich zum freien Wasser einen beachtlichen Anstieg erkennen. Tabelle 3 gibt die Werte für die Bodenoberfläche und oberflächennahen Bodenschichten in der östlichen Uferzone wieder. Diese Bodenproben wurden jenem Vegetationsgürtel entnommen, den die Abbildungen 16 bis 18 wiedergeben. Auf Abbildung 18 erkennen wir die durch die sommerliche Verdunstung des Bodenwassers an der Oberfläche hervorgerufenen Salzausblühungen. Die unmittelbar von der Oberfläche bis zu 2 cm Tiefe entnommene Probe (Av. 1) zeigt einen Höchstwert von 231,1 g Salz auf ein Liter Bodenwasser. Räumt man dagegen an dem gleichen Standort die oberen 2 cm mit den Salzausblühungen vor der weiteren Probeentnahme fort und untersucht dann die darunter liegende Bodenschicht in einer Tiefe von 2 bis 5 cm, dann sinkt sofort der Salzgehalt erheblich. Die Werte bewegen sich aber immerhin noch zwischen 45 und 90 g Salz je Liter Bodenwasser, was dem zwei- bis dreifachen Salzwert des freien Wattenmeeres entspricht. Auch diese Konzentration ist noch auf die an der Oberfläche wirksame Verdunstung und den dadurch hervorgerufenen kapillaren Aufstieg zurückzuführen³⁾.

Die Registrierungen der Salzflora (Abb. 16 bis 18) sind seinerzeit noch durch Diatomeen-Untersuchungen ergänzt worden, die wir dem langjährigen ehrenamtlichen Mitarbeiter der Westküstenforschung, Herrn Dr. CHRISTOPH BROCKMANN, verdanken. Es ist allgemein bekannt, daß die Kieselalgenflora in ihrer Zusammensetzung ein verlässliches Kriterium zur Frage Meerwasser-Brackwasser-Süßwasser zu bieten vermag. Herr Dr. BROCKMANN erklärte

³⁾ Ganz ähnlich lagen die Werte der Versalzung im Uferbezirk des Bottschlotter Sees, wo Dr. KÖNIG (nach den Akten der Forschungsstelle Westküste) im Oktober 1939 in dem sandigen, ufernahen Seeboden, der einen lockeren Bestand von *Salicornia*, *Spergularia*, *Suaeda*, *Puccinellia*, *Agrostis alba maritima*, *Scirpus maritimus* und degenerierendem *Phragmites* aufwies, im Bodenwasser der verschieden tiefen Schichten folgende Salzwerte nachweisen konnte:

in 0— 2 cm Tiefe	13,64 ‰
„ 5—10 „ „	44,17 ‰
„ 15—20 „ „	20,50 ‰
„ 25—30 „ „	15,52 ‰
„ 35—40 „ „	13,91 ‰.

Der hohe Wert von 44,17 ‰ geht noch auf die sommerliche Verdunstung zurück, während der geringere Wert von 13,64 ‰ in 0—2 cm Tiefe durch die aussüßende Wirkung der herbstlichen Niederschläge zu erklären ist.

sich bei der obenerwähnten Aufstellung des Gesamtuntersuchungsprogramms im Jahre 1939 dankenswert zur Mitarbeit bereit. Leider konnte mit diesen Spezialuntersuchungen infolge des Krieges nur der Anfang gemacht werden. Aber schon die ersten Ergebnisse (BROCKMANN, 1950) reichten aus, um die biologischen und hydrographischen Probleme im Gotteskoog auch von dieser Seite her in das kritische Licht zu rücken.

Liste

der im Gotteskoog-See (Go.-See) und im Aventoftter-See (Av.-See) vorkommenden Brackwasser-Diatomeen (nach BROCKMANN, 1950, S. 14—25) (Probenentnahme 1940)

Artname	Vorkommen	ökolog. Kennzeichnung
<i>Neastogloia brauni</i> GRUN.	Go.-See	Brackwasser
<i>Stauroneis ignorata</i> HUST.	Go.-See	Brackwasser
<i>Navicula cruciculoides</i> n. sp. BROCKM.	Go.- u. Av.-See	Brackwasser
<i>Navicula creuzburgensis</i> KRASSKE	Go.-See	Brackwasser (euryhalin)
<i>Navicula hungarica</i> GRUN.	Go.- u. Av.-See	Brackwasser (euryhalin)
<i>Navicula tuscula</i> (E.) GRUN.	Av.-See	Süß- und Brackwasser
<i>Navicula pseudo tuscula</i> HUST	Go.- u. Av.-See	oberes Brackwasser
<i>Navicula pseudo tuscula</i> HUST.	Go.-See	Süß- und Brackwasser
<i>Caloneis amphibaena</i> var. <i>subsalina</i> (DONK.) CLEVE, HUST.	Go.-See	Brackwasser
<i>Gyrosigma strigilis</i> (W. SM.) CLEVE	Go.-See	Brackwasser (selten)
<i>Gyrosigma peisonis</i> (GRUN.) HUST.	Go.-See	
<i>Pleurosigma elongatum</i> W. SM.	Go.- u. Av.-See	Brackwasser
<i>Amphiprora paludosa</i> W. SM.	Go.- u. Av.-See	Brackwasser
<i>Amphora commutata</i> GRUN.	Go.- u. Av.-See	Brackwasser (euryhalin)
<i>Nitzschia punctata</i> (W. SM.) GRUN.	Go.- u. Av.-See	Meer- und Brackwasser
<i>Nitzschia hungarica</i> GRUN.	Av.-See	Brackwasser (euryhalin)
<i>Nitzschia scalaris</i> (E.) W. SM.	Go.- u. Av.-See	Brackwasser (euryhalin)
<i>Nitzschia frustulum</i> (KG.) GRUN. var. <i>subsalina</i>	Av.-See	Brackwasser
<i>Nitzschia spectabilis</i> (E.) RALFS	Go.- u. Av.-See	Brackwasser
<i>Nitzschia obtusa</i> W. SM.	Go.-See	Brackwasser
<i>Campylodiscus clypeus</i> E., HUST.	Go.-See	Brackwasser

Von diesen 21 Arten weist BROCKMANN nicht weniger als 19 dem Brackwasser-Lebensraum zu. Nur zwei Arten kommen sowohl im Süßwasser als auch im Brackwasser vor.

Da diese Untersuchung der Diatomeenflora zur Zeit rund zwei Jahrzehnte zurückliegt, erschien die Wiederholung der Analyse zweckmäßig. Auch diese dem Aventoftter-See-Gebiet im November 1956 entnommenen Proben wurden von BROCKMANN bereitwilligst untersucht⁴⁾. In den gesammelten sechs Proben konnte BROCKMANN die folgenden Arten nachweisen:

Liste der Diatomeen

Aventoftter-See, November 1956

(unvollständig, nur zur Kennzeichnung des Charakters der Flora)

Proben-Nr.	1	2	3	4	5	6
<i>Melosira juergensi</i>	+	+	+	+	+	
<i>Fragilaria aventoftensis</i> nov. sp.	+	c	c	c	c	+
<i>Synedra pulchella</i>	c	+	+	c	c	+
<i>Synedra tabulata</i>	+	+	+	+	c	
<i>Cocconeis scutellum</i>	r	r				

⁴⁾ Auch für diese freundlich erwiesene Hilfestellung sei Herrn Dr. BROCKMANN herzlich gedankt.

	Proben-Nr.	1	2	3	4	5	6
<i>Rhoicosphenia curvata</i>		+	+	+	+	+	
<i>Mastogloia brauni</i>		+					
<i>Pleurosigma angulatum</i>		+		+		+	
<i>Amphiprora alata</i>		+	+	+	+	+	
<i>Caloneis amphisbaena</i>		+	+		+	+	
<i>Diploneis didyma</i>		r					
<i>Diploneis interrupta</i>		r					
<i>Stauroneis salina</i>		+	+	+	+	+	+
<i>Navicula crucicula</i>		+	+	+	++	+	+
<i>Navicula cryptocephala</i>		+	+	+	+	+	+
<i>Navicula gregaria</i>		c	+	+	+	+	c
<i>Navicula peregrina</i>		+	+	+	+	+	+
<i>Navicula digitoradiata</i>		+	+	c	+	c	c
<i>Navicula avenacea</i>		+					
<i>Navicula salinarum</i>		+	+	+	+	+	+
<i>Navicula pygmaea</i>						+	+
<i>Amphora commutata</i>		+	c	+	+	+	+
<i>Amphora coffeaeformis</i>		+		+	+	+	+
<i>Bacillaria paradoxa</i>			+		+	+	
<i>Nitzschia</i> , versch. Spezies, einzeln							
<i>Surirella ovata</i>		r		+			+
<i>Surirella striatula</i>		+	+			r	r
<i>Campylodiscus clypeus</i>		+	+	+	r	+	r
<i>Campylodiscus echemeis</i>		r	+	r			

Die vorstehende Liste zeigt einige der bereits 1941 gefundenen Arten, zum größeren Teil aber auch andere Formen^{4a)}.

Für unsere Fragestellung ist aber der Wortlaut des Kurzberichts entscheidend, den BROCKMANN der oben wiedergegebenen Artenliste für 1956 beigegeben hat:

„Sämtliche in der anliegenden Tabelle aufgeführten Arten sind Brackwasserbewohner, zumeist euryhaline Formen, die in ihrer Vegetation nicht an einen engen Salzbezirk gebunden sind und an der ganzen Nordseeküste an geeigneten Standorten gefunden werden.“ . . . „Dem Salzbedürfnis nach hat sich die Diatomeenflora in den letzten zwanzig Jahren kaum geändert, wenn auch der Artenbestand etwas anders geworden ist.“

So wird also auch mit Hilfe der Diatomeen-Analyse das Untersuchungsgebiet eindeutig und zusätzlich als Brackwasserraum gekennzeichnet, und zwar gleichlautend sowohl für 1940 als auch für 1956 und in ökologischer Hinsicht vollkommen mit der Analyse der höheren Salzpflanzengesellschaften des gleichen Zeitraums übereinstimmend.

Im November und Dezember 1956 — also nach mehr als siebenjähriger Pause — wurde die Vegetationskontrolle wiederholt. Es konnte festgestellt werden, daß der 1936 trockengefallene Seeboden bei Aventoft im Laufe der Zeit auf natürlichem Wege begrünt ist (Abb. 13 und 15 auf Seite 126). Schilfrohr und Straußgräser sowie Sauergräser und Simsen bedecken mehr oder weniger lückenhaft den ziemlich sterilen Seeboden. Aber — und das ist von entscheidender Bedeutung — außerdem finden wir in diesen, dem Restsee benachbarten Zonen auch noch 1956 ausgedehnte Bestände von Salzpflanzen (Abb. 15 und 22 bis 24), vorwiegend die Meerstrandsbinse (*Scirpus maritimus*) und die Salzaster (*Aster tripolium*), ja, in

^{4a)} Das mag daran liegen, daß sowohl die Proben von 1941 als auch die von 1956 nur orientierenden Charakter hatten. Durch eine systematisch durchgeführte Probenentnahme würde sich sicher eine noch größere Artenzahl nachweisen und eine dementsprechend bessere Vergleichsmöglichkeit erzielen lassen.



Abb. 19. Nach dem Auftauchen des alten Seebodens reißt die oberflächlich abgelagerte schlickige Torfmudde infolge Eintrocknung in polygonale Platten

Aufn. A. BANTELMANN, 1935



Abb. 20. Mit der Schrumpfung des trockengelegten torfigen Seebodens geht die erste Begrünung einher, hier durch die Meerstrandbinse (*Scirpus maritimus*)

Aufn. E. WOHLBERG, 1953



Abb. 21. Nach der Verdoppelung des Schöpfwerks Verlath fallen weitere Flächen des Aventofters-Sees trocken. Von rechts dringen bis zu 5 m lange Schilfrhizome in das „Neuland“ vor. Links die Salzaster, in der Mitte der Queller, rechts hinten eine Insel mit der Meerstrandbinse

Aufn. E. WOHLBERG, 1953



Abb. 22. Schilf- und Salzasterbestände am Aventofters-See. Am Horizont Aventoft

Aufn. E. WOHLBERG, Dez. 1956



Abb. 23. Blühende Salzastern (*Aster tripolium*) am Restsee bei Aventoft. Blickrichtung Nordost, am Horizont Hof Bjerremark mit Gehölz

Aufn. E. WOHLBERG, Dez. 1956



Abb. 24. Auch heute noch nach zwanzigjähriger künstlicher Entwässerung wächst der Queller (*Salicornia herbacea* f. *stricta*, KÖNIG) zwischen der Meerstrandbinse (*Scirpus maritimus*) und der Salzaster (*Aster tripolium*)

Aufn. E. WOHLBERG, Dez. 1956

diese hochwachsenden Bestände eingestreut sogar noch den Queller (*Salicornia herbacea*) (Abb. 24). Die jetzt gemachte Feststellung vom heutigen Vorkommen der Salzpflanzen gewinnt über das rein biologische Phänomen hinaus Bedeutung für die Entwässerungsmaßnahmen als solche. Unter Hinweis auf die Abbildungen 22 bis 24 darf hervorgehoben werden, daß die flächenhafte Abnahme der Quellervegetation gegenüber 1936 (Abb. 14 auf S. 126) und 1938 (Abb. 16 auf S. 128) nicht mit einer Abnahme des Salzgehalts im Boden erklärt werden kann, denn den Tabellen 4 und 5 kann entnommen werden, daß immer noch mehr als genug Salz im Boden vorhanden ist. Die Quellerbestände sind nur deswegen zurückgegangen, weil ihr Salzstandort von *Scirpus* und *Aster* beschattet wird. Sie sind aus Gründen der Raumkonkurrenz als annuelle den mehrjährigen und rhizomführenden Pflanzen unterlegen. Bekanntlich gehört *Salicornia* zu den ausgesprochenen Lichtpflanzen (FEEKES, 1936; WOHLBERG, 1938, S. 85). Auf Abbildung 24 erkennen wir die Quellerpflanzen vor der für die Aufnahme am Standort aufgestellten hellen Pappe. Sie machen tatsächlich einen schattenschwachen Eindruck. Die auf den Abbildungen 15, 22 und 23 sichtbaren *Aster tripolium*-Bestände blühen und fruchten auch heute noch üppig und sehr vital in einem breiten Saum am Nordufer des Restsees von Aventoft.

Zeigen uns die Fotos vom Dezember 1956, daß die Salzpflanzen durchaus nicht das Feld geräumt haben, sondern sich im Gegenteil immer wieder ansiedeln, so führen die Tabellen 4 und 5 den Nachweis, daß der Salzgehalt im Bodenwasser der Seen-Randgebiete gegenüber 1939 ebensowenig im Abklingen begriffen ist.

Tabelle 4
Salzgehalt im Bodenwasser der nordöstlichen Randzonen
des Aventoftter-Sees am 3. Dezember 1956
(Salzgehalt des benachbarten freien Wassers im Restsee zu gleicher Zeit: 5,30 ‰,
Regen im November: 48 mm)

Proben-Nr.	Entnahme-Tiefe unter Gelände in cm	Pflanzenbestand: <i>Aster tripolium</i>	Pflanzenbestand: <i>Aster tripolium</i> (vgl. Abb. 22)	Pflanzenbestand: <i>Aster tripolium</i> u. <i>Scirpus maritimus</i> (vgl. Abb. 15 u. 23)
36, 40, 44	5—10	10,23 ‰	10,75 ‰	14,20 ‰
37, 41, 45	20—25	11,13 ‰	10,57 ‰	15,79 ‰
38, 42, 46	50	11,31 ‰	10,61 ‰	16,37 ‰
39, 43, 47	80	11,36 ‰	10,63 ‰	12,68 ‰

Tabelle 5
Salzgehalt im Bodenwasser der nördlichen Randzone
des Aventoftter-Sees am 3. Dezember 1956
(Salzgehalt des freien Wassers und Niederschläge wie bei Tabelle 4)

Proben-Nr.	Entnahme-Tiefe unter Gelände in cm	Pflanzenbestand:	
		<i>Salicornia, Scirpus</i> (vgl. Abb. 24)	<i>Aster</i> u. <i>Phragmites</i>
48, 52	5—10	15,86 ‰	12,61 ‰
49, 53	20—25	14,36 ‰	12,02 ‰
50, 54	50	13,04 ‰	12,11 ‰
51, 55	70	11,00 ‰	11,94 ‰

Bei einem Niederschlagswert von 48 mm Regen im November hat das freie Wasser im Restsee Ende 1956 noch einen Salzgehalt von 5,30 ‰, das Bodenwasser im Randgebiet des

Sees aber noch ein Mehrfaches an Salz, nämlich 10,23, 10,75, 14,20, 15,86 und 12,61 ‰ in der Bodenzone 5 bis 10 cm unter Geländeoberfläche. Aufschlußreich ist ein Vergleich mit den Werten von 1939. Damals hatte das Sickerwasser in Grablöchern von 60 cm Tiefe (vgl. Tabelle 2 auf Seite 129) nur einen Salzgehalt von 4 bis 8 ‰. Die Salzwerte von Tabelle 3 (S. 129) vom Juli 1939 liegen allerdings wesentlich höher, was auf hohe sommerliche Verdunstung und infolgedessen auf die am untersuchten Standort kapillar aufsteigenden und in den oberflächennahen Schichten angereicherten Salzlösungen zurückzuführen sein dürfte (vgl. DE VRIES, 1934, 1935; ZUUR, 1938, 1952; WOHLBERG, 1938, 1953; KÖNIG, 1939; VERHOEVEN, 1950). Nehmen wir diese Extremwerte (Tabelle 3) aus der vergleichenden Betrachtung heraus, so muß festgestellt werden, daß in den tiefliegenden Randzonen des nördlichen Aventotter-Sees nicht nur von keiner Aussüßung die Rede sein kann, sondern daß die Bodenwerte von 1956 wesentlich höher als die Bodenwerte von 1939 liegen; ein Ergebnis, das mit den bisher im Anschluß an Entwässerungsmaßnahmen bekannt gewordenen Salzbewegungen in normalen Anwach-, Watt- und Koogsböden nicht in Einklang gebracht werden kann. Es ist aufschlußreich, hieraufhin das in den letzten fünf Jahrzehnten in der Küstenforschung über Salzbewegung veröffentlichte Schrifttum zu studieren und nachzulesen bei GRUNERT, 1913; STOCKER, 1925, S. 5; NIENBURG und KOLUMBE, 1931; STOCKER, 1933, S. 701—8; DE VRIES, 1934/35; THAMDRUP, 1935; FEEKES, 1936, S. 235; ZUUR, 1938; WOHLBERG, 1938, S. 78 u. Tab. 1; KÖNIG, 1939, S. 370 und 1949; HERRMANN, 1943, S. 85—91; VERHOEVEN, 1950, S. 3—4, 1953, S. 148—182; WOHLBERG und PLATH, 1953, S. 16; IWERSEN, 1953, S. 59 bis 119 und BRÜCKNER, 1954. Überall finden wir eine klare Beziehung zwischen Salzgehalt, Wetterlage und Entwässerung. Im Gotteskoog ist das nicht der Fall!

Dehnen wir die vergleichende Betrachtung auf das Bodenwasser am Rande des Gotteskoog-Sees an Hand der Tabelle 6 aus und vergleichen die gefundenen Werte mit denen des

Tabelle 6
Salzwerte im Bodenwasser der südöstlichen
Uferzone des Gotteskoog-Sees
am 3. Dezember 1956
(Salzgehalt des benachbarten freien Wassers: 1,62 ‰,
Regen im November: 48 mm)

Proben-Nr.	Entnahme-Tiefe unter Gelände in cm	Kein Pflanzenbestand (vgl. Abb. 25)
56	5—10	3,84 ‰
57	20—25	5,19 ‰
58	50	5,70 ‰
59	75	6,89 ‰

Aventotter-Sees (Tabelle 5), so zeigt sich, daß die Bodenwasserwerte des Gotteskoog-Sees mit 6,89 ‰ in 75 cm Tiefe unter Gelände deutlich niedriger liegen als die entsprechenden Werte am Aventotter-See mit etwa 12 ‰. Das stimmt auch mit der Verbreitung der Salzflora überein, die vorwiegend am Aventotter-See vorkommt.

Zu gleicher Zeit hatte das unmittelbar benachbarte freie Wasser des Gotteskoog-Sees einen Salz-

wert von nur 1,62 ‰. Ähnlich wie der Vergleich am Aventotter-See gezeigt hat, ist auch dieser Sprung von 1,62 ‰ im Wasser zu über 6 ‰ im Boden nach unsern bisherigen Anschauungen unverständlich und läßt im Gotteskoog einen grundsätzlich anderen Salzhaushalt vermuten.

Auf Grund dieser Befunde muß also festgestellt werden, daß nach der zwanzig (!) Jahre währenden Tätigkeit der Schöpfwerke in Verlat und Hemenswarf im Bereich der tiefliegenden früheren Seeböden nicht nur keine Aussüßung der Böden, sondern eine Salzanreicherung festzustellen ist. Dieses Ergebnis ist schwerwiegend und bedeutsam. Es kann mit unsern bisherigen landläufigen Vorstellungen vom Zusammenwirken von Niederschlag und Entsalzung keine Erklärung finden. Diese bleibe dem letzten Abschnitt mit der Auswertung der hydrographischen Ergebnisse vorbehalten.

Bevor wir jedoch über den von der Forschungsstelle eingerichteten „hydrographischen Dienst“ berichten, möge zum Abschluß der Erörterungen über die botanischen und bodenkundlichen Befunde noch über eine erst kurz vor der Drucklegung der Arbeit im Gotteskoog ge-

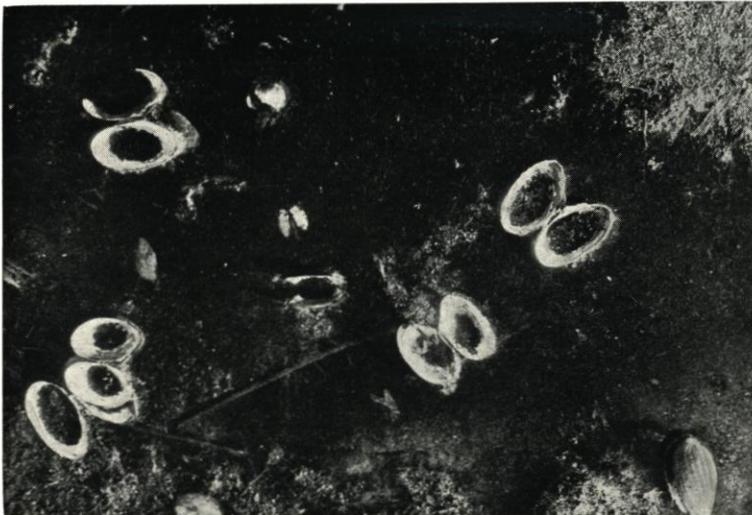


Abb. 25. Süßwassermuscheln auf trockengefallenem Seeboden vom Gotteskoog-See, *Anodonta anatina piscinalis* NILSS. und *Unio pictorum*

Aufn. E. WOHLBERG, 1956



Abb. 26. Schale der Süßwassermuschel *Anodonta piscinalis* mit Seepocken (Basalplatten von *Balanus improvisus* LAM.) und Krusten von Meeresbryozoen (*Membranipora crustulenta* PALL.), dem ersten Belegmaterial für die Versalzung aus dem Gebiet der Tierökologie

BILDARCHIV NISSENHAUS

machte Entdeckung auf zoologischem Gebiet berichtet werden. Bei der botanischen Bestandskontrolle im November und Dezember 1956 wurden — wie auch bereits in früheren Jahren — an der Oberfläche des trockengepumpten Seebodens hier und dort verstreute Schalen der beiden Süßwassermuscheln *Anodonta anatina piscinalis* und *Unio pictorium* beobachtet.

Wir entnehmen der Abbildung 25, daß es sich 1956 nicht etwa um fossile Schalen handelt, sondern fast ausnahmslos um intakte Klappenpaare, die noch miteinander durch das Ligament verbunden sind. Die Tiere haben also bis vor kurzem gelebt. Ihre Schalengröße deutet auf ein ziemliches Lebensalter. Wenn wir uns die Tabellen 4 bis 6 ansehen, stellen wir fest, daß sich sowohl die Anodonten als auch die Unien seit 1933 offenbar gut an die allmählich zunehmende Versalzung angepaßt haben. Die Frage nach ihrem jetzigen Absterben kann zur Zeit nicht eindeutig beantwortet werden. Es wäre möglich, daß ihre Salztoleranz nach dem weiteren Abpumpen des Seespiegels inzwischen überfordert wurde. Doch diese Feststellung berührt weniger das Meliorationsproblem als eine an einigen dieser Schalen von *Anodonta* gemachte Beobachtung, daß sie als Süßwasser muscheln einen Bewuchs mit einer fremden Fauna tragen. Abbildung 26 zeigt die Süßwasser-*Anodonta* mit Seepocken und Meeresbryozoen als Epibiosen! Bei den Seepocken handelt es sich um eine Kolonie von *Balanus improvisus* Cam., bei den Bryozoen um die Krusten von *Membranipora crustulenta* Pall.⁵⁾ Beide Arten kommen im Meer vor, haben jedoch eine breite ökologische Valenz und finden noch Lebensbedingungen im Brackwasser.

Dieser neue Befund aus der tierischen Ökologie liefert somit ein weiteres unbestechliches biologisches Kriterium für den Salzhaushalt des Gewässers Gotteskoog-See⁶⁾.

Wir beschließen damit die Erörterungen über die biologischen (botanischen wie zoologischen) Merkmale der Versalzung einschließlich der Bodenwerte und wenden uns dem letzten Kapitel über die hydrographischen Untersuchungen zu.

2. Der hydrographische Dienst des Marschenbauamts Husum — Forschungsstelle Westküste

a. Allgemeine Feststellungen

Auf Seite 129 wurden die Salzwerte, die im freien Wasser des Aventofter-Sees im Jahre 1939 gefunden wurden, zu denen des ufernahen Bodens in Beziehung gesetzt. Da sich zwischen diesen beiden Analysengruppen erhebliche Konzentrationsunterschiede ergaben, schien eine ständige Kontrolle des Salzgehalts der freien Gewässer, das sind die Restseen vom ehemaligen Aventofter-See und Gotteskoog-See sowie die verschiedenen Sielzüge und Entwässerungsgräben, notwendig, wenn man den Ursachen der Salzbewegung auf den Grund gehen wollte.

Die Forschungsstelle Westküste des Marschenbauamts Husum richtete daher in Fortführung der 1938 begonnenen Untersuchungen einen hydrographischen Dienst ein. Dem Lageplan auf Abbildung 27 ist die örtliche Verteilung und Lage der Dauerstationen zu entnehmen. Nachdem sich erwiesen hatte, daß z. B. der Gotteskoog-Restsee trotz einer zusammenhängenden Wasserfläche an verschiedenen Stellen zeitweise unterschiedliche Salzwerte aufzeigte, wurde dieses Restgewässer mit drei Dauerstationen belegt (9, 12 und 13). In der Tabelle 7 sind die in den Jahren 1939 bis 1956 gemessenen Salzwerte zusammengestellt. Das Zahlenbild ist auf den ersten Blick verwirrend, aber so bleibt es auch. Man vermag selbst bei bestem Bemühen weder Gesetzmäßigkeiten noch die üblichen Beziehungen zu erkennen. Die höchsten Salzwerte, aber auch die größten, von Jahr zu Jahr oder von Monat zu Monat auftretenden Schwankungen konnten an den Stationen 5, 8, 9, 10, 11, 12 und 13 nachgewiesen werden. Es

⁵⁾ Die Nachbestimmung dieser Arten übernahm Herr Dr. S. JAECKEL, Zoolog. Institut Kiel, wofür ich auch an dieser Stelle herzlich danke.

⁶⁾ Die Frage nach der Herkunft dieser Biozoonose ist unschwer mit der Einschleppung ihrer Larven durch Vögel zu erklären, die in mehr oder weniger großen Schwärmen die feuchten Seeböden beim Einflug vom nicht weit entfernt gelegenen offenen Wattenmeer zwecks Rast und Äsung aufzusuchen pflegen.

sind also zur Hauptsache die Restseen, die ein sehr uneinheitliches Bild zeigen, aber auch einige Sielzüge und Gräben (Station 8, 10 und 11) führen von Zeit zu Zeit sehr verschieden salzhaltiges Wasser.

Wenn es durch die Kriegsverhältnisse auch nicht möglich war, die Analysenreihen zügig in kalendermäßig festgelegten Zeitabständen durchzuführen, so liegt im großen und ganzen doch

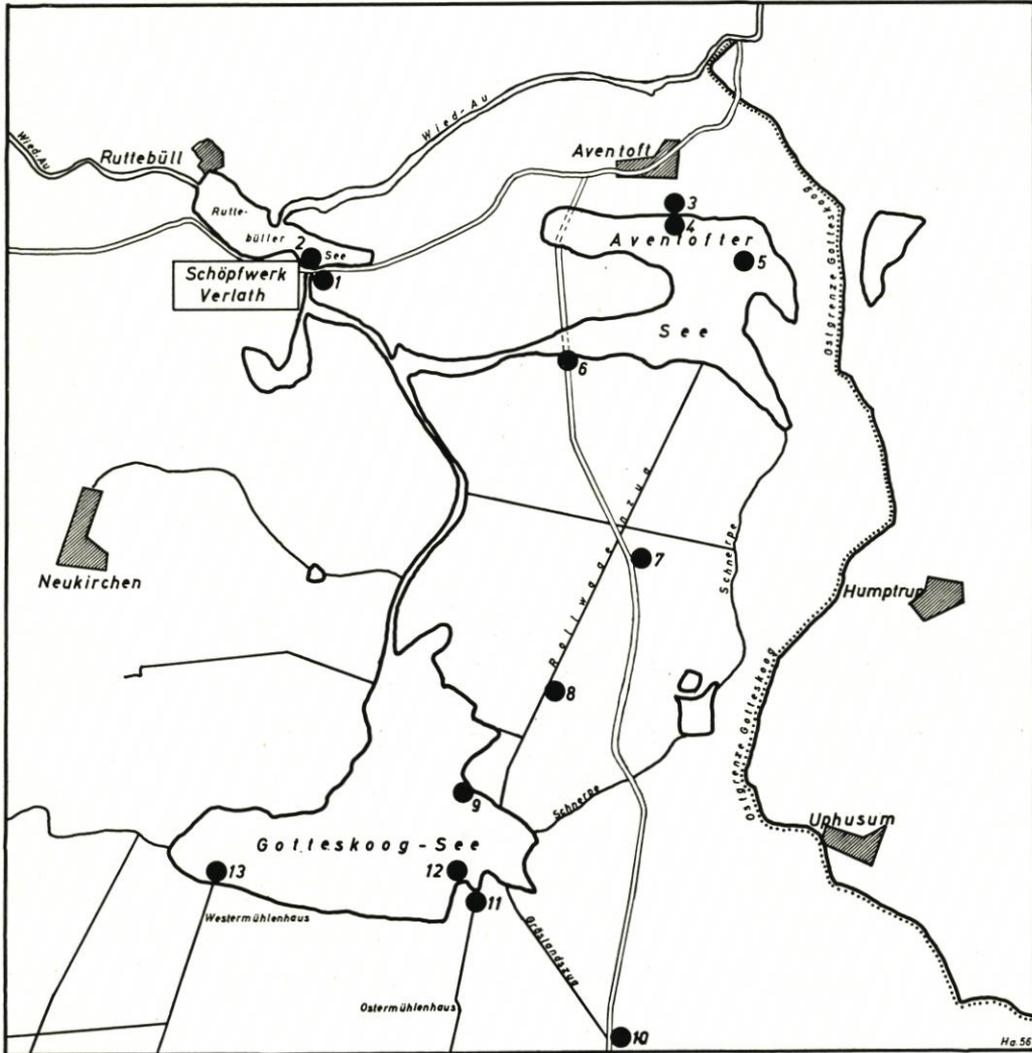


Abb. 27. Die Verteilung der Stationen 1 bis 13 des hydrographischen Dienstes im Gotteskoog

ein Untersuchungszeitraum von 1938 bis 1956, also von fast zwanzig Jahren vor. Während dieser ganzen Zeit ist die künstliche Entwässerung niemals unterbrochen gewesen. Die Wasser-spiegelabsenkung ist von 1939 ab bis zum Jahre 1953 ständig gesteigert worden. So um-faßte die Wasserfläche des Avenloffer-Sees 1926 rund 200 ha, heute dagegen nur noch 11 ha, der Gotteskoog-See ging von 500 auf 300 ha zurück (FISCHER, 1955). Von 1953 ab wird der

Spiegel konstant gehalten. Da alle Stationen des hydrographischen Dienstes (bis auf Station 7 und 11) auf direktem Wege an den Hauptvorfluter beim Schöpfwerk Verlatth angeschlossen sind, sollte man unter normalen Verhältnissen zu der Annahme berechtigt sein, durchweg einheitliches Wasser und in jeder Spalte der Tabelle einigermaßen gleichwertiges Zahlenmaterial zu finden. Die Tabelle 7 zeigt jedoch das Gegenteil! Wir wollen versuchen, den dafür verantwortlichen Ursachen mit Hilfe graphischer Auftragungen auf die Spur zu kommen, und wählen dafür die Salzbeugung in den beiden Rest-seengebieten Aventofter-See und Gotteskoog-See.

b. Die Salzbeugung im Gotteskoog-See

Auf Abbildung 28 sind die von 1939 bis 1956 (Tabelle 7) gefundenen Salzwerte in Blockdiagrammen dargestellt. Der höchste Wert wurde im Februar 1955, der absolut niedrigste im März 1955 festgestellt. Verhältnismäßig hohe Werte zeigen die Analysen vom August und September 1953, vom Juni 1954 und 1955 und vom Oktober 1956. Man sollte auf Grund der Erfahrungen in anderen Marschgebieten annehmen, daß die Sommerwerte grundsätzlich höher liegen als die Winterwerte, da wir den an sich aussüßend wirkenden Niederschlägen einen für den Salzhauhalt eines Gewässers entscheidenden Einfluß beizumessen pflegen. Da diese Sommer-Winter-Beziehung offensichtlich nicht besteht, erweitern wir in Abbildung 28 die Darstellung der Salzwerte um die zeitlich entsprechende Darstellung

Tabelle 7
Die Salzgehaltswerte (‰ NaCl) an den 13 Stationen des hydrographischen Dienstes von 1939 bis 1956 (vgl. Lageplan, Abb. 27)

Stations-Nummer und Gegend	Spalte:															
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI
Wasserprobe vom:	VII. 16. II. 1939	II. 21. VIII. 1941	9. IX. 1953	5. I. 1953	13. IV. 1954	8. VI. 1954	19. VI. 1954	15. II. 1954	30. III. 1955	2. VI. 1955	29. VII. 1955	3. XI. 1955	26. III. 1956	10. X. 1956	3. XII. 1956	
1 Verlatth, innen	—	—	3,01	—	0,83	1,38	1,77	1,37	0,88	0,68	1,77	1,93	1,05	0,96	0,73	1,03
2 Verlatth, außen	—	—	—	—	0,90	0,86	1,00	0,71	0,77	0,18	0,49	0,16	1,29	1,14	0,49	0,92
3 Aventofter, Pegel	—	—	0,92	—	1,84	0,73	0,62	0,25	0,55	0,16	0,13	1,25	0,93	0,16	0,59	0,62
4 Aventofter, Stelzug	—	—	—	—	1,33	0,31	1,20	0,51	0,31	0,27	1,77	0,53	0,31	0,64	0,92	—
5 Aventofter, See	1,70	—	9,43	—	9,16	7,16	7,16	2,25	1,46	trocken	8,01	trocken	2,02	6,17	8,60	9,81
6 Straßenbrücke	—	—	—	—	1,10	0,61	1,27	—	0,70	0,40	0,46	0,61	0,81	0,46	0,58	0,71
7 Graben an der Straße	—	—	—	—	1,57	0,79	0,75	—	1,35	0,27	0,11	0,57	1,47	1,20	0,27	0,90
8 Rollwagenguz bei Hattersbill	—	—	3,12	—	1,53	5,08	6,69	6,08	2,02	0,98	2,16	4,07	3,22	1,20	1,57	—
9 Gotteskoog-See, NO	—	—	—	—	1,63	1,85	4,56	4,61	9,02	0,46	2,63	4,65	2,99	0,85	4,00	—
10 Gräsländzug	—	—	—	—	0,70	0,66	1,59	6,44	6,65	1,38	0,51	2,74	3,71	1,74	0,92	2,43
11 Graben bei Grünland	—	—	—	—	0,29	0,40	—	4,04	0,71	0,24	1,93	4,15	0,79	0,27	1,00	—
12 Gotteskoog-See, SO	4,00	3,50	6,42	—	—	—	—	6,17	11,22	1,00	5,39	trocken	3,57	4,34	6,15	1,62
13 Gotteskoog-See, SW	—	—	—	—	—	—	—	—	0,75	0,71	2,52	5,07	4,83	0,94	3,62	—

← ‰ NaCl →

der Niederschlagswerte. Der unserem Untersuchungsgebiet nächstgelegene Regenschirm des Wetterdienstes steht im benachbarten Niebüll⁷⁾.

Unsere Betrachtung umfaßt vergleichsweise die Blockdiagramme der Salzwerte und darunter die jeweils entsprechenden Blockdiagramme der Regenwerte. Im Juli 1939 hatten wir hohe Niederschläge und vermuteten daraufhin niedrige Salzkonzentrationen, fanden aber hohe Salzwerte! Dasselbe gilt für August und September 1953, für Januar und Juni 1954,

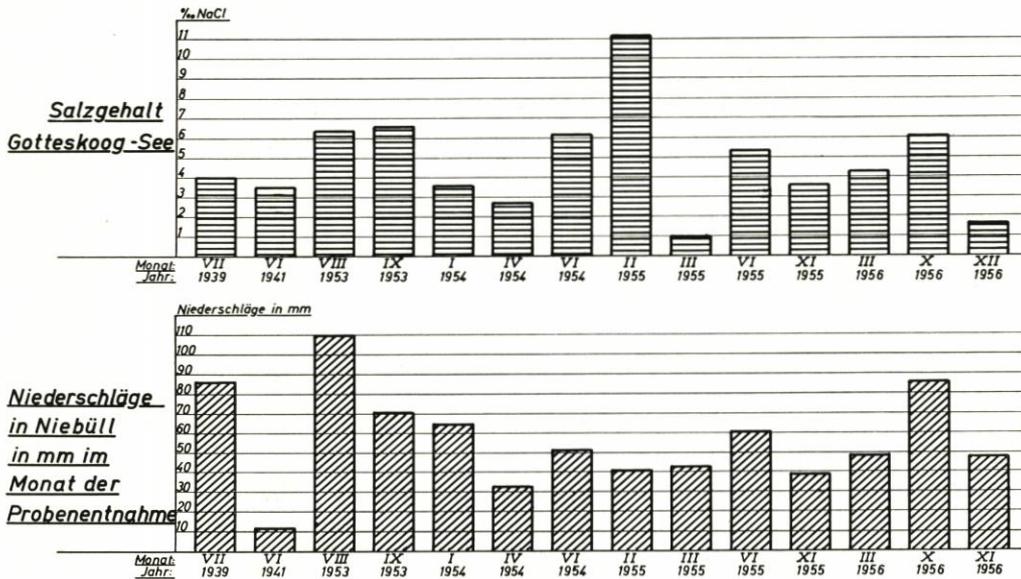


Abb. 28. Der Salzgehalt im Wasser des Gotteskoog-Sees von 1939 bis 1956 und die zeitlich entsprechenden Niederschläge

für Juni 1955 und für Oktober 1956. In diesen Monaten erkennen wir nicht nur keine Einflußnahme der Niederschläge auf den Salzgehalt des Wassers im Gotteskoog-See, sondern der Salzgehalt liegt paradoxerweise bei erhöhten Niederschlägen höher.

c. Die Salzbewegung im Aventofter-See

Auch Abbildung 29 zeigt in der oberen Reihe die Blockdiagramme der Salzwerte von 1939 bis 1956 (Tabelle 7), in der unteren Reihe die Niederschlagswerte. Im Vergleich zum Gotteskoog-See (Abb. 28) liegen die Salzwerte im Aventofter-See im großen und ganzen höher. Das gleiche gilt, wie oben dargelegt wurde, von den Salzwerten des Bodenwassers. Vergleicht man allgemein die Sommerwerte mit den Winterwerten, so liegen alle gemessenen Sommerwerte (Juli 1939, Juni 1954 und Juli 1955) weit unter den Werten von Herbst, Winter und Frühjahr (August und September 1953; Januar und April 1954; März und November 1955; März, Oktober und Dezember 1956). Was bei der vorangegangenen Betrachtung der Gotteskoogwerte schon deutlich erkennbar war, zeigt sich bei der kritischen Betrachtung der Aventofter Werte mit noch größerer Kraft. Auch hier bedarf die Darstellung der Salzwerte der entsprechenden Ergänzung durch die Niederschlagswerte. Sie sind in der untersten Reihe der Abbildung 29 wiedergegeben. Nahmen wir bei der Erörterung der Gotteskoogwerte nur die

⁷⁾ Sämtliche Angaben über die Niederschläge wurden von der Wetterdienststelle Husum zur Verfügung gestellt, wofür auch an dieser Stelle gedankt sei.

Niederschlagswerte des Monats in die Diskussion hinein, an dem die Wasserprobe entnommen wurde, so nehmen wir hier auch den jeweiligen Niederschlagswert des Vormonats zusätzlich hinzu, denn es könnte der Einwand erhoben werden, daß den Niederschlägen des Vormonats gegenüber dem Analysenmonat größere Bedeutung für den Salzgehalt beizumessen wäre. Somit zeigen die Kolumnen im unteren Teil der Abbildung 29 die Niederschlagswerte zeichnerisch getrennt zu je zwei Monaten vereint.

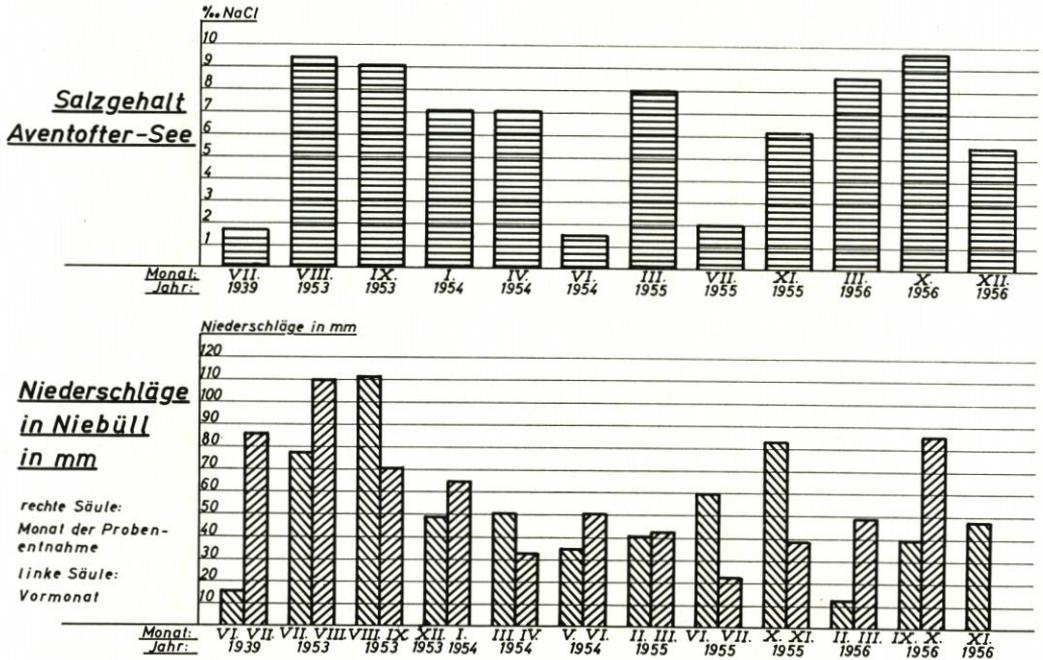


Abb. 29. Der Salzgehalt im Wasser des Aventotter-Sees von 1939 bis 1956 und die zeitlich entsprechenden Niederschläge

Der Umfang einer ins einzelne gehenden Erörterung würde im Rahmen dieses Aufsatzes zu groß werden; es seien daher nur einige wenige, besonders hervorspringende und kennzeichnende Punkte herausgegriffen.

Die höchsten Niederschläge wurden im Juli, August und September 1953 verzeichnet. Setzt man dazu die darüber liegenden Salz-Diagramme der betreffenden Monate in Beziehung, so befremden uns auch hier die außerordentlich hohen Salzwerte mit über 9 ‰ NaCl. Ähnliches gilt für Oktober/November 1955 und für September/Okttober 1956. Dieses klare Mißverhältnis tritt etwas abgeschwächt, aber immer noch deutlich im Dezember 1953/Januar 1954, März/April 1954 und November/Dezember 1956 in Erscheinung.

Setzt man ferner annähernd gleiche Niederschlagswerte in Beziehung zu den zeitlich entsprechenden Salzwerten, so ergibt sich auch hier kein verständliches Bild, denn den annähernd gleichen Regenwerten von Mai plus Juni 1954 mit 86 mm, von Februar plus März 1955 mit 84 mm und von Juni plus Juli 1955 mit 84 mm stehen außerordentlich verschiedene Salzwerte, nämlich 1,46 ‰, 8,01 ‰ und 2,02 ‰ gegenüber.

Doch diese Anomalien treten nicht allein in den beiden Restseen auf.

Unter den Wasserläufen und Sielzügen des Gotteskooges springen nach der Tabelle 7 sowohl der im Jahre 1622 ausgehobene „Rollwagenzug“ als auch der „Gräsländzug“ mit

ihren zeitweilig sehr hohen Salzwerten aus der Reihe. Im „Rollwagenzug“ liegt die fragliche hydrographische Dauerstation (8) im Gebiet der Hattersbüllhallig. Laut Spalte VI, VII, VIII und XII der Tabelle 7 wurden an Station 8 Salzwerte bis über 6 ‰ im offenen Wasser gemessen; im „Gräslandzug“ (Station 10 der Tabelle) laut Spalte VII, VIII und XII bis über 4 ‰. Auch diese Werte entziehen sich genauso wie die vorher erörterten der beiden Seen einer landläufigen Erklärung.

d. Bewertung der Ergebnisse des hydrographischen Dienstes

Die dem gesunden Vorstellungsvermögen und den bisherigen Erfahrungen widersprechenden Ergebnisse der vorangegangenen Abschnitte a bis c zwingen nunmehr zum Versuch einer kritischen Gesamtbewertung und zur Einengung der Fragestellung.

Es konnte der Nachweis geführt werden, daß

- a) die Heterogenität der Salzwerte in den beiden Restseen Aventoft-See und Gotteskoog-See zum Charakteristikum dieser Gewässer gehört;
- b) ihr Salzgehalt im Sommer niedriger ist als im Herbst, Winter und Frühjahr;
- c) trotz höchster Niederschläge in einzelnen Fällen gleichzeitig auch die höchsten Salzwerte gefunden und
- d) andererseits bei gleichhohen Niederschlägen ganz verschiedene Salzgehalte nachgewiesen wurden.

Alle vier hier zusammengefaßten, durch Analysen erwiesenen Problemkreise stehen — wie nachgewiesen werden konnte — mit den in normalen Marschgebieten gemachten Erfahrungen hinsichtlich der Salzbewegung im freien Wasser und in den Böden im Widerspruch. Die biologischen Befunde (Abb. 14 bis 26) und die Diatomeenlisten auf S. 130 und 131, die chemischen Analysen und hydrographischen Tabellen (Tab. 1 bis 7 und Abb. 28 und 29) haben zwar eindeutig die Versalzung nachgewiesen, es aber nicht in allen Fällen vermocht, die zahlreichen Unstimmigkeiten zu erklären und die Schwankungen im Salzgehalt kausal zu deuten. Dennoch haben wir mit Hilfe dieser Unstimmigkeiten die Fragestellung einengen können. Wenn nämlich die Niederschläge praktisch keinen Einfluß mehr auf den Salzgehalt der Gewässer haben, können wir nur noch das im Untergrund vorhandene Wasser zur Erklärung heranziehen, und wir erinnern uns der Hinweise auf das versalzte Grundwasser bei LANGMAACK (1909); HECK (1932); HANSEN (1936) und DITTMER (1939, 1940, 1948, 1952 S. 165/6, 1953, 1954 S. 214 und 1954 a). Diese Hinwendung zum Grundwasser erfolgt im Rahmen unserer Erörterungen zwangsläufig unter dem Druck der biologischen, chemischen und meteorologischen Daten. Die möglichst vielseitig durchgeführten Analysen zwingen uns, die Leistung der Schöpfwerke als so weitgehend zu bewerten, daß die Niederschläge schon während ihres Fallens sofort abgepumpt werden. Sie werden damit aus dem Wasserhaushalt des Gotteskooges praktisch ausgeschaltet, bevor sie überhaupt wirksam werden können. Sie können sich nicht auswirken, weil der Grundwasserüberdruck im Boden infolge der tiefen Absenkung des Wassers in den Kanälen und Restseen zu groß ist, denn das Wasserspiegelgefälle von der benachbarten Nordsee zum künstlich erniedrigten Wasserspiegel der Restseen im Gotteskoog beträgt — bezogen auf das TmW (Tidemittelwasser) — rund zwei (!) Meter. Das heißt mit anderen Worten, daß das tiefere Grundwasser der gesamten Niederung und der angrenzenden Gebiete die Oberhand gewonnen hat und den nach dem Abpumpen verbleibenden Wasserhaushalt der Restgewässer durchweg allein beherrscht. Nur so findet das rätselhafte Bild vom Salzspiel im Gotteskoog seine Erklärung; auch zum Beispiel die oben erwähnte Heterogenität im Salzgehalt, der je nach der Stärke des Aufstiegs bzw. Austretens an verschiedenen Punkten eines und desselben Gewässers mehr oder weniger großen unregelmäßigen Schwankungen unterworfen ist (Tabelle 7). Die Ergreifung

der Ursachen für den örtlich verschieden starken Aufstieg des Grundwassers und die von uns nachgewiesenen Schwankungen im einzelnen bleibt weiteren Untersuchungen vorbehalten.

IV. Folgerungen für die Landeskulturmaßnahmen

Die Folgerungen, die der Melioration durch die oben dargelegten biologischen, bodenkundlichen und chemischen Befunde und deren Abhängigkeit vom Grundwasser nahegelegt werden, sind an sich einfacher, ihrem Wesen nach aber grundsätzlicher Art. Sie bedingen zur wirklichen Behebung der Versalzung die planvolle und dauernde Einschaltung des Süßwassers. Sie bedeuten mithin eine Abkehr vom bisher ausschließlich betriebenen Meliorationsverfahren, nämlich der einseitigen Entwässerung, ja, sie bedingen zum Teil eine Umkehr. Lassen wir an dieser Stelle IWERSEN (1954) sprechen:

„Die Anlage von Speicherbecken zur Süßwasserversorgung (auch zur Erhaltung des Süßwasserüberdrucks in salzgefährdeten Gebieten) kann zweckmäßig“ ... in einem „Teil früherer Seengebiete, die inzwischen für Kultivierungszwecke entwässert sind, erfolgen.“

IWERSEN kannte unsere Analysen und teilte unsere Sorge um die Gesundung der Böden.

Wie eingangs erwähnt, befassen sich unsere Untersuchungen mit den tief gelegenen Flächen. Glücklicherweise ist die Salzproblematik in den höher gelegenen Teilen des Gotteskooges nicht unmittelbar vorhanden, sofern nämlich die oberflächlich gelagerte Kleidecke (Marschboden) mächtig genug ist, um die Kulturen gegen das auch dort in größerer Bodentiefe vorhandene Salzwasser abzusichern. In diesen durch natürliche Kleiaufgaben abgeschirmten Gebieten haben sich die Entwässerungsmaßnahmen im Gotteskoog durchaus als segensreich erwiesen. Aber alle Gebiete, die nicht auf diese Weise abgeschirmt sind, bleiben salzgefährdet, und so gesehen erlangen die Salzprobleme im Gotteskoog über ihre örtlich gebundene Existenz hinaus symptomatische Bedeutung hohen landeskulturellen Ranges und bekunden eindringlich, daß es in der Landschaft eine natürliche Ordnung gibt, deren Zusammenhänge vom Menschen nicht ungestraft aufgehoben oder über ein zulässiges, sorgfältig abzuwägendes Maß hinaus gestört werden dürfen (WEINOLDT u. SUHR, 1951, S. 8). Die heute der sichtbaren Versalzung anheimgefallenen Flächen belaufen sich im Gotteskoog nach einer im Rahmen vom „Programm Nord“ durchgeführten Kartierung auf immerhin noch 170 ha. Nicht einbegriffen sind die noch vegetationslosen, fortschreitend im Trockenfallen begriffenen Flächen der beiden Restseen, die zusätzlich mit rund 100 ha angesetzt werden können. Diese insgesamt 270 ha umfassenden Flächen können durch weitere Entwässerung nur noch geschädigt, d. h. salzvergiftet, durch Bewässerung mit anzustauendem Süßwasser aber in einen Haushalt dauerhafter Gesundung eingebaut werden.

Das Gotteskoog-Problem wird also nicht durch ein starres Entweder-Oder gelöst, sondern durch eine differenzierende Melioration, durch eine Wasserregelung mit verschiedenen Vorzeichen.

Die im allgemeinen vorwiegend technisch orientierten Landeskulturmaßnahmen sollten die historisch, landschaftlich und biologisch verankerten Zusammenhänge nicht außer Acht lassen und sich bereits bei ihren Planungsaufgaben zur Ertragssteigerung der Ergebnisse der landschaftskundlichen, geologischen und biologischen Forschung bedienen, darüber hinaus sich aber auch damit abfinden, daß nicht auf allen Böden unseres Landes „Weizen“ gebaut werden kann. Das Wasser ist zwar der bedeutsamste aller Faktoren, aber ein Faktor mit mannigfaltigen — positiven wie auch negativen — Wirkungsformen im Mosaik der Kultivierungsfragen. Das im großen Aufgabenkreis der Landeskultur wirksame Wasser bedarf stets, d. h. in Zeiten des Bedarfs und in Zeiten des Überflusses, einer sinnvollen und abgestimmten Führung.

V. Zusammenfassung

Im ersten Hauptabschnitt, I, 1 bis 3, wird in gedrängter Form das mitgeteilt, was zum Verständnis der späteren Salzproblematik notwendig ist, die Landschaftsgeschichte. In der Nacheiszeit dehnten sich weit- und flachgelagerte Talsandebenen nach Westen. Die tieferen Teile vermoorten, Eichen- und Birkenwälder breiteten sich aus und der Mensch der Steinzeit hinterließ hier seine ersten Spuren. Mit der flandrischen Transgression rückte die Nordsee heran und formte aus Talsandebenen, Mooren und flachen subglazialen Rinnen ein Wattenmeer. Tiefgelegene Watten, breite Priele, Halligbildungen mit Warfsiedlungen kennzeichnen von jetzt ab das ganze im Schutz der Wiedingharde gelegene Gebiet des späteren Gotteskooges als eine morphologisch stark gegliederte Wattenmeerlandschaft. Mit der Eindeichung in den Jahren 1562—66 wird die Umwandlung der Wattenmeerlandschaft in eine überschwemmte Niederungslandschaft eingeleitet. Mehr als 5000 ha, das sind zwei Drittel der gesamten Koogsfläche, bestanden bei der Eindeichung aus nicht deichreifem Wattland, das infolge seiner Tiefenlage nach der Bedeichung mit Süßwasser überstaut wurde. Tausende Hektar konnten also nicht oder nur beschränkt genutzt werden. Dieser Zustand dauerte bis zum Jahre 1928, das sind über 360 Jahre.

Im zweiten Hauptabschnitt, II, 1 bis 2, wird die künstliche Entwässerung des Gotteskooges durch die beiden Schöpfwerke bei Südwesthörn und bei Verlath erörtert. Es werden zum erstenmal Zahlen über die im Laufe der Jahre erreichten Wasserspiegelabsenkungen und über die ins Meer gepumpten Süßwassermengen bekannt. Die Seeböden fallen trocken; die 360 Jahre vom Süßwasser bedeckt gewesenen Watten können zum erstenmal in landwirtschaftliche Bearbeitung genommen werden. Auf allen Flächen des Gotteskooges, die eine ausreichende alluviale Kleiauflage (Marschbildung) haben, hat sich die Entwässerung als segensreich erwiesen, dagegen nicht auf den Flächen, die einen solchen naturgegebenen, gegen das Grundwasser abschirmenden Schutzmantel nicht besitzen.

Im dritten Hauptabschnitt, III, 1 bis 2 a—d, steht die heutige Versalzung des Gotteskooges im Mittelpunkt der Erörterungen. Große Teile der von 1929 ab fortschreitend trockengepumpten Seeböden wurden erneut von einer ausgesprochenen Salzflora besiedelt. Der im Boden vorhandene Salzgehalt wurde in den Jahren 1939 bis 1956 chemisch untersucht. In den oberflächennahen Schichten wurden sommerliche Salzausblühungen registriert und Höchstwerte von 230 ‰ NaCl im Bodenwasser festgestellt. Die 1935 zum erstenmal festgestellten Halophyten sind auch noch 1956, also nach zwanzigjähriger Pumpzeit, vorhanden.

Der siebzehn Jahre umfassende hydrographische Dienst ermöglicht an Hand von Tabellen und graphischen Darstellungen die Diskussion der Salzbewegung in allen offenen Gewässern des Gotteskooges, besonders des Aventoftter-Sees im Norden und des Gotteskoog-Sees im Süden. Die gefundenen Salzgehaltswerte werden zu den Niederschlägen in Beziehung gesetzt. Die Untersuchungsergebnisse stehen im Widerspruch mit den Erfahrungen in normalen, der Entwässerung unterworfenen Marschgebieten. Im Gotteskoog liegen grundsätzlich andere Bedingungen vor. Durch die große Pumpleistung der Schöpfwerke wird das Wasser der Niederschläge sofort wieder ins Meer gepumpt und damit von vornherein aus dem Wasserhaushalt des Gotteskooges ausgeschaltet. Die verbliebenen Restgewässer des Gotteskooges konnten durch biologische und chemische Analysen eindeutig als Brackwasser gekennzeichnet werden. Der verbleibende Wasserhaushalt der tief gelegenen, trockengepumpten Seeböden wird vom versalzten Grundwasser des Talsandes gespeist.

Es gibt landschaftlich bedingte und biologisch wie chemisch erkennbare Grenzen der Melioration. Daraus ergibt sich zwangsläufig zum Beispiel für die tiefgelegenen Teile des Gotteskooges die Abkehr von den zur Zeit bestehenden, nur technisch orientierten Meliorationsmaßnahmen und die Zuwendung zu einer auch biologisch ausgerichteten Landeskultur.

VI. Schriftenverzeichnis

1. ANDRESEN, L.: Bäuerliche und landesherrliche Leistung in der Landgewinnung im Amte Tondern bis 1630. Westküste II, 2/3, 1940.
2. BANTELMANN, A.: Vorläufiger Bericht einer Landschaftskunde des Gotteskooges. Unveröffentlichtes Manuskript, 1935.
3. BEEKOM van, C. W. C. und andere: Reclaiming land flooded with salt water. Netherld. Journ. agric. Science 1, 3, 1953.
4. BROCKMANN, Chr.: Die Diatomeen als Leitfossilien in Küstenablagerungen. Westküste II, 2/3, 1940.
5. BROCKMANN, Chr.: Die Watt-Diatomeen der schleswig-holsteinischen Westküste. Abh. Senckenberg. Naturf. Ges. 478, 1950.

6. BRÜCKNER, E.: Beiträge zur Soziologie und Ökologie westdeutscher Halophytenstandorte der Wetterau. Ber. Oberh. Ges. Natur- u. Heilkunde 26, 1954.
7. CHRISTIANSEN, W.: Salz droht! Die Heimat 56, 6, 1949.
8. CHRISTIANSEN, W. und STEINBERG, K.: Binnenland-Salzwiesen der nordfriesischen Marsch. Die Küste 1956.
- 8a. DELOFFRE, G.: The leaching of chlorides in the regions of Dunkerque and le Verdon flooded with Salt Water in 1944. Transact. Internat. Congr. Soil Science Amsterdam 1, 1950.
9. DITTMER, E.: Die Grundwasserverhältnisse in der nordfriesischen Marsch und die Gefahr der Versalzung der Niederungen. Amtlicher Bericht der Forschungsstelle Westküste vom 12. Juli 1939. (Unveröffentl.)
10. DITTMER, E.: Wasserversorgung des Gotteskooges. Amtlicher Bericht der Forschungsstelle Westküste vom 9. Juli 1940. (Unveröffentl.)
11. DITTMER, E.: Die Küstensenkung an der schleswig-holsteinischen Westküste. Forschung und Fortschritte 17/18, 1948.
12. DITTMER, E.: Die nacheiszeitliche Entwicklung der schleswig-holsteinischen Westküste. Meyniana I, 1952.
13. DITTMER, E.: Die Grundwasserverhältnisse der schleswig-holsteinischen Marschen und deren Versalzung. Amtl. Bericht d. Forschungsstelle Westküste vom 10. Dez. 1953. (Unveröffentl.)
14. DITTMER, E.: Der Mensch als geologischer Faktor an der Nordseeküste. Eiszeitalter und Gegenwart 4/5, 1954.
15. DITTMER, E.: Zur Geschichte der Landschaft und der Warften Nordfrieslands. Jaarversl. Vereenig. Terponderzoek, Groningen 1954 a.
16. DITTMER, E.: Die Versalzung des Grundwassers an der schleswig-holsteinischen Westküste. Die Küste 1956.
17. FEEKES, W.: De pioniervegetatie van de eerste groote Zuiderzeedrooglegging „De Wieringermeerpolder“. Naturwet. Tijdskr. XVIII, 1936.
18. FISCHER, O.: Das Wasserwesen an der schleswig-holsteinischen Nordseeküste, III Das Festland, 7, Hydrographie des Küstengebietes. Berlin 1955.
19. GRUNERT, H.: Die Marschbildungen an der deutschen Nordseeküste. Berlin 1913.
20. HANSEN, F.: Das „Rillkollegium“ vom Gotteskoog. Die Heimat 46, 1, 1936.
21. HANSEN, F.: Am Nordzipfel des Gotteskoogsees. Die Heimat 46, 1, 1936 a.
22. HECK, H.-L.: Das Grundwasser im Zusammenhang mit dem geologischen Bau Schleswig-Holsteins. Berlin 1932.
23. HERRMANN, F.: Über den physikalischen und chemischen Aufbau von Marschböden und Watten verschiedenen Alters. Westküste, Kriegsheft 1943.
24. IWERSEN, J.: Das Problem der Kultivierung eingedeichter Watten. Die Küste 1, 1953.
25. IWERSEN, J.: Die Folgemaßnahmen im „Programm Nord“. Inform. Institut f. Raumforschung, Bonn 47—50, 1954.
26. JOHANNSEN, A.: Versalzung des Grundwassers. Flensburger Tageszeitung, März 1956.
27. KÖNIG, D.: Die Chromosomenverhältnisse der deutschen Salicornien. Planta, Arch. f. wiss. Botanik 29, 3, 1939.
28. KÖNIG, D.: Standortuntersuchungen auf einem Vorlandrasen an der schleswig-holsteinischen Westküste bei Husum. Biolog. Zentralblatt 68, 11/12, 1949.
29. LANGMAACK, J.: Bohrprofil bei der Genossenschaftsmeierei Rodenäs. Jb. Nordfr. Verein 5, 1908/9.
30. KOLUMBE, E., P. LEVSEN, OHLE und UTERMÖHL: Untersuchungen im Botschlotter See im Oktober 1937. Unveröffentlichter Bericht.
31. LEVSEN, P.: Vegetations- und Bodenwasseruntersuchungen im Kleiseerkoog. Unveröffentl. Bericht, 1942.
32. NIENBURG und KOLUMBE, E.: Das Neufelder Watt im Elbmündungsgebiet. Wiss. Meeresunters. Abt. Kiel 1931.
33. PETERSEN, M.: Die Versalzung der schleswig-holsteinischen Marschen in wasserwirtschaftlicher Sicht. Die Küste 1956.
34. RAABE, E. W.: Salzsäden in der nordfriesischen Marsch. Ztschr. Schleswig-Holstein 11, 1954.
35. SCHEER, K.: Die Bedeutung von Phragmites communis Trin. für die Fragen der Küstenbildung. Probleme der Küstenforschung im südl. Nordseegebiet, Band V, 1952.
36. STOCKER, O.: Beiträge zum Halophytenproblem II. Ztschr. f. Botanik 17, 1925.
37. STOCKER, O.: Salzpflanzen. Handwörterbuch d. Naturwiss., Jena 1933.
- SUHR, H.: Siehe unter Nr. 46, WEINNOLDT und SUHR, 1951.

38. THAMDRUP, E.: Untersuchungen über die Grundwasserverhältnisse auf Skalling. Medd. fra Skalling-Laboratoriet I, 1935.
39. TÜXEN, R.: Die Pflanzengesellschaften Nordwestdeutschlands. Mitt. Flor. soziolog. Arb.-Gem. Niedersachsen 3, 1937.
40. TÜXEN, R.: Ein einfacher Weg zur nachträglichen Feststellung von Entwässerungsschäden. Mitt. Flor.-soziolog. Arb.-Gem. NF 3, 1952.
41. VAN VEEN, J.: Die Versalzung der niederländischen Marschen und ihre Bekämpfung. Die Küste 1956.
42. VERHOEVEN, B.: Soil Moisture Studies in view of Salt Movement Control. North-Eastern Polder Admin., Kampen 1950. (Unveröffentl.)
43. VERHOEVEN, B.: Het wisselen op korte afstand van het chloorgehalte in geïnundeerde gronden. Landbouwkundig Tijdschrift 62, 4/5, 1950 a.
44. VERHOEVEN, B.: Over de Zout- en Vochthuishouding van geïnundeerde Gronden. Verslagen van Landbouwkundige Onderzoekingen 59, 5, 1953.
45. VERHOEVEN, B.: Ontzilting van gronden die met zout water overstroomd zijn geweest. Natuurkund. Voordrachten N.R. 32, 1954.
46. VRIES de, D. M. und ZIJLSTRA, K.: Over het plantkundig graslandonderzoek op vroegeren Zuiderzeebodem. Vlaamsch Nat.-en Geneeskdg. Congres Leuven 6—9, 1934.
47. VRIES de, D. M.: Plantengezelschappen als Kenteeken van het Keukenzoutgehalte van den Bodem. Nederl. Kruidkundig Arch. 45, 1935.
48. WEINNOLDT, E. und SUHR, H.: Wasserwirtschaft zwischen Nord- und Ostsee. Kiel 1951.
49. WOHLBERG, E.: Biologische Kulturmaßnahmen mit dem Queller (*Salicornia herbacea* L.) zur Landgewinnung im Wattenmeer. Westküste I, 2, 1938.
50. WOHLBERG, E. und PLATH, M.: Produktionsbiologische Untersuchungen auf eingedeichten Wattflächen. Die Küste II, 1, 1953.
51. WOHLBERG, E.: Bericht über den Stand der Untersuchungen im Gotteskoog. Amtlicher Bericht der Forschungsstelle Westküste vom 5. Oktober 1953. (Unveröffentl.)
52. WOHLBERG, E.: Das Watt schreibt unsere Geschichte. Ztschr. Ostfriesland 3, 1955.
53. WOHLBERG, E.: Salzwiesen am Porrendeich (Eiderstedt) 1941. (In Vorbereitung.)
54. ZUUR, A. J.: Over de ontzilting van den bodem in de Wieringermeer. 1938.
55. ZUUR, A. J.: Drainage and reclamation of lakes and of the Zuiderzee. Soil Science U.S.A., 74/1, 1952.
56. „Programm Nord“. Auswertung der moorstratigraphischen Aufnahmen im Gotteskoog. Amtliches Sitzungsprotokoll vom 11. März 1955. (Unveröffentl.)
57. „Versalzung des Gotteskooges und Quellervegetation nicht erwiesen.“ Kieler Nachrichten 292, S. 5, 15. Dez. 1954.

Die Versalzung der schleswig-holsteinischen Marschen in wasserwirtschaftlicher Sicht

Von Marcus Petersen

Inhalt

I. Einleitung	146
II. Bisherige Wasserregelung in der Marsch	146
1. Entwässerung durch Siele	146
2. Entwässerung durch Schöpfwerke	147
3. Versorgung mit Trink- und Tränkwasser	147
4. Artesische Brunnen	148
III. Folgen der bisherigen Regelung in den tief gelegenen Marschgebieten	148
1. Senkung des Grundwasserspiegels	148
2. Versalzung des Grundwassers	149
a) Biologische Untersuchungen	149
b) Geologische Untersuchungen	149
c) Hydrologische Untersuchungen	150
d) Umfang der Vegetationsschäden	150
IV. Maßnahmen gegen die Versalzung	151
1. Versickerung auf der Geest	151
2. Versickerung in der Marsch	151
3. Verschuß der artesischen Brunnen	152
4. Abriegelung der Bodenentnahmestellen hinter den Deichen	152
5. Neuanlage bzw. Verlegung der Wasserwerke	152
6. Versorgung der Inseln und Halligen	154
V. Schlußbemerkung	154
VI. Schriftenverzeichnis	155

I. Einleitung

Die Zunahme der Bevölkerung und der Industrie sowie die Intensivierung der Landwirtschaft lassen die Ansprüche an die Menge und die Güte des Wassers in beunruhigendem Maße wachsen. Auch der schmale Landstreifen Schleswig-Holstein zwischen der Nord- und Ostsee wurde von dieser Entwicklung erfaßt.

Die Steigerung der Lebensbedürfnisse sowie der industriellen und landwirtschaftlichen Erzeugung stellen hier erhebliche zusätzliche Anforderungen an die Wasserregelung für die Landwirtschaft und für die Trink- und Brauchwasserversorgung. Das trifft vor allem für die Marschen im Westen des Landes zu, von denen hier die Rede sein soll.

II. Bisherige Wasserregelung in der Marsch

1. Entwässerung durch Siele

Der Deichbau zwang schon frühzeitig zu einer Wasserregelung in den Marschen. Der durch jede Flut der Nordsee unterbrochene Abfluß des Binnenwassers bedingte die Anlage von sich selbsttätig schließenden und wieder öffnenden Gezeitensielen und Schleusen in den Seedeichen.

Die frühere Bewirtschaftungsweise der Marsch konnte es nicht verhindern, daß weite Gebiete über mehrere Tage oder gar Wochen vom Binnenwasser überschwemmt wurden. Diese Überschwemmungen waren (und sind zum Teil auch heute noch) möglich, wenn Perioden hoher Tideniedrigwasser bei Sturmfluten mit Perioden starker Niederschläge zusammenfielen. Dann konnte weder das Eigenwasser aus der Marsch selbst noch das durch die Marsch entwässernde, schnell hinzukommende Niederschlagswasser der hoch gelegenen Geest in die Nordsee abfließen. Es mußte also in den Marschniederungen aufgefangen und vorübergehend gespeichert werden. Da aber hier keine besonderen Speicherräume zur Verfügung standen, breiteten sich die Wassermassen mehr oder weniger weit über die Fennen aus.

Neuerdings erfordert eine intensive Nutzung der Marsch ein grundlegend anderes Verhältnis von Ackerland zu Grünland als bisher, wobei das Grünland mehr und mehr dem Acker weichen muß. Ackerboden verträgt keine Überschwemmungen. Außerdem muß der Grundwasserstand für Ackerland sehr viel niedriger gehalten werden als für Grünland. Infolgedessen muß das Binnenwasser von diesen Flächen, die bisher zeitweise und notgedrungen natürliche Speicherräume waren, ferngehalten werden. Die wasserwirtschaftlichen Anlagen wurden und werden jetzt darauf umgestellt, das Geestwasser über die meist bedachten Vorfluter unschädlich durch die Marsch hindurch an den Landesschutzdeich heranzuleiten, um es alsbald zusammen mit dem Niederschlagswasser in der Marsch durch Siele in die Nordsee abzugeben.

Diese Art der intensiven Wasserregelung in der Marsch erfordert also allgemein eine Senkung des Grundwasserspiegels. Damit ist aber ein mehr oder weniger starkes Setzen oder Sacken des Bodens verbunden, je nachdem wie stark der Wasserfaktor im Boden verkleinert wird und welcher Art der Boden ist. Das zeigt sich sehr deutlich im moorigen Gelände. In solchen Gebieten muß nach geraumer Zeit eine Korrektur der zunächst gewählten Sollwasserstände vorgenommen werden, um die seitens der Landwirtschaft gestellten Forderungen an die Wasserhaltung hinreichend erfüllen zu können.

In den tief gelegenen Marschgebieten ergibt sich schließlich die Notwendigkeit einer Senkung des Grundwasserspiegels mit Hilfe von Schöpfwerken.

2. Entwässerung durch Schöpfwerke

Wo Überschwemmungen von den Niederungen ferngehalten werden sollen, um diese landwirtschaftlich besser nutzen zu können, muß das Binnenwasser schnell fortgeschafft werden, insbesondere, wenn übermäßig viel Wasser anfällt. Da aber die Fließgeschwindigkeit im Vorfluter bei unveränderten Niedrigwasserständen der Nordsee einerseits und niedriger zu haltenen Wasserständen in den Kögen andererseits abnimmt, tritt schließlich der Fall ein, daß das Wasser an der Mündung des Vorfluters durch Pumpen künstlich gehoben werden muß. Meist werden mehrere Pumpen unterschiedlicher Leistungsfähigkeit in einem Schöpfwerk angeordnet, damit der Pumpbetrieb je nach dem Anfall des Binnenwassers möglichst wirtschaftlich gestaltet werden kann.

3. Versorgung mit Trink- und Tränkwasser

Eine weitere Beanspruchung der Menge und der Güte des Wassers betrifft die Versorgung der Marschen mit Trink- und Tränkwasser. Bis vor kurzem begnügte man sich mit einfachen Mitteln. Man benutzte das Oberflächenwasser aus den Gräben, Graften, Kuhlen und Fethingen zum Tränken des Viehs und teilweise auch als Trinkwasser, wenn keine Zisternen vorhanden waren. Gegen die bekannten Verunreinigungen auch der Zisternen waren die Bewohner der

Marsch sicherlich bis zu einem bestimmten Grade immun. Außerdem wurde das Trinkwasser vor dem Gebrauch gekocht. Wie weit Krankheiten auf den Genuß solchen Wassers zurückzuführen waren, dürfte heute kaum noch feststellbar sein. THIELE und RATSCHKO (1954) haben die Mängel einer Trinkwasserversorgung aus Zisternen und Gräben für die schleswig-holsteinische und SCHEMEL (1950) auch für die niedersächsische Marsch aufgezeigt.

Mit der Zunahme der Bevölkerung und der Steigerung der Ansprüche an das Wasser machten sich, besonders in niederschlagsarmen Zeiten wie im Spätsommer des Jahres 1947 (HECK, 1948; WEINNOLDT und SUHR, 1951) gleich zwei Engpässe bemerkbar. Es reichte weder die Menge, noch genügte die Güte des Wassers.

Brauchbares Grundwasser kann unter der verhältnismäßig dünnen Kleidecke der Marsch nur noch an wenigen Stellen, nämlich in der Nähe des Geestrandes erschlossen werden.

4. Artesische Brunnen

In verschiedenen Gebieten hat eine nennenswerte Verlagerung der Gefälleverhältnisse durch unsachgemäße Grundwasser-Erschließungen stattgefunden (HECK, 1948). Beim Bohren nach gutem Grundwasser in der Nähe des Geestrandes hatte man Wasser gefunden, das ohne Benutzung einer Pumpe über Flur frei austrat. Diese Wasserversorgung zeigte sich so preisgünstig, daß einzelne landwirtschaftliche Betriebe bis zu dreißig und mehr sogenannte artesischen Brunnen schlagen ließen. Das Wasser wird als Trink- und Tränkwasser, als Kühlwasser in Milchkellern, ja sogar zum Füllen von Parzellengräben benützt, um Kosten für Einzäunungen zu sparen. Daß es nachher zum Teil durch die Schöpfwerke künstlich wieder entfernt werden muß, trägt zur Erhöhung der Pumpkosten bei. Diese werden ja aber von einer größeren Gemeinschaft getragen. Da es sich in den meisten Fällen um eine Wasserverschwendung handelt, fand in den letzten Jahren eine planmäßige Kartierung der Brunnen mit dem Ergebnis statt, daß in der schleswig-holsteinischen Marsch aus 1100 Brunnen schätzungsweise 50 000 m³/Tag laufend, ohne Unterbrechung frei austreten (VINCK, 1955 a und 1955 d). Von dieser Menge könnte eine Großstadt von 500 000 Einwohnern versorgt werden, wenn wir den Bedarf mit 100 Liter je Kopf und Tag zugrunde legen. Weiter konnte festgestellt werden, daß sich die Ergiebigkeit von artesischen Brunnen stellenweise infolge ihrer übermäßig großen Anzahl auf kleinem Raum erheblich verminderte. Der Druck des süßen Grundwassers (hohe Geest — niedrige Marsch) ließ infolge des frei ausfließenden artesischen Grundwassers nach und das salzige Grundwasser konnte nach dem Prinzip der kommunizierenden Röhren allmählich weiter auf die Geest zurücken.

III. Folgen der bisherigen Regelung in den tief gelegenen Marschgebieten

Die Oberfläche der Marsch breitet sich keineswegs so eben aus, wie sie meist empfunden wird. Die jüngsten Köge liegen bis 2 m über dem mittleren Meeresspiegel (etwa auf NN). Auch die dithmarscher und ein Teil der eiderstedter Marschen haben etwa diese Höhenlage. Nach Norden fällt die Marsch dagegen stellenweise bis etwa NN — 1,50 m und die Elbmarschen im Süden sogar bis über NN — 2 m ab (vgl. Höhenplan der Marschen und Watten Schleswig-Holsteins bei PETERSEN, 1954).

1. Senkung des Grundwasserspiegels

Die mit der stärkeren Nutzung der Marschen verbundene Senkung des Grundwasserspiegels brachte in Schleswig-Holstein im großen und ganzen die erhofften Vorteile für die land-

wirtschaftlichen Betriebe. Lediglich in den unter dem Meeresspiegel gelegenen Gebieten der nordfriesischen und eiderstedter Marsch mit salzigem Grundwasser stellten sich Vegetationsschäden dort ein, wo die Kleidecke nur wenige Dezimeter beträgt oder gar nicht vorhanden ist.

2. Versalzung des Grundwassers¹⁾

Im allgemeinen stößt man in der Marsch auf salziges Grundwasser. Diese Tatsache allein braucht noch nicht zu beunruhigen, solange keine Schäden durch Salzwasser auftreten.

a) Biologische Untersuchungen

Aus dem Jahre 1927 haben wir eine Beobachtung zu vermerken, die zunächst nur einigen wenigen Forschern bekannt wurde: LEVSEN fand [nach RAABE (1954)] erstmalig Salzpflanzen in den Bongsieler Kögen. Auch CHRISTIANSEN und STEINBERG stellten Untersuchungen über die Binnenlandsalzwiesen an²⁾.

Unabhängig von diesen Untersuchungen begann die Forschungsstelle Westküste den Fragen nach Ursache und Wirkung der Versalzung planmäßig nachzugehen. WOHLBERG (1941) untersuchte 1938 die Binnendeichsalzwiesen im eiderstedter Adolfskoog zwischen Simonsberg und Ülvesbüll in biologischer und hydrographischer Hinsicht. Um dieselbe Zeit rückten auch der Aventofter See und besonders der Gotteskoogsee in das Blickfeld. Die Inbetriebnahme von Schöpfwerken brachte die angestrebte Senkung der Seespiegel, und die vom Wasser freigegebenen Marschflächen konnten in Kultur genommen werden. Mit dem Senken des Wasserspiegels verschwanden dann die Reth- und Binsenbestände; sie wurden zum Teil aber von Salzpflanzen verdrängt. Diese Entwicklung zeichnete sich schon vor dem Kriege deutlich ab und veranlaßte den damaligen Oberpräsidenten der Provinz Schleswig-Holstein, die Forschungsabteilung Westküste beim Marschenbauamt Husum mit der planmäßigen Wasser- und Bodenuntersuchung im Gotteskoog-Gebiet zu beauftragen. Die Ergebnisse der biologischen und bodenkundlichen Untersuchungen finden wir in dem Aufsatz von WOHLBERG in diesem Heft.

Ferner liegen pflanzensoziologische Kartierungen nordfriesischer Grünlandflächen mit Versalzungsanzeichen unveröffentlicht im Botanischen Institut der Universität Kiel, welche im Rahmen der ERP-Grünlandkartierung in den Jahren 1951—1953 durchgeführt wurden.

Eine Übersichtskarte der Vegetation der Insel Pellworm, welche zahlreiche und z. T. umfangreiche Salzstellen enthält, wurde von KÖNIG in den Jahren 1952/53 als Vergleichsgrundlage angefertigt. Sie befindet sich im Landesamt für Wasserwirtschaft — Dezernat Gewässerkunde — in Kiel.

b) Geologische Untersuchungen

Die geologischen Grundlagen für die Beurteilung des Salzproblems in den schleswig-holsteinischen Marschen verdanken wir der langjährigen Tätigkeit des Geologen beim Marschenbauamt Husum — Forschungsstelle Westküste —, E. DITTMER (1956³⁾). Voraussetzung für die richtige und zutreffende Beurteilung der Grundwasserverhältnisse in einem bestimmten Marschgebiet ist die Kenntnis der Tiefenstruktur des Grundwasser-Speicherraums, seiner Größe und Lage und weiter des Zuflusses an Grundwasser. Die Kleidecke der Marsch gilt für die Versickerung von Niederschlagswasser nahezu als undurchlässig. Sie ist im Westen der schleswig-holsteinischen Marsch im allgemeinen am mächtigsten und streicht nach der Geest zu keilförmig aus. In den früheren Seegebieten des Gotteskooges und bei Aventoft fehlt der Klei stellenweise ganz; hier treten die diluvialen Sande und der Torf unmittelbar an die Oberfläche. Unter der Kleidecke befinden sich die Grundwasserleiter aus diluvialen Sanden und Kiesen. Sie haben

¹⁾ Die Versalzung durch Salzstöcke ist hier nicht behandelt.

²⁾ Vgl. den Aufsatz von CHRISTIANSEN und STEINBERG in diesem Heft.

³⁾ Vgl. den Aufsatz von DITTMER in diesem Heft.

einerseits Verbindung mit der hohen sandigen Geest und werden von hier mit Süßwasser gespeist, andererseits stehen sie in unmittelbarer Verbindung mit der Nordsee. Zehn bis dreißig und mehr Meter tief in die Watten eingekerbte Stromrinnen reichen bis nahe an die Deiche des Festlands und der Inseln und bringen das salzige Nordseewasser in die unmittelbare Nähe der Marsch.

c) Hydrologische Untersuchungen

In Nordfriesland ist offensichtlich das verhältnismäßig labile Gleichgewicht der Salz-Süßwassergrenze erheblich gestört worden, als das Gefälle bzw. der Druck des von Westen vordringenden Salzwassers durch die künstliche Absenkung des Grundwassers in der bedeihten Marsch vergrößert wurde. Auf der andern Seite kann eine gewisse Schwächung des hydrostatischen Süßwasserdrucks von der Geest her durch die vermehrte Entnahme von Grundwasser für die Wasserversorgung, durch die artesischen Brunnen sowie durch die verkürzte Aufenthaltszeit des Niederschlagswassers auf der Geest erklärt werden, wovon wiederum eine geringere Versickerungsmöglichkeit abhängt.

Die Beträge, die für das natürliche Ansteigen der Nordsee-Wasserstände in die Rechnung eingeführt werden können, sind klein. Dieser überörtliche Vorgang konnte erst in jüngster Zeit durch Auswertung von langjährigen Wasserstandsbeobachtungen erkannt werden. Mit dem bloßen Auge kann man eine solche Entwicklung nicht wahrnehmen (LÜDERS, 1936; HENSEN, 1938; HAHN und RIETSCHEL, 1938; GAYE, 1951).

Wenn auch die einzelnen Faktoren gering sein mögen, so kann ihr Zusammenwirken in ein und derselben Richtung im Laufe der Zeit doch eine wesentliche Verschiebung der Grenze Süßwasser — Salzwasser verursachen.

Hinzu kommt, daß die tägliche und jahreszeitliche Ungleichheit der Wasserstände an der Nordseeküste hydrodynamisch und un stetig auf die Gleichgewichtslage der Salz-Süßwassergrenze einwirkt. Das Gefälle von West nach Ost, d. h. von See nach Land, war früher nur gelegentlich, nämlich bei erhöhten Außenwasserständen, vorhanden, also zu Zeiten, in denen im allgemeinen auch reichlich Niederschläge fielen und die Marschen teilweise überstaut waren. Heute besteht infolge der künstlichen Absenkung des Grundwassers für die niedrig gelegenen Gebiete ein dauernder Höhenunterschied zwischen Außen- und Binnenwasserstand bis zu etwa 2 m, der sich bei MThw auf etwa 3,50 m und bei höchsten Sturmfluten bis zu etwa 7 und 7,5 m erhöhen kann. VINCK (1955c) und MAGENS (1955) konnten durch Untersuchungen an verschiedenen Beobachtungsstellen den Einfluß der Tide auf den Grundwasserstand in den Kögen der Marsch erklären. Die höheren Außenwasserstände wirken stärker als die unter dem mittleren Grundwasserstand liegenden. Der Einfluß steigt mit der Größe des Druckes und der Belastungsfläche und mit der Dauer des Druckgefälles.

d) Umfang der Vegetationsschäden

Über den Umfang der mit Salzpflanzen bestandenen Gebiete wurden Erhebungen angestellt, um die Bedeutung für landwirtschaftliche Nutzflächen abschätzen zu können.

Dabei handelt es sich um Flächen von zusammen etwa 750 ha. Verglichen mit der 219 000 ha großen Marschfläche (ohne die Elbmarschen) und verglichen mit den früheren großen Überschwemmungsgebieten, zu denen diese tiefgelegenen Teile wohl ausnahmslos gehörten, braucht uns die Zahl von 750 ha zur Zeit nicht sonderlich zu beunruhigen.

In zahlreichen Arbeiten haben Wissenschaftler das Problem der Grundwasserversalzung in den tief gelegenen schleswig-holsteinischen Marschen unmittelbar oder mittelbar behandelt. Die wichtigsten Beiträge sind in den Schriftenverzeichnissen von WOHLBERG (1956) für die biologisch-chemisch-bodenkundliche Seite, von DITTMER (1956) für die geologische und vom Verfasser in diesem Aufsatz für die hydrologisch-wasserwirtschaftliche Seite mitgeteilt.

Zusammenfassend können wir danach feststellen, daß die Entwicklung bis zum heutigen Zustand erkannt ist. Ebenfalls haben wir eine Vorstellung von der wirtschaftlichen Bewertung der Grundwasserversalzung gewonnen. Zweifellos haben menschliche Eingriffe in den natürlichen Wasserhaushalt den Vorgang gefördert und beschleunigt.

IV. Maßnahmen gegen die Versalzung

Aus dieser Erkenntnis ergibt sich die Verpflichtung, der Grundwasserversalzung entgegenzuwirken, wo es eben möglich ist. Denn es ist noch keineswegs zu übersehen, wieweit räumlich die Versalzung im Extrem fortschreiten kann und welche natürlichen unterirdischen Süßwasserspeicher dabei in Mitleidenschaft gezogen werden können. Deshalb hat das Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Schleswig-Holstein — Abteilung Wasserwirtschaft — bereits im Jahre 1951 gefordert, daß „*die vom Standpunkt der Landwirtschaft dringend erforderliche Entwässerung der tiefgelegenen Marschen*“ Rücksicht zu nehmen habe „*auf die Gefahren des Salzwasseranstieges aus dem nur in geringer Tiefe unter der Oberfläche der Marsch anstehenden salzigen Grundwasser*“ (WEINNOLDT und SUHR, 1951).

Folgende Verfahren sind geeignet, der Versalzung entgegenzuwirken:

1. Versickerung auf der Geest

Es ist richtig, daß das schädliche Binnenwasser in niederschlagsreichen Zeiten abgeführt werden muß. Aber es sollte so langsam wie möglich geschehen. Leider läßt die Bodenform im Westen des Landes Schleswig-Holstein die Anlage von Talsperren nicht zu. Um das Wasser auf lange Sicht sinnvoll bewirtschaften zu können, wird der normale Abfluß von der Geest durch Stauanlagen auch in den kleinsten Geestwasserläufen gebremst werden müssen. Der längere Aufenthalt des Wassers auf der Geest fördert die Versickerung in den Untergrund und damit die Grundwasserneubildung, begünstigt die Verdunstung und verringert damit den Abfluß (Mengenverhältnisse anzugeben, ist heute noch nicht möglich). Stauanlagen haben weiter den Vorteil, daß sie die unerwünschte Ausräumung eines Gewässerbettes (Erosion) verhindern.

2. Versickerung in der Marsch

Möglichkeiten zur Versickerung von Oberflächenwasser in den Untergrund bieten sich in niedrig gelegenen Gebieten ohne oder mit geringer Kleidecke, indem solche Gebiete als Süßwasserspeicherbecken ausgewiesen, hergerichtet und betrieben werden. Dabei wäre ein möglichst hoher Wasserstand in den Becken — mindestens für die Dauer der Trockenzeiten — anzustreben. Der Wasserspiegel sollte nicht unter NN + 0,20 m abfallen, um möglichst lange ein starkes hydrostatisches Gefälle zum Tidemittelwasser (vor der schleswig-holsteinischen Westküste = etwa NN ± 0,0 m) hin zu erhalten.

Beispiele: Bottsclotter See bei Bongsiel,

das Gotteskoog-Gebiet,

die geplanten Speicherbecken westlich von Bongsiel,

Speicherbecken in der Eidermündung nach dem Vorschlag von KREY (1926), das etwa den niederländischen Maßnahmen im Rahmen des Deltaplanes ähneln würde (vgl. VAN VEEN, in diesem Heft).

Auf Anregung von DITTMER wurde geprüft, ob das Niederschlagswasser in der Marsch künstlich versickert werden könne und ob damit große Süßwasserspeicher im sandigen

Untergrund geschaffen werden könnten⁴⁾. Dabei wurde weiter untersucht, ob eine Entlastung der Entwässerungsanlagen wie Siele und Schöpfwerke durch Versickerung, insbesondere bei Binnenhochwasser, erreichbar sei. Der Versuch mußte leider mit negativem Erfolg abgebrochen werden, da die Brunnenfilter nach kurzer Zeit verschlammten, wie DITTMER (1956) selbst feststellen konnte, weil das versickerte Wasser zu viele tonige Bestandteile enthielt.

3. Verschuß der artesischen Brunnen

Inzwischen wurden Maßnahmen eingeleitet, die auf den Verschuß der Laufbrunnen bzw. die Regelung der Entnahme abzielen. Da das Verschließen vor allen Dingen bei beschädigten oder zerstörten Brunnenrohren auf Schwierigkeiten stoßen kann, stellte VINCK (1955b) mehrere Vorschläge zur Diskussion.

4. Abriegelung der Bodenentnahmestellen hinter den Deichen

Bodenentnahmestellen für Deichverstärkungen werden meist unmittelbar hinter den Landeschutzdeichen angeordnet. Ein sogenanntes „Püttloch“ entsteht dadurch, daß zunächst die Kleidecke und dann der Sand bis beispielsweise 5 und 10 m Tiefe abgebaut wird, so daß nachher das salzige Grundwasser diesen Raum beherrscht; denn der Grundwasserleiter steht ja mit dem Meerwasser unmittelbar in Verbindung. Da der Abfluß des Salzwassers in das Grabensystem und nach den Schöpfwerken hin nicht erwünscht ist, müssen solche „Püttlöcher“ als abgeschlossene Becken, d.h. ohne Abfluß, ausgebildet werden, eventuell mit niedrigem Ringdeich umgeben. Dasselbe kann für solche Wehlen zutreffen, die schon vor Jahrhunderten bei Sturmfluten durch Fortspülen des Deiches und seines Fundaments entstanden und die heute noch mit salzigem Wasser gefüllt sind.

5. Neuanlage bzw. Verlegung der Wasserwerke

Im Hinblick auf das Vordringen der Grundwasserversalzung in die Bereiche der in der Marsch gelegenen Wasserwerke und auf die Versorgung der gesamten Marsch mit gutem Trink- und Brauchwasser wurde es notwendig, die Standorte der Wasserwerke zu überprüfen. Man kam zu dem Ergebnis, daß der durch vermehrte Entnahme gestörte hydrostatische Süßwasserdruck von der Geest in die Marsch u. a. dann wieder verbessert werden kann, wenn die Wasserwerke zum Teil wesentlich weiter nach Osten auf die Geest verlegt werden.

Die Marsch von der Geest aus mit gutem Trink- und Brauchwasser für Mensch und Vieh zu versorgen, ist eine Notwendigkeit, die sich auch aus den zunehmenden Ansprüchen an das Wasser überall ergibt (WITT und PETERSEN, 1955). Dazu dienen Gruppenwasserversorgungen. Sie machen die Trinkwasserversorgung der Marsch unabhängig von dem versalzten Grundwasser.

Durch die Fernwasserleitungen kann gleichzeitig im Bedarfsfall eine ausreichende Menge guten Wassers auch für die Bewässerung der Äcker und Weiden zur Verfügung gestellt werden. Als Bewässerungsverfahren in der Marsch verdient die künstliche Beregnung vor allen anderen

⁴⁾ Nach dem Aufsatz von VAN VEEN in diesem Heft werden in den Niederlanden außerordentliche Leistungen auf diesem Gebiet vollbracht. Über eine Entfernung von 46 und 80 km wird Rheinwasser in die *Dünen* bei Den Haag gepumpt und dort versickert.

Verfahren den Vorzug. Der Einstau von Süßwasser aus den Vorflutern in die Gräben dürfte bei drainiertem Ackerland kaum zu empfehlen sein, da mit einer Verstopfung gerechnet werden muß. Der Einstau von Salzwasser ist für Pflanzen und Vieh gefährlich. Wie weit das Wasser in den Süßwasser-Speicherbecken oder Vorflutern zur Beregnung verwendet werden kann, muß von Fall zu Fall besonders geprüft werden, wie Versuche in den Niederlanden gezeigt haben (vgl. VAN VEEN in diesem Heft).

An der schleswig-holsteinischen Westküste werden jetzt Gruppenwasserversorgungen und Wasserwerke nach geologischer Beratung durch die Forschungsstelle Westküste von den Wasserbeschaffungsverbänden Zug um Zug ausgebaut. Alte Wasserwerke, die für kleinere Abnehmerkreise und ohne Wissen um das Vordringen der Salz-Süßwassergrenze erstellt worden sind, werden zum Teil von den größeren Verbänden übernommen. Von Norden nach Süden reihen sich die Wasserwerke etwa wie folgt aneinander:

Dreiharden (Kreis Südtondern). Versorgung des Gebietes „Programm Nord“.

Vorgesehene Förderung etwa 1 700 000 m³.

Nieüll in Lindholm (Kreis Südtondern) wird stillgelegt, da bei verstärkter Förderung die Gefahr der Versalzung besteht (284 000 m³)⁵⁾.

Bredstedt (Kreis Husum). Nach mündlicher Mitteilung von DITTMER wird der Bedarf aus einem Vorkommen gedeckt werden können, das neuerdings einige Kilometer östlich des Wasserwerks erbohrt wurde. Die Untersuchungen sind noch nicht abgeschlossen (123 000 m³).

Husum beliefert das Stadtgebiet und die nähere Umgebung einschließlich Finkhaushallig (1 148 000 m³).

Platenhörn (Kreis Eiderstedt) versorgt die Stadt Tönning (166 000 m³). Da die Salz-Süßwassergrenze nur 1,5 km vom Wasserwerk entfernt liegt, mußte das Wasserwerk für die Wasserversorgung des Kreises Eiderstedt nach

Rantrum auf die Geest des Kreises Husum gelegt werden.

Tating (Kreis Eiderstedt) lediglich für das Dorf Tating und den Tümlauer Koog (18 000 m³).

Es soll von der Gruppenwasserversorgung Eiderstedt übernommen werden.

Lunden-Hennstedt und Umgebung (Kreis Norderdithmarschen) versorgte 1955 neun Gemeinden und Friedrichstadt mit zusammen 11 750 Einwohnern und 12 600 Großvieheinheiten (125 000 m³, 1956 etwa das Dreifache).

Borgholz (Kreis Norderdithmarschen) beliefert die Stadt Wesselburen, das Nordseebad Büsum und einen größeren Teil des Kreises in der Marsch. Auch hier liegt die Salz-Süßwassergrenze nur 1,5 km vom Wasserwerk entfernt, so daß die Leistungsfähigkeit begrenzt bleiben wird (JOHANNSEN, 1954).

Heide und Süderholm gehören der Stadt Heide (818 000 m³).

Nordhastedt (Kreis Norderdithmarschen). Industrie-Wasserwerk der Deutschen Erdöl AG (DEA) in Hemmingstedt (1 500 000 m³).

Meldorf (Kreis Süderdithmarschen) unterliegt ebenfalls der Versalzungsgefahr. Die Erschließung eines leistungsfähigen Wasservorkommens ist in Vorbereitung (250 000 m³).

St. Michaelisdonn (Kreis Süderdithmarschen) versorgt die Stadt Marne und einige benachbarte Köge (326 000 m³).

Kudensee (Kreis Süderdithmarschen) für Brunsbüttel und einen kleinen Teil der Wilstermarsch (11 000 m³). Die Verlegung auf die Geest und Erweiterung für Süderdithmarschen ist vorgesehen. Die Vorarbeiten sind noch nicht abgeschlossen.

Wilster (Kreis Steinburg) (206 000 m³) beliefert die Stadt Wilster und die nördliche Wilstermarsch zusammen mit Kudensee.

⁵⁾ Die eingeklammerten Werte bedeuten die Jahresförderung 1955.

Glückstadt in Kremperheide (Kreis Steinburg) versorgt Glückstadt und den Wasserbeschaffungsverband „Unteres Störgebiet zu Beidenfleth“, d. h. den südlichen Teil der Wilstermarsch (1 380 000 m³).

Horstmühle (Kreis Steinburg) wird die Krempermarsch bedienen.

Elmshorn (Kreis Pinneberg) beliefert Elmshorn und die Seestermüher Marsch (1 493 000 m³).

Haseldorfer Marsch (Kreis Pinneberg) ist in Vorbereitung für 9500 Einwohner.

Wenn sämtliche Wasserwerke und Rohrnetze nach frühestens zehn Jahren fertiggestellt sein werden, wird die Festlandsmarsch gut mit Wasser versorgt sein. Die Anzahl der Wasserwerke ist verhältnismäßig groß, aber durchaus in dem Wasservorkommen begründet. Eine Konzentration der Entnahme an einer Stelle würde den offensichtlich begrenzten Vorrat an Grundwasser in weitaus stärkerem Maße in Anspruch nehmen als hier Grundwasser überhaupt neu gebildet werden kann, so daß Wasserklemmen folgen müßten.

6. Versorgung der Inseln und Halligen

Eine besondere Regelung ist für die Inseln und Halligen erforderlich. Während auf Sylt die Wasserwerke Westerland und Kampen ebenfalls am Geestrand liegen, fördern die Werke List und Hörnum Dünenwasser. Die Insel Föhr wird ihren Bedarf durch Verteilung der Entnahmen an mehreren Orten des Geestkernes decken müssen, da sonst auch hier mit der Gefahr der Versalzung gerechnet werden muß. Für die Insel Nordstrand ist eine Gruppenwasserversorgung in Vorbereitung, welche das Wasser von der Stadt Husum beziehen soll. Schwierig wird die Versorgung der Insel Pellworm, die nur von einem Wasserwerk auf dem Festland beliefert werden kann. Planungen zielen darauf hin, elastische Kunststoffrohre durch das Watt und den Wattstrom Norder Hever zu verlegen. Ob die Hoffnungen, die an diese Möglichkeit geknüpft werden, sich erfüllen, muß noch durch eingehende Untersuchungen geklärt werden. Soweit die Halligen durch Dämme mit dem Festland verbunden sind, wird der Verlegung von Rohrleitungen, eventuell aus Kunststoffen, nichts im Wege stehen. Die übrigen Halligen werden sich vorerst noch weiter in der herkömmlichen Weise des Regenwassers bedienen müssen.

Ob sich die verhältnismäßig hohen Kosten für die Versorgung der Inseln und Halligen mit Süßwasser durch Entsalzung des Meerwassers ermäßigen lassen, wird unter Umständen von der Entwicklung der Entsalzungsverfahren abhängen. Technisch ist dieses Problem bereits auf verschiedene Weise gelöst worden (VINCK, 1953 und 1956). Als Anhalt für die Kosten zum Entsalzen von Meer- und Brackwasser gibt PRESSEL (1956) für deutsche Verhältnisse Beträge von 1,00 bis 1,50 DM je m³ Wasser an. Die Entwicklung werden wir auch auf diesem Gebiete mit der nötigen Umsicht weiter zu beobachten haben.

V. Schlußbemerkung

Da niemand die weitere Entwicklung der Versalzung abschätzen kann, muß den Grundwasserbeobachtungen weiterhin erhöhte Aufmerksamkeit gewidmet werden. Die Veränderungen der Salz-Süßwassergrenze sind auch in Zukunft sehr sorgfältig zu verfolgen.

Die Aufenthaltszeit des Wassers auf dem Land und im Boden ist infolge der Beschleunigung des Abflusses von starken Niederschlägen zu kurz geworden. Das bedeutet eine Verlängerung der Wassermangelzeiten. Aufgabe der verantwortlichen Fachleute ist es, sich über die vorteilhaften und nachteiligen Wirkungen der geplanten und ausgeführten Maßnahmen Klarheit zu verschaffen.

Die entscheidende Frage, welche Lösung die volkswirtschaftlich günstigste ist, wird man sich allerdings immer wieder von neuem vorlegen müssen. Nach herkömmlichen privatkapitalistischen Gesichtspunkten ist den großen wasserwirtschaftlichen und landeskulturellen Problemen nicht mehr beizukommen. Insofern hat auch hier eine grundlegende Verschiebung der Werte und Maßstäbe stattgefunden. Als wichtigster Faktor bleibt in jedem Falle zu bedenken, welche Lösung von der Natur ohne Überraschungen für uns angenommen wird. Dies setzt eine sorgfältige planmäßige Beobachtung der Naturvorgänge voraus.

VI. Schriftenverzeichnis

1. CHRISTIANSEN, W. und STEINBERG, K.: Binnenlandsalzwiesen der nordfriesischen Marsch. Die Küste 1956.
2. DITTMER, E.: Entwässerung der Marsch durch Sickerbrunnen? Wasser und Boden, H. 9, S. 310 bis 311, 1956.
3. DITTMER, E.: Die Versalzung des Grundwassers an der schleswig-holsteinischen Westküste. Die Küste 1956.
4. FISCHER, O.: Das Wasserwesen an der schleswig-holsteinischen Nordseeküste, III. Teil, Das Festland, 7, Hydrographie des Küstengebietes. Berlin 1955.
5. GAYE, J.: Die Wasserstandsänderungen in der Ostsee und in der Nordsee in den letzten hundert Jahren. Die Wasserwirtschaft, Sonderheft, S. 1—5, 1951.
6. HAHN u. RIETSCHEL: Langjährige Wasserstandsbeobachtungen an der Ostsee. IV. Balt. Hydrolog. Konf. Deutschland, Hauptbericht 13, 1938.
7. HECK, H.-L.: Das Grundwasser im Zusammenhang mit dem geologischen Bau Schleswig-Holsteins. Berlin 1932.
8. HECK, H.-L.: Die hydrogeologischen Grundlagen für die künftige Wasserwirtschaft in Schleswig-Holstein. Das Gas- und Wasserfach 89, H. 5, S. 145—151, 1948.
9. HENSEN, W.: Über die Ursachen der Wasserstandshebungen an der deutschen Nordseeküste. Die Bautechnik, S. 8—11, 1938.
10. JOHANNSEN, A.: Hydrogeologische Übersichtskarte 1:500 000, Blatt Schleswig. Remagen 1954.
11. KREY, H. D.: Gutachten über die zweckmäßigste Lösung der Eiderabdämmung. Unveröffentl. Bericht vom 25. 10. 1926.
12. LÜDERS, K.: Über das Ansteigen der Wasserstände an der deutschen Nordseeküste. Zentralblatt d. Bauverw., S. 1386, 1936.
13. MAGENS, C.: Über den Einfluß der Gezeiten auf das Grundwasser. Die Wasserwirtschaft, H. 11, S. 277—279, 1955.
14. PETERSEN, M.: Über die Grundlagen zur Bemessung der schleswig-holsteinischen Landesschutzdeiche. Die Küste 3, 1/2, S. 153—180, 1954.
15. PRESSEL, F.: Die Verfahren zum Entsalzen von Meer- und Brackwasser. VDI-Zeitschr. 98, 1, S. 9—13, 1956.
16. RAABE, E. W.: Salzsäuren in der nordfriesischen Marsch. Monatsschr. Schleswig-Holstein, H. 11, 1954.
17. SCHEMEL, R.: Wasserversorgung der deutschen Marschengebiete. Das Gas- und Wasserfach 91, H. 20, S. 1—6, 1950.
18. STOESSEL, H.: Die Versorgungswasserwirtschaft in Schleswig-Holstein im Zusammenhang mit der wirtschaftlichen Entwicklung. Das Gas- und Wasserfach 95, H. 10, S. 310—315, 1954.
19. THIELE, H. u. RATSCHKO, H.: Über Trinkwasser aus Zisternen. Ztschr. f. Hygiene 138, S. 332 bis 356, 1954.
20. VEEN, J. van: Die Versalzung der niederländischen Marschen und ihre Bekämpfung. Die Küste 1956.
21. VINCK, Fr.: Neue Wege der Wasserversorgung in den Marschen? Bauamt und Gemeindebau, H. 11, S. 347—48, 1953.
22. VINCK, Fr.: Ursachen, Umfang, Bedeutung und Bekämpfung der Grundwasserversalzung in Schleswig-Holstein. Bes. Mitt. z. Deutschen Gewässerkundl. Jahrb. Nr. 12, S. 45—53, 1955a.
23. VINCK, Fr.: Artesische Brunnen ... eine Gefahr für den Grundwasserschutz. Bohrtechnik-Brunnenbau, H. 10, 1955b.

24. VINCK, Fr.: Über den Einfluß der Tide auf den Grundwasserstand. Die Wasserwirtschaft, H. 5, S. 131—133, 1955c.
25. VINCK, Fr.: Wie kann sich die Gemeinde ihren Wasserschatz erhalten? Bauamt und Gemeindebau, H. 5, 1955, und die Niedersächsische Landgemeinde Nr. 4/5, 1955.
26. VINCK, Fr.: Kosten der Wasserentsalzung. Gesundheits-Ingenieur, H. 15/16, S. 257—258, 1956.
27. WEINNOLDT, E. u. SUHR, H.: Wasserwirtschaft zwischen Nord- und Ostsee. Kiel 1951.
28. WITT u. PETERSEN, M.: Wasserwirtschaftliche Probleme Schleswig-Holsteins im Rahmen der Landesplanung. Raumforschung und Raumordnung, H. 2, 1955.
29. WOHLBERG, E.: Bericht über den Stand der Untersuchungen im Gotteskoog. Unveröffentl. Bericht v. 5. 10. 1953.
30. WOHLBERG, E.: Die Versalzung im Gotteskoog (Nordfriesland) nach biologischen und chemischen Untersuchungen. Die Küste 1956.
31. WOHLBERG, E.: Salzwiesen am Porrendeich (Eiderstedt) 1941. (In Vorbereitung.)