

Die Entwicklungsgeschichte der Flora der holländischen Dünen.

Von
Jakob Jeswiet, Haarlem.

Mit Tafel XIV bis XVI und 9 Abbildungen im Text.

Einleitung.

Die Existenz zweier Floren in den Dünen, einer Heideflora und einer echten Dünenflora, hat wiederholt die Aufmerksamkeit der Forscher auf sich gezogen und mancherlei Erklärungsversuche veranlaßt.

Der Geologe STARING (1856) war der erste, der sich darüber äußerte. Bei der Besprechung der Vegetation von Huisduinen sagt er, daß diese so viel Übereinstimmung mit derjenigen der diluvialen Heiden im Osten des Landes zeigt, daß man sich dorthin versetzt glaube. In dieser Übereinstimmung sieht STARING einen Beweis für eine diluviale Natur dieses Bodens, auch von Texel und Ameland. Auch KOPS (1798) hatte bereits mehrfach, so beim Besprechen des heutigen „Zwanewaters“ und der Dünen von Bergen, auf das Vorkommen der Heidevegetation hingewiesen. An anderen Stellen erwähnte er das Vorkommen und das Fehlen von Kalk, ohne aber den Zusammenhang zwischen diesem Faktor und der Dünenvegetation zu ahnen. LE FRANCO VON BERKHEY (1774) hatte drei Regionen nebst den sie charakterisierenden Floren unterschieden, aber seine Einteilung war eine topographische, wodurch die Elemente der beiden Floren durcheinander gemischt erscheinen.

A. P. DE CANDOLLE (1779) unterschied die „Dunes stables, Dunes mobiles, Dunes intérieures, Dunes de sable, Vallons humides, Vallons secs, Bruyères des Dunes“ etc. und sagt einmal „*Convallaria Polygonatum* dans les dunes postérieures de Haarlem; les dunes y sont plus consistantes que d'ordinaire“. Weiter „*Erica tetralix* dans les dunes intérieures“. Keine der hinzugefügten Bemerkungen zeigt aber, daß die zwei Floren als solche seine Aufmerksamkeit erregt haben.

Es ist vor allem VAN EEDEN, welcher sich in seinen vielen, über die Dünenflora publizierten Arbeiten die Mühe gibt, den Unterschied der beiden Floren hervorzuheben. Auch er betrachtet

die Heidevegetation der Dünen als eine diluviale Flora und versucht ihre Verbreitung darzustellen. Leider benützt er für die Erklärung der mit großer Klarheit beschriebenen tatsächlichen Verhältnisse eine durchaus nicht bestätigte Vorstellung über den Lauf des Rheins durch Nordholland und die Hypothese einer stellenweisen Verbreitung von diluvialen Böden, welche gleichfalls nicht bewiesen ist. Denn LORIÉ (1893) hat klar gezeigt, daß die Dünen zwischen Texel und Hoek van Holland überall auf alluvialen Sanden liegen und daß die Muschelbank unter ihnen verläuft. Auch hat er die Vermutung VAN EEDEN's über einen früheren Lauf des Rheins durch Nordholland als irrtümlich nachgewiesen. Flußsedimente sind in Nordholland gar nicht zu finden.

Den Unterschied der Floren führt LORIÉ (1893) auf das Alter der Binnendünen und ihren Mangel an Kalk zurück. In den Binnendünen war seiner Ansicht nach im Lauf der Zeiten der Kalk ausgelaugt und hatte sich im Grundwasserniveau angesammelt. Auf diesen Unterschied im Kalkgehalt über nur die Nähe des Meeres einen Einfluß aus.

Wiewohl LORIÉ positive Daten für seine Behauptungen anführt, finden wir bei VUYCK (1898) noch folgendes: „Die Dünen sind gebildet worden auf alluvialen Sedimenten, hier und da von diluvialen Hügeln unterbrochen ... Vielleicht hat man (neben geologischen Beweisen) eine noch schärfere Reaktion auf diese diluvialen Böden in der Vegetation; denn wo wir bei Loosduinen, Schoorl, Bergen, *Calluna*, *Erica* usw. antreffen, da können wir wohl sicher auf einen diluvialen Boden schließen ... Es kommen einige Pflanzen vor, die einen mehr oder weniger diluvialen Charakter tragen Ich stelle mir vor, daß in den Dünenketten diluviale Hügel vorhanden sind ... Höchstwahrscheinlich sind hier und da die Flächen bis auf diese Diluvialhügel ausgeweht, wodurch die ursprüngliche Vegetation erhalten geblieben ist.“

Ich verlebte meine Kindheit in Haarlem, das in der Mitte der Dünenlandschaft liegt. Bei Spaziergängen wurde es mir geläufig, daß die Binnendünen vielfach große Bäume tragen, während die Außendünen nur spärlich bewachsen sind. Später lernte ich den Unterschied zwischen den Sanden der „Außendünen“ und der „Binnendünen“ kennen. Die ersteren lassen sich schwierig, die letzteren sehr gut für die Kultur benützen. Auch die beiden Floren haben stets meine Aufmerksamkeit erregt und anfangs war ich überzeugt, daß durch die von LORIÉ angegebenen Ursachen ihre Verschiedenheit vollkommen erklärt werden könne. Als ich mir dann aber die Aufgabe stellte, die Verbreitung dieser Floren genau zu verfolgen, ergab sich, daß die Flora der „Binnendünen“ sich wiederholt zwischen die Meeresdünen drängt, und daß sie sogar von Bergen bis Groet das Meer erreicht. Überall dort, wo Niederungen weit nach Westen vordringen, werden sie durch diese Flora gekennzeichnet. Sobald ich dieses festgestellt hatte, fand ich an verschiedenen Stellen die Floren des kalkarmen und des kalkreichen Bodens keilförmig ineinander geschoben. Auch be-

obachtete ich, daß stellenweise auf den kalkarmen, meist niedrigen Dünen, kalkreiche Dünen mit der sie begleitenden Flora aufgesetzt waren.

Meine vorläufigen Untersuchungen über den Kalkgehalt zeigten dann bald, daß dessen Verteilung keine so einfache ist, wie es LORIE angegeben hat. Niemals fand ich eine langsame Zunahme, dagegen war stets da, wo die beiden Floren aneinander grenzten, ein ziemlich plötzlicher Unterschied von etwa 3 % an Kalk zu beobachten. Solche Unterschiede im Kalkgehalt wären noch erklärlich gewesen, wenn sie sich nur stellenweise gezeigt hätten. Ich fand sie jedoch an der ganzen Küste ausgeprägt. Dieses wies nicht allein auf einen Altersunterschied, sondern auch auf eine allgemeine Überschüttung aus dem Westen hin. Wieweit diese gegangen war, konnte ich vorläufig an dem stellenweise tiefen Eingreifen der „Außendünen“-Flora in die „Binnendünen“-Flora feststellen.

In der Literatur fand ich über eine solche Transgression der Dünen und über ihr Alter wenig oder nichts Bestimmtes vor. Nur kleine, zerstreute Andeutungen in dieser Richtung waren vorhanden. Deshalb stellte ich mir als Aufgabe für die vorliegende Arbeit, die Faktoren, welche den Dünenboden und seine Flora so stark beeinflußt hatten, zu ermitteln. Daß meine Untersuchungen sich dadurch zunächst mehr auf geologischem, mineralogischem, chemischem und meteorologischem Gebiete bewegt haben als auf botanischem, ist leicht begreiflich.

Ich habe das Gebiet von Helder bis Hoek van Holland behandelt, und dabei einige Strecken ihrer Wichtigkeit wegen bevorzugt. Einzelne Stellen, die ich sehr gerne besuchen wollte, waren leider nicht zugänglich und dadurch wird meine Arbeit hier und da Lücken aufweisen, wie z. B. bei Haag und zwischen Wyk aan Zee und Egmond. Doch glaube ich, daß es mir gelungen ist, die wesentlichsten Faktoren der eigentümlichen Florenverteilung in unseren Dünen festzustellen und zu zeigen, daß die alte Dünenlandschaft in historischen Zeiten stellenweise, und namentlich in der Gegend von Zandvoort und Haarlem, von neuen Dünen überschüttet worden ist.

Abschnitt I.

Die Entwicklungsgeschichte der Dünenlandschaft.

§ 1. Geographische Verhältnisse.

Die Dünenküste von Holland macht nur einen kleinen Teil der großen Dünenkette aus, welche — bei Calais in Nordfrankreich beginnend — von Südwesten nach Nordosten bis an die Insel Vlieland läuft, dann östlich umbiegt, um endlich bei der Elbemündung bis zur dänischen Halbinsel Skalligen vorzudringen. Im westlichen Teile schließen die Dünen unmittelbar an das hinterliegende Polderland an, im Norden bilden sie Inseln und sind einem Wattenmeer von sehr geringer Tiefe vorgelagert,

hinter welchem Friesland und Groningen liegen. Zu diesem Meer gehört auch die Zuiderzee, ein großer Busen, welcher weit landeinwärts dringt und sehr seicht ist.

Der holländische Teil dieser Dünenkette fängt in Zeeuwsch-Vlaanderen mit den Dünen von Cadzand an¹⁾. Diese sind ebenso alt, wie die so musterhaft und eingehend von Professor MASSART und seinen Schülern beschriebenen belgischen Dünen. Die Dünenkette ist hier sehr schmal und wird von Deichen unterbrochen. Um das dahinterliegende Land besser zu sichern, liegt ein zweiter Deich weiter landeinwärts. Von Zeeuwsch-Vlaanderen bis Hoek van Holland ist die Dünenkette in Inseln aufgelöst. Hier münden die Flüsse Rhein, Maas und Schelde. Die Dünenreste auf diesen Inseln sind teils sehr neuen, teils älteren Ursprungs.

Weil das Meer in dieser Inselgruppe öfters große Verheerungen anrichtete, war es die Aufgabe der Menschen, diesen Feind zu bewältigen. Während dieses Kampfes und auch jetzt noch änderte sich die Form der Inselgruppe Zeelands und Südhollands unaufhörlich. Fortwährend werden Teile von Meeresarmen und Flußmündungen trocken gelegt und als fruchtbarer Boden dem Lande zugefügt, während die hohen Sturmfluten dann und wann Deiche durchbrechen und das hinter ihnen liegende Land überschwemmen. Wo ein natürlicher Schutz gegen das Meer vorhanden war, wie z. B. die Dünen, hat man sie deshalb möglichst zu sichern und ihr Wachstum zu fördern gesucht.

Schon zur Römerzeit war die Dünengegend der heutigen Insel Walcheren bewohnt und bei Domburg sieht man bei sehr niedrigem Wasserstand im Meere öfter die Reste eines alten Tempels, des Nehallenniatempels. Darin gefundene Münzen trugen die Jahreszahlen 267 und 270 n. Chr. (STARING 1856). Im Jahre 1430 waren dort die Dünen fast ganz durch den Wellenschlag verschwunden; den Rest flachte man zu einem Sanddeich ab und beschwerte ihn mit Steinen. Dieser Westkappelsche Dijk ist \pm 3,8 km lang, seine Höhe beträgt 5 m über Hochwasser. Viele Wellenbrecher oder Bühnen sind ihm vorgelagert. In der ersten Zeit seiner Befestigung wurde er vom Meere dreimal durchbrochen, und zwar in den Jahren 1477, 1509 und 1530.

Die Reste der ursprünglichen Vegetation dieses Deiches sind so stark vom Menschen beeinflußt worden, daß sie pflanzengeographischen Zwecken nicht mehr dienen können. Im Norden bildeten sich Dünen, welche jedoch wieder verschwanden, und später entstand hier eine Sandbank, „Breezand“ genannt, auf der sich eine neue Dünenlandschaft gebildet hat.

Die Insel Schouwen war schon früh bewohnt und im Jahre 976 als Pagus Scaldis bekannt. Ihr älterer Teil besteht aus der Dünenkette und aus den tiefsten Poldern. Ursprünglich bestand die Insel aus sechs Teilen, welche durch Meeresarme getrennt waren. Diese wurden vom Meere abgeschlossen und verlandet;

¹⁾ Die geographische Beschreibung entnehme ich hauptsächlich BEEKMAN: Nederland als Polderland.

als letzte Spuren sind jetzt noch einige Sümpfe vorhanden. Diese Dünenlandschaft liegt auf der Nordwestseite der Insel.

Auf der Insel Goedereede waren schon im XV. Jahrhundert an der Nordwest- und Nordküste Dünen vorhanden. Westlich von ihnen wurde im Jahre 1494 ein großer Polder gewonnen, dessen Deich als Sandfang gegen Westen diente und die Neubildung von Dünen ermöglichte. Vor diesem Deiche wiederholte sich derselbe Vorgang und entstand eine dritte Dünenlandschaft. Im Norden der Insel sind die Dünen am schmalsten und hier werden sie mittelst Wellenbrecher geschützt.

Die Insel Voorne bestand früher ebenfalls aus mehreren Teilen, welche später vereinigt worden sind. Der westliche Teil ist der ältere und trug schon lange Dünen auf seiner Nord- und Westseite. Später, nach der Vereinigung mit den östlichen Teilen, entstanden im Südwesten neue Dünen.

In den großen Flächen hinter den Vorderdünen liegen Tümpel und östlich davon befindet sich ein kleiner See, „Meertje van Rokanje“, in welchem alle darin gebrachte Gegenstände mit kohlsaurem Kalk überzogen werden. Höchstwahrscheinlich ist dieses eine Wirkung von Organismen, denn man trifft auch Kalkstücke an, welche keinen Fremdkörper als Zentrum haben. Den größten Anteil an diesen Bildungen haben wohl die Bryozoen.

Nördlich von Voorne liegt die Insel Hoek van Holland, welche vom Festlande durch den Kanal „Nieuwe Waterweg“, einer Verbindung von Rotterdam mit dem offenen Meere, getrennt ist. Diese Insel wächst stark an und zeigt neue Dünen- und Marschenbildung.

Von hier aus erstreckt sich nördlich die eigentliche Dünenkette der Provinzen Nord- und Südholland. Sie ist von Hoek van Holland bis Kamp an drei Stellen, und zwar künstlich unterbrochen worden. Bei Hoek van Holland sind die Dünen wirklich noch als eine Dünenlandschaft zu betrachten. Etwas mehr nördlich nehmen sie stark an Breite ab, und bis Loosduinen sind sie sehr schmal und meistens zu einem Deich, dem „Noordlandsche Dyk“, nivelliert, dem etwa 40 Wellenbrecher vorgelagert sind. Hinter den Dünen findet man Wiesen, dann einen Lehmdeich, nachher wiederum Wiesen und schließlich niedrige Binnendünen. Diese letzteren sind teilweise künstlich abgetragen worden. Von Loosduinen an wird die Dünenkette breiter und reihen sich die Binnendünen und „Geestlande“ an sie an, auf denen die älteren Städte und Dörfer Hollands liegen, wie z. B. Haag, Leiden und Haarlem.

Westlich von Leiden, bei Katwyk, mündete ehemals ein Rheinarm ins Meer und unterbrach somit die Dünenkette. Diese Stelle ist durch Flußablagerungen gekennzeichnet, und zwar hauptsächlich durch Lehm, welcher auf einer Torfschicht ruht. An dieser Rheinmündung bauten die Römer eine Festung, die „Arx Britanniae“, welche auch Brittenburg genannt wird, und im Jahre 1695 sah man bei sehr niedriger Ebbe zum letztenmal die Fundamente dieser Burg und sammelte Steine und Münzen in ihr. Diese Münzen tragen jüngere Jahreszahlen als die in dem Nehallennia-

tempel (195—220 n. Chr.) gefundenen. Dieser Rheinarm verlandete allmählich und wurde später ganz vom Hauptfluß abgeschlossen, während das Rheinwasser seinen Weg größtenteils durch die Lek fand.

Im Jahre 1571 ist dort ein Kanal durch die Dünen gegraben worden, welcher jedoch bald unbrauchbar wurde und dessen Reste jetzt noch nördlich von Katwyk zu sehen sind. Die jetzige Durchgrabung kam in den Jahren 1804—1808 zustande und ist gegen das Meer durch Schleusen abgeschlossen. Infolge dieser Kanalisation gelangt jetzt bei Katwyk kein Rheinwasser mehr in das Meer (BEEKMAN). Obwohl schon früh kanalisiert und dadurch seines Flußcharakters völlig beraubt, ist dieser „Oude Ryn“ nicht ohne Einfluß auf die Pflanzenverbreitung geblieben. Er bildete eine natürliche Grenze, welche aber später durch die Entwicklung des Verkehrs allmählich seine Bedeutung verlor.

Von Leiden an nehmen sowohl die Binnendünen als auch die Außendünen gegen Norden an Breite zu; die ersteren sind zwischen Haarlem und Zandvoort am breitesten. Bei Velsen sind die Dünen in neuerer Zeit durch den Nordseekanal unterbrochen worden. Hier liegt am Meere der Vorhafen Ymuiden. Zwei hohe \pm 1,5 km lange steinerne Dämme schützen die Einfahrt. Nördlich vom Nordseekanal behalten die Dünen ihre volle Breite, bis sie bei Groet und Kamp plötzlich aufhören und schroff und hoch an einen großen, fruchtbaren Polder grenzen. Hier tritt an die Stelle der Dünenlandschaft eine flache, grüne, fruchtbare Ebene, welche von einem mächtigen Deich geschützt wird, der von Kamp bis Petten 5,5 km lang ist und dem viele Wellenbrecher vorgelagert sind.

Im Jahre 1421 wurden hier bei einer Hochflut die Dünen zerstört, das Dorf Pethem mit seinen 400 Bewohnern vernichtet und eine Bresche in den Strandwall geschlagen. Diese Bresche wurde 1422 ausgebessert und als Sicherung wurde noch ein Lehmdeich hinter dem Sanddeich und den Dünenresten aufgeworfen. Dieser Deich und ein noch später angelegter verschwanden samt den Dünenresten im Jahre 1464 und bald darauf, im Jahre 1466, stellte man dem Meere wiederum eine neue Barrière entgegen. Im Jahre 1780 reichte diese auch nicht mehr aus und wurde der jetzige Deich mehr landeinwärts gebaut; eine Arbeit, mit der man zum Teil schon im Jahre 1745 begonnen hatte. Fünfzig Häuser und das Rathaus mußte man vor dem Deich stehen lassen und diese fielen dem Meere zum Opfer. Bei Petten (Pethem bi der Zype) endete früher das holländische Festland. Nördlich war ein großer, flacher Strand und zwei Inseln: t'Oghe, jetzt „Callantsoog“ und Huisduinen. Durch die Öffnungen zwischen diesen Inseln standen die Nordsee und die Zuiderzee miteinander in Verbindung. Nachdem die Dörfer fast verschwunden und die Inseln beinahe vernichtet waren, wurden im Jahre 1610 die Reste miteinander und mit dem Festlande mittels eines Sanddeiches verbunden. Vor diesem haben sich neue Dünen gebildet und demzufolge ist hier jetzt, 300 Jahre später, eine neue Dünenkette vorhanden.

Zwischen dem alten „Zanddyk“ und den vorgelagerten neuen Meeresdünen liegen langgestreckte Täler mit Tümpeln ohne Abfluß. Von Petten an nehmen die Dünen an Breite zu, um bei Callantsoog (früher t'Oghe) sehr schmal zu werden. Bei Huisduinen werden die Dünen breiter und es bildet sich eine große Binnendünenlandschaft, wie auch südlich von Callantsoog. Zerstreut zwischen diesen beiden Komplexen liegen in den Poldern kleine alte Dünen, sogenannte „Nollen“, vielleicht Reste ehemaliger Sanddeiche. Im ganzen nördlichen Teil nimmt der Strand stark ab. Das Meer vertieft sich und das Gefälle des Strandes wird dadurch stärker. Wo jetzt die Kriegsschiffe nach Helder einfahren, war früher ein Vorland. Sandbänke und Küstenlinie ändern sich unaufhörlich unter dem Einfluß der Meeresströmung. Der Strand wird schmaler und die Hochwasserlinie nähert sich mehr und mehr dem Dünenfuß. Diese Änderungen werden mittels 117 Meilenpfählen von Helder bis Hoek van Holland gemessen. Gleichzeitig mit der Abnahme des Strandes begann eine solche der Außendünen, wobei öfter sehr schöne Profile zutage getreten sind. Die nördliche Strecke hat überall steil abgebrochene „Dünenkliffe“ (BRAUN 1911).

Bei Huisduinen fängt die „Zeewering von Helder“ an, ein Basaltdeich, welcher die Nordspitze von Holland schützt. Hier stehen die Nordsee und die Zuiderzee durch „Helsdeur“ und „Marsdiep“ miteinander in Verbindung, und hat die starke Strömung einen natürlichen Hafen, den Kriegshafen von Helder, geschaffen.

Weiter nördlich ist die Dünenkette in Inseln aufgelöst. Nacheinander folgen: Texel, Vlieland, Terschelling, Ameland, Schiermonnikoog und Rottum, alle durch Meeresarme voneinander getrennt. Hinter diesen liegt ein seichtes Wattenmeer, das nur von wenigen tiefen Furchen durchschnitten ist und in welchem viele der Sandbänke nur bei Hochwasser vom Meere bedeckt sind. Da sie allmählich wachsen, geht das Wattenmeer einer Verlandung entgegen, welche das Festland voraussichtlich einmal wieder mit der Inselkette verbinden wird. So war es schon früher in der Römerzeit, als die Dünenkette an mehreren Stellen unterbrochen war und die heutigen Inseln, wenn auch in etwas anderer Form, Dünenkomplexe bildeten. Damals mündete die Eems bei Rottum, die Lauwers bei Schiermonnikoog, während zwischen Ameland und Terschelling ein Meeresbusen mit dem offenen Meere in Verbindung trat. Zwischen Vlieland und Terschelling mündete ein Strom, Vlie genannt, vielleicht ein Abfluß des Sees Flevo, des Vorläufers der späteren Zuiderzee. Dieser lag in einer großen Moorlandschaft und wurde von Eem und Yssel (einem Abfluß des Rheins) gebildet. Der See Flevo vergrößerte sich, weil der ihn umgebende Torf abgeschlagen und vom Meere weggespült wurde. So erhielt im XIII. Jahrhundert die Zuiderzee ihre jetzige Gestalt. Im Mittelalter hatte sich ihre Oberfläche bedeutend vergrößert und wurde sie *Almare* genannt. Am Vlie lagen da, wo jetzt das Wattenmeer ist, große Städte und viele Dörfer. Sehr bedeutend war die Handelsstadt Grint mit einer damals bekannten Kloster-

schule, welche Stadt samt ihrer Umgebung im Jahre 1287 verschwunden ist. Im Jahre 1398 war nur noch eine kleine Insel übrig und jetzt ist noch eine Sandbank da, auf der Möwen zwischen spärlichen Halmpflanzen nisten. Die Stadt Harlingen, welche jetzt an der Zuiderzee liegt, war früher, 1234, durch einen Kanal über Grint mit der Nordsee verbunden. Der Torfboden verschwand schnell, auch Sand und Lehm nahmen beträchtlich ab, und nur die diluvialen Blocklehme und Sandhügel, sowie die Deiche leisteten Widerstand. Zwischen \pm 1170 und \pm 1400 sind die Zuiderzee und das Wattenmeer entstanden. In Chroniken und Archiven findet man die Namen der jetzt verschwundenen Dörfer und Städte. Im Laufe von drei Jahrhunderten ist dieser ganze Boden, der mit Wäldern und menschlichen Ansiedelungen bedeckt war, vom Meer verschlungen und jetzt ragen nur noch die diluvialen Inseln Urk, Schokland und Wieringen aus dem Meer hervor. Vom Wattenmeer und von der Zuidersee sind inzwischen schon viele Teile wieder eingedeicht worden und die Pläne für die Trockenlegung der Zuiderzee harren ihrer Ausführung. Wenn auch Teile unserer Westküste beständig abnehmen, wird doch an vielen anderen Stellen wieder neues Land gewonnen und in nicht allzu langer Zeit wird voraussichtlich der frühere Zustand: ein Tiefland mit vorlagernder Dünenküste wieder erreicht sein.

§ 2. Topographie.

Nach BLINK (1892) ist die niederländische Küste 276 km lang. Für das von mir untersuchte Gebiet gibt dieser Verfasser folgende Zahlen für die Breite der Dünen:

Huisduinen-Callantsoog	\pm 420 m
Callantsoog-Petten	\pm 1000 „
Bei Schoorl	\pm 4000 „
„ Bergen	\pm 3000 „
„ Egmond a. Zee	\pm 1500 „
„ Castricum	\pm 3000 „
„ Wyk aan Zee	\pm 1500 „
„ Haarlem	\pm 3000 „
„ Noordwyk	\pm 700 „
„ Wassenaar	\pm 3000 „
„ Scheveningen	\pm 2500 „
„ Loosduinen	\pm 40 „
„ 's Gravesande	\pm 14 „

Diese Zahlen sind gewiß hier und da, z. B. bei Haarlem, Wyk, aan Zee und Loosduinen zu klein. Namentlich sind bei der erstgenannten Stadt die Dünen mehr als 4000 m breit.

Die großen Unterschiede in diesen Werten rühren von dem unregelmäßigen Verlauf der Grenze der Dünen an der Landseite her; denn die Küstenlinie ist an der Meeresseite nur schwach gebogen und im nördlichen Teil fast gerade. Der Strand ist bei Ebbe \pm 115 m breit, bei Flut \pm 51 m. Die Höhe der Dünen schwankt zwischen 5—60 m. Von den angeführten Zahlen sind

wegen der großen Veränderlichkeit der Dünenlandschaft nur die der letzteren Zeiten zuverlässig. Die mittlere Höhe ist ± 10 m $+ AP^1$), aber in der Nähe von Haag und Hoek van Holland ist sie nur ± 7 m $+ AP$.

Die unten folgenden Höhenzahlen der Dünengipfel wurden vor einigen Jahren vom früheren Ingenieur bei der Reichskommission für Gradmessung und Nivellierung, Herrn Hk. J. HEUVELINK, jetzt Professor an der Technischen Hochschule in Delft, bestimmt. Es ist mir eine angenehme Pflicht, hier Herrn Professor HEUVELINK für seine mir gütigst mitgeteilten Angaben zu danken.

Die meisten der betreffenden Gipfel tragen Signale für das trigonometrische Netz.

Jahr der Aufnahme	Name der Düne	Höhe über NAP
1893	△ punkt. Brederode	48 m
1893	△ „ Berkheyde	37 „
1893	△ „ Teunis-duin	38,5 „
1895	△ „ bei Schoorl	56,5 „
1910	Düne zwischen Haag und Wassenaar	19,4 „
1907	Düne zwischen Scheveningen u. Loosduinen	25,5 „
1911	Düne „Prinsenbergl“	25 „

Die Dünentäler liegen auf einem vom Grundwasser beeinflussten Niveau (s. oben). Die östlichen Längstäler sind die ältesten und liegen etwa auf NAP. Diese tiefe Lage ist teilweise der allmählichen Senkung zuzuschreiben, welcher die ältesten Täler länger unterworfen waren, als die jüngeren. Die westlich davon gelegenen jüngeren liegen höher, bis zu 4 m $+ NAP$ (DUBOIS 1910).

Wie aus den auf der folgenden Seite gegebenen Profilen zu sehen ist, ist die Fläche des Grundwasserspiegels in großen Zügen eine konvex gebogene (s. Profil I, Fig. 1) und liegt die Bodenhöhe des Polderlands zwischen 0—6 m unter NAP (vgl. Profil II, Fig. 2).

Man unterscheidet tiefe Polder von 3—6 m $- NAP$ und untiefe von 1,5—2,5 m $- NAP$. Das Land liegt überall viel tiefer als die Kanäle und eingedeichten Flüsse und kann nur durch fortwährende Entwässerung trocken gehalten werden, obgleich es in trockenen Zeiten wieder bewässert werden muß. Das überflüssige Wasser wird durch Windmühlen und Dampfmaschinen mittels Kanäle oder unmittelbar in das Außenwasser gebracht und bei Ebbe durch die Schleusen abgeführt.

Will man sich über den Lauf der Sandbänke und der Rinnen zwischen diesen sowie über den Strandwall eine Vorstellung machen, so muß man die Seekarte zu Rate ziehen, weil die topo-

¹⁾ AP = Amsterdamer Pegel ist die wagerechte Ebene der mittleren Höhe der Flut im Hafen von Amsterdam, als dieser noch in offener Verbindung mit dem Meere stand. NAP ist der aufs neue festgestellte AP.

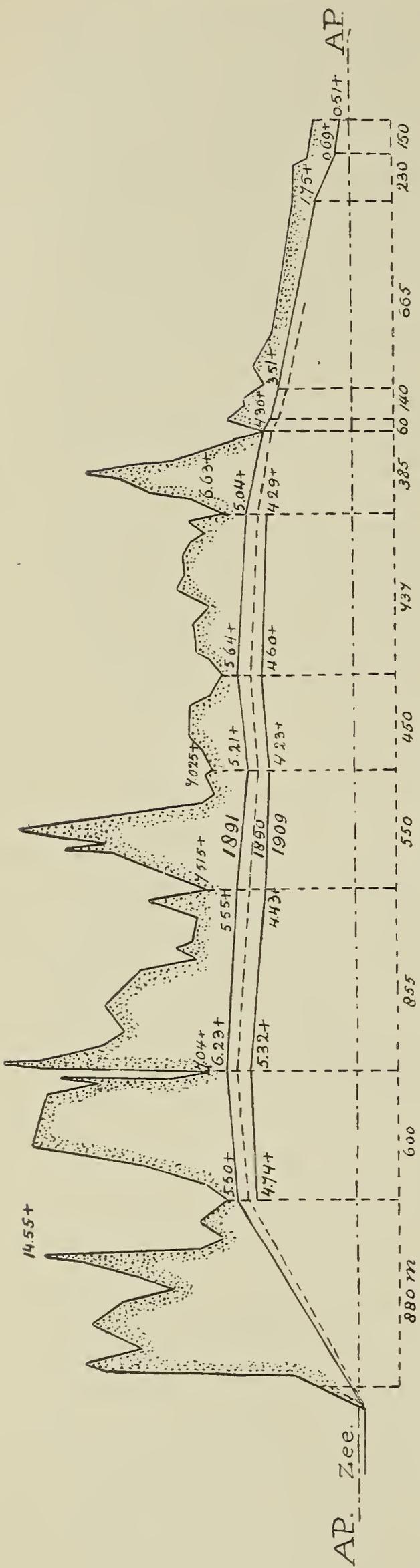
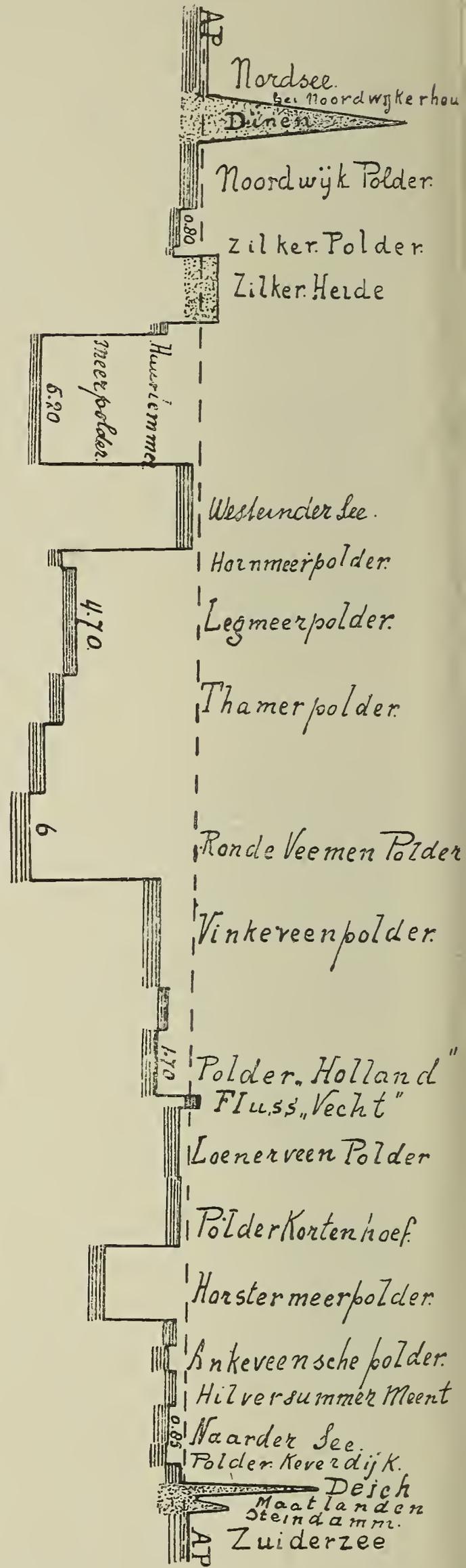


Fig. 1. Profil I.

Der Grundwasserspiegel. Längenmaßstab 1:40 000. Höhenmaßstab 1:400.

Querprofil vom Polderland zwischen Noordwykerhout und Naarden. Nach J. M. K. Pennink: de Priise d'eau der Amsterdamsche waterleiding 1904. Längenmaßstab 1:300 000. Höhenmaßstab 1:300.

Fig. 2. Profil II.



AP
 Nordsee.
 bei Noordwykerhout
 Dünen
 Noordwijk Polder.
 0.80
 zilker Polder.
 Zilker Heide
 5.20
 Huisvermeer
 meer polder.
 Westeinder See.
 Hornmeer polder.
 4.70
 Legmeer polder.
 Thamer polder.
 6
 Ronde Veemen Polder.
 Vinkerveen polder.
 1.70
 Polder „Holland“
 Fluss „Vecht“
 Loenerveen Polder.
 Polder Kortenhoeft.
 Horstermeer polder.
 Ankeveensche polder.
 Hilversummer Meent
 0.85
 Naarder See.
 Polder Koverdijk.
 Deich
 Maatlanden
 Steindamm.
 AP
 Zuiderzee

graphische Karte 1:25 000 hierüber keine Angaben enthält, ebenso wenig wie über die Höhen der Dünen.

Die übliche Form von parallel verlaufenden Ketten, senkrecht zur Richtung der herrschenden Winde, also ungefähr von Süden nach Norden, weisen nur die jungen Dünen auf. Die alten zeigen ein unregelmäßiges Durcheinander, in das die südwestwärts bis nordostwärts gerichteten Windstraßen einige Gesetzmäßigkeit bringen. Auch wird die topographische Form fast immer durch die Vegetation beeinflusst, und ist die Gestalt der Düne von der Pflanzenart abhängig, die sie bildete, wie schon WARMING (1909) und REINKE (1903) angegeben haben. Umgekehrt beeinflusst auch die topographische Form die Verbreitung der Pflanzen. Es gibt also drei Faktoren, welche der Dünenlandschaft ihre Form verleihen: Wind, Grundwasser und Bewachsung.

Im Westen des Landes ragen die Dünen und ein Teil der Geestgründe über das Flutniveau empor und dieser Umstand bedingt es, daß alles Wasser der Dünen nur Regenwasser sein kann.

Hier sei die Benennung der einzelnen Teile der Dünenlandschaft, welche der Bevölkerung geläufig ist, obwohl nicht vollständig, erwähnt.

Niederländisch	Bedeutung
1. Achterduin	= Dünenkomplex nach der Meeresseite.
2. Middenduin	= mittlere Düne.
3. Voorduin	= innere Düne des äußeren Komplexes.
4. Binnenduin. 4 a) Olmers. 4 b) Nollen	= Binnendüne. a) Düne nach der Meeresseite. b) Dünen im Polderland zerstreut.
5. Zeelooper } Strandlooper } Zeereep }	= Vordüne.
6. Voorlooper	= innere Düne des äußersten Komplexes.
Kling	= Hügelreihe.
7. Duin } Berg }	= Düne.
8. Pan } Del }	= Dünenkessel.
9. Vlak	= Dünenebene.
10. Stuifduin	= Wanderdüne.
11. Blinkert	= bewegliche, weiße Düne.
12. Windgat	= Windmulde.
13. Water (wie Zwanewater, Quaekjeswater)	= Teich, Tümpel.
14. Slag	= Weg vom Strande nach dem Innenlande.
15. Rel	= Bächlein.

Wird der Sand vom Winde aufgewirbelt, so spricht man von „Rookende duinen“ = wörtlich „rauchende Dünen“. Die Dünen, welche sich direkt dem Polderlande anschließen und für dessen Bevölkerung also am leichtesten zu erreichen sind, werden von ihr Vordüne „Voorduin“ genannt, welcher Name leider in der geologischen Nomenklatur eine gerade entgegengesetzte Bedeutung hat. Die hohen, in regelmäßigen Ketten gereihten Dünen auf der Meeresseite nennt man Hinterdüne (Achterduin) oder „Olmers“ oder „Zeeduinen“, während die äußerste Kette „Zeelooper“, „Strandlooper“ oder „Zeereep“ genannt wird.

Zwischen Voor- und Achterduin liegt eine Hochebene, auf der meistens niedrige Hügel unregelmäßig zerstreut liegen. Sie werden zusammen als Mitteldüne „Middenduin“ bezeichnet. Diese „Middenduinen“ erscheinen niedrig, weil ihr Grundwasserniveau ein hohes ist und die Verwehungen also nicht sehr tief eingreifen können. Wo die Dünenlandschaft sehr jung und schmal ist, sind „Voor- und Achterduin“ sehr stark, „Middenduinen“ fast nicht ausgeprägt. Meist sind die „Voorduinen“ leicht zugänglich und ihre Täler deshalb kultiviert, während die „Achterduinen“ nur in der Nähe der Fischerdörfer bebaut werden und die „Middenduinen“ wenig oder nicht kultiviert sind, weil gute Wege fehlen und der Wagentransport für Dünger und Ernte dadurch zu teuer ist.

Das „Achterduin“, namentlich der „Zeelooper“, wird vom Staat bepflanzt und festgelegt; eine Arbeit, welche von einigen großen Gesellschaften, die auch die Ufersicherungen versorgen, übernommen wird. Die Mitteldünen werden für die Wasserversorgung der Städte gebraucht.

§ 3. Geologie.

Eine übersichtliche Arbeit über die geologische Vergangenheit der Niederlande im Lichte der jüngeren Untersuchungen besteht bis jetzt nicht. Das berühmte Buch von STARING: „De B o d e m v a n N e d e r l a n d“, welches in den Jahren 1856—1860 publiziert wurde, bleibt immerhin grundlegend für unsere Kenntnisse in dieser Richtung.

Selbstverständlich haben jedoch infolge der Fortschritte, welche die Geologie in dem zweiten Teil des letzten Jahrhunderts machte, mehrere der in diesem Werke angegebenen Theorien ihre Gültigkeit verloren. Zu STARING's Zeit wurde die Landeis-theorie noch nicht anerkannt und war die Drifttheorie für Nord-Europa in ihrer Blütezeit. Weil nun der oberflächliche Teil des niederländischen Bodens hauptsächlich aus postglazialen, im Westen nur aus alluvialen Material besteht, war eine Neubearbeitung dieses Werkes sehr erwünscht. Bekanntlich ist der Geologe VAN BAREN jetzt mit dieser Neubearbeitung beschäftigt. Da jedoch der Abschnitt über die Dünen noch nicht erschienen ist und auch STARING darüber nur wenig Ursprüngliches gibt, indem er sie aus eigener Erfahrung kaum kannte, war ich für die Geologie hauptsächlich auf die Untersuchungen von LORIÉ, BLINK,

PENNINK und DUBOIS angewiesen. Auch die Idee einer säkularen Senkung des Bodens war STARING noch nicht geläufig und so konnte er die Entstehung der großen Dünentäler und ihre Ausfüllung mit Torf nicht erklären, wie das in letzterer Zeit LORIÉ und DUBOIS versucht haben.

Doch muß zu Ehren STARING's gesagt werden, daß er in die Entwicklungsgeschichte der Dünenlandschaft eine klare Einsicht gehabt hat und ich betone ausdrücklich, daß viele Ergebnisse der neuen Forschung schon von STARING vorhergesagt worden sind.

Kurze Übersichten gaben in letzterer Zeit BLINK (1892), LORIÉ (1893) und MOLENGRAAFF (1909), während VUYCK (1898), PENNINK (1904) und DUBOIS (1909—1910—1911) sich hauptsächlich mit der Hydrologie der Dünen beschäftigten. Ihre Ergebnisse kritisch zusammenfassend, erwähne ich hier folgendes:

Wie aus verschiedenen Bohrungen hervorgegangen ist, erfährt der Boden von Niederland, die südöstlichen und östlichen Teile ausgenommen, eine säkulare Senkung¹⁾, welche schon im Oligocän anfang und jetzt noch fort dauert. Gegen Westen und Norden werden die angebohrten Schichten dicker, was darauf hindeutet, daß die westlichen und nördlichen Teile Hollands am meisten sanken. Die östlichen und südlichen Teile dagegen wurden schon in früheren Perioden (u. a. zwischen Jura und Neocän) zerstückelt und hier wurden die Horsten und Graben gebildet, welche der Ausbeute der Kohlenlager heutzutage so viele Schwierigkeiten machen (WATERSHOOT v. D. GRACHT 1910).

In den Glazial- und Interglazialperioden wurde Geschiebmaterial von den Gletschern, den Schmelzwässern und den Flüssen über die präglaziale Landschaft ausgebreitet. Das Nordseegebiet war damals abwechselnd Land und Meer.

In der letzten interglazialen Periode, zwischen Rißeiszeit und baltischer Eiszeit, übertraf die Senkung die Sedimentation und wurde, wie LORIÉ unwiderlegbar gezeigt hat, der Norden und Nordwesten der heutigen Niederlande überschwemmt und eine Flachsee gebildet. Auf dem Sande der Gletscher und Flüsse wurde transgredierend eine lehmhaltige Schicht abgesetzt (Eemsystem), welche viele für die Flachsee typische Reste von Tieren enthält, die jetzt noch teilweise auf derselben Breite, teilweise aber mehr nördlich vorkommen.

¹⁾ Diese säkulare Senkung hat man im Laufe der Zeiten an vielen Vorgängen und Tatsachen geprüft und bewiesen. So hat z. B. H. E. DE BRUYN (1909) aus den an der Pegelskala gemachten Messungen der letzten 50 Jahre geschlossen, daß die Senkung des Landes in dieser Periode etwa 100 mm pro Jahrhundert beträgt. G. A. F. MOLENGRAAFF (1909) konstatiert an der Hand verschiedener Bohrungen, daß die Senkung schon im Tertiär angefangen hat und jetzt noch fort dauert, daß sie nicht fortwährend im gleichen Maße vor sich gegangen ist, aber dann und wann durch kürzere oder längere Perioden der Ruhe oder durch eine entgegengesetzte Bewegung unterbrochen wurde. J. M. VAN BEMMELEN (1909) sagt: In der quarternären Periode hat eine Senkung von etwa 18 m stattgefunden. Niederland nimmt noch stets an einer Senkung teil. Diese Senkung hat während der letzten 2000 Jahre aufgehört oder ist doch sehr gering gewesen. E. DUBOIS (1911) konstatierte, daß dieselbe Muschelbank, welche heute 3—4 m + AP gebildet wird, unter den östlichen Meeresdünen $\pm 0,5$ m — AP liegt. Also muß seit der Bildung des Strandwalles der Boden $3\frac{1}{2}$ — $4\frac{1}{2}$ m gesunken sein.

Während der letzten baltischen Glazialzeit war die Anschwemmung von Material eine erheblich größere, Niederland verlandete wieder und es bildete sich aller Wahrscheinlichkeit nach eine Dünenkette im Westen und Nordwesten, welche viel weiter westlich lag als die heutige. LORIÉ (1893, S. 970) sagt dazu: „Möglicherweise breitete sich das Land bis an die heutige englische Küste aus.“ Solange der Boden der Nordsee nicht besser bekannt ist, bleiben diese Dinge noch hypothetisch; sicher ist nur, daß Bedingungen geschaffen wurden, welche die Bildung jenes Torflagers ermöglichten, welches jetzt mit seiner Oberfläche etwa zwischen 12—19 m — AP liegt. Denn diese Tiefe erreicht es bei Ymuiden, und dieses deutet darauf hin, daß das damalige Festland sich viel weiter nach Westen ausdehnte. Infolge weiterer Senkung und nachträglicher Durchbrüche des Meeres wurde dieses Torfmoor später wieder von Meeressedimenten, wie Sand und Lehm, überdeckt, während stellenweise die Moorbildung weiter ging und neuer Torf sich auf dem alten bildete.

Auf diesen Sedimenten wurde dann noch später der noch heute bestehende Strandwall gebildet, welcher die Binnendünen und die Außendünen trägt. Hinter diesem mit Dünen besetzten Strandwall, welcher sich zwischen Calais und Texel konkav krümmt und von dort konvex bis Rottum verläuft, entstand ein Haff, anfänglich mit Meerwasser gefüllt und \pm 6 m tief. Durch die Zufuhr der Flüsse wurde das Wasser allmählich weniger salzig; dazu kam eine Niveauänderung, eine Hebung, wie aus den Untersuchungen von LORIÉ hervorgeht (1893). Dadurch verlandete das Haff und durch die hierauf folgende Senkung wurde eine Moorbildung ermöglicht, und es entstand eine Schicht von \pm 6 m. Diese Ansicht von LORIÉ wird auch von MOLENGRAAFF (1909) angenommen.

DUBOIS (1911) ist der Meinung, daß dieser Torfbildung keine Hebung vorangegangen sei, und daß der Torf sich in dem 6 m tiefen Haff gebildet hat. Gegen diese Ansicht spricht der Umstand, daß die Oberfläche des Haffes dazu zu groß war. Der Einfluß der Winde, wie der von Flut und Ebbe muß dadurch ein zu kräftiger gewesen sein, als daß die Torfbildung in einem so bewegten Wasser vor sich hätte gehen können. Wie dem auch sei, das Haff verlandete und die Dünen verbreiterten sich mit dem Strandwall gegen das Meer, während das Moor sich mit einem Wald bedeckte, der von den benachbarten diluvialen Sanden einwanderte und auch die Dünenlandschaft bekleidete. Diese Dünenlandschaft war sehr breit und wurde im Süden (Zeeland und Südholland) von den Flüssen Rhein, Maas und Schelde durchbrochen; auch weiter nördlich, wie ich schon im ersten Kapitel angegeben habe, kamen einige Unterbrechungen vor.

Dieser Zustand herrschte nach MOLENGRAAFF (1909) im Anfang des Holocäns, d. h. für diese Gegenden in prähistorischer Zeit¹⁾.

¹⁾ Nach dem bisher über den Strandwall Gesagten scheint der Schluß berechtigt, wie schon LORIÉ (1893) angibt, daß er eine relativ junge Bildung darstellt und mit dem Diluvium nichts zu tun hat. Wohl steigt bei Texel, Ameland und

Einige Jahrhunderte vor Christi Geburt trat in der Dünen-
 gegend der Mensch auf. Ungefähr zur gleichen Zeit änderten sich
 die bis jetzt herrschenden günstigen Bedingungen für die Land-
 bildung, und nahm das Land so stark ab, daß die belgischen
 Dünen verschwanden und diejenigen von Zeeland und Südholland,
 wie die von Groet bis Texel, in mehrere Teile aufgelöst wurden.
 Selbstverständlich hatten die in den Flußmündungen auf und
 abgehenden Flut und Ebbe im Süden und im Norden gleichfalls
 einen Einfluß auf diese Vernichtung. BLINK (1892) sagt: In histo-
 rischer Zeit fand hauptsächlich Abnahme des Landes statt. LORIÉ
 (1897) bestätigt dieses, hebt jedoch hervor, daß es vom XV. Jahr-
 hundert an, stellenweise und zeitweise Unterbrechungen dieser
 Abnahme gegeben habe, und daß in der Mitte des Küstenbogens:
 Hoek van Holland-Helder in letzterer Zeit öfter eine Zunahme
 zu konstatieren sei.

Wenn nur Abnahme stattgefunden hätte, müßten wir überall
 an unserer Küste die Merkmale der Zerstörung finden. Diese
 sind kurz zusammengefaßt die folgenden: 1. ein schmaler Strand
 mit großem Neigungswinkel, welcher stetig zunimmt; 2. Mangel
 an Embryonaldünen und Vordünen; 3. eine von den Wellen
 angeschnittene Dünenreihe (= Dünenkliff), deren Böschung eine
 übermaximale ist, und deren von jeglicher Vegetation beraubte
 Abrutschfläche vom Winde angegriffen wird, welcher den Sand
 landeinwärts führt (BRAUN 1911).

An der niederländischen Küste verhält sich die Sachlage
 nun anders, denn hier finden wir an manchen Stellen Embryonal-
 dünenbildung und geschlossene Vordünen. Sehr gut ausgebildet
 fand ich solche auf den Inseln Goeree und Voorne, bei Hoek van
 Holland, Noordwyk aan Zee, Zandvoort und Ymuiden. Auch bei
 Wyk aan Zee ist die Embryonaldünenbildung noch sehr gut zu
 beobachten. Von hier nach Norden wird diese Erscheinung aber
 sehr selten und weiter nördlich bis Helder hört die Neubildung
 von Dünen ohne menschliche Hilfe ganz auf. Denn nur dort, wo
 Bühnen liegen, findet mit der Verbreiterung des Strandwalles
 auch eine Zunahme der Dünen statt. Wo solche nicht vorhanden
 sind, wie bei Egmond und Bergen, findet man aber alle Zeichen
 der Zerstörung. Diese letztere ist auf eine stets fortschreitende
 Vertiefung des Meerbodens zurückzuführen, wodurch das Gefälle
 größer wird, Ebbe- und Flutlinie näher an den Dünenfuß kommen
 und die Dünen von den Brandungswellen angegriffen werden
 können.

Terschelling das Diluvium auf, liegt jedoch sonst überall in einer Tiefe von etwa
 30—35 m. Weiter erstreckt sich unter dem ganzen Dünenkomplex eine Schicht
 Meeressand mit Muschelschalen. Dies sei hier angeführt, um der vielfach ge-
 äußerten Vermutung entgegenzutreten, daß z. B. die Dünen von Bergen und
 Schoorl Kontinentaldünen seien, eine Ansicht, welche man vor allem auf die
 typische Heidevegetation gründete (VAN EEDEN, VUYCK).

Überall liegen die Dünen auf dem aus Meeressand aufgebauten Strandwall.
 Nur wo spätere Wanderungen stattfanden, können sie auch auf Lehm- und Torf-
 bänken angetroffen werden, und liegen dann den alten Dünentälern oder dem
 hinterliegenden Polderland auf.

Bei diesem Anschneiden der Dünen durch die Wellen werden in den Profilen öfter Humusstreifen, sogar harte Humusbänke sichtbar, welche die Struktur der Dünen deutlich erkennen lassen.

LORIE (1897) spricht die Vermutung aus, daß die Küstenlinie vor einigen Jahrhunderten einen stärker konkaven Bogen bildete als heute. Daß diese Vermutung vieles für sich hat, geht wohl aus dem stark konkaven Lauf der Binnendünenreihen hervor, welcher von LORIE (1893) festgestellt wurde.

Diese Binnendünenreihen konvergieren mit den Außendünen, sowohl im Norden als auch im Süden und die Außendünen zeigen somit die Tendenz, die Konkavität der Binnendünen auszufüllen. Wie bekannt, gilt an einer sinkenden Küste ohne genügende Anschwemmung die gerade Strandlinie als der charakteristischste Faktor einer zurückgehenden Küste (BLINK 1895). Die festen Anhaltspunkte, an denen die Nehrung sich bildete, treten aus ihr hervor. Sehr deutlich ist dieses auf der Insel Texel zu beobachten, welche weit aus der Küstenlinie vordringt. Der älteste jetzt noch sichtbare Teil des Strandwalles, der höchstwahrscheinlich nie Dünen getragen hat, erhebt sich als ein hoher Rücken zwischen den Dörfern Ryswyk und Voorschoten, aber im Norden verschwindet er unter Torfbildungen, um unter der Stadt Leiden wieder aufzutauchen. Mit diesem Rücken parallel laufen westlich zwei weitere mit Dünen besetzte Rücken, welche gegen Nordosten freien, nach Südwesten dagegen bei Haag zusammentreffen. Zwischen ihnen liegen lange mit Torf aufgefüllte Täler mit Wiesen und Kulturland. Soweit diese Rücken Dünen tragen, sind sie bewaldet, meistens mit gemischtem Laubwald, hauptsächlich mit Eichen- und Buchenwald, und an den Wasserläufen mit Erlen und Eschen. Wo die Dünen fehlen, sei es durch Abgrabung, sei es, daß sie nie vorhanden gewesen sind, tritt ein tiefliegender Sandboden zutage: „die Geest“¹⁾. Dieser wird im Westland intensiv bebaut, südlich von Haag für Obst und Gemüse und im Norden mit Blumenzwiebeln. Der Dünenstreifen, welcher das Dorf Wassenaar trägt, ist südlich von Haag wiederzufinden, wo er den „Segbroekpolder“ begrenzt, ein teilweise überschüttetes Dünenental, das im Westen von den Außendünen begrenzt wird. Diese dringen bei Haag bis an die Binnendünen vor und das Wassenaar Tal ist höchstwahrscheinlich eine nordöstliche Fortsetzung vom Segbroek-Polder. LORIE (1893) gibt an, daß hier die Außendünen (Zeeduinen) transgredierend auftreten.

Bei Leiden und Katwyk finden wir diese regelmäßige Anordnung von „Geest“ (altem Strandwall) und Dünen nicht, doch ist, weil hier der Rhein früher ausmündete und die Küste durchbrochen war, ein Durcheinander von Sand- und Lehmbänken entstanden, und zwar höchstwahrscheinlich durch die Wirkung der Gezeiten (LORIE 1893).

¹⁾ Die Geest von Holland ist verschieden von dem so benannten Gebiete Norddeutschlands. Sie besteht nur aus Sand und ist ein Teil des Strandwalles, der keine Dünen trägt. Es fehlt ihr jegliche Beimischung von Lehm.

Nördlich von Katwyk treten die Binnendünenketten und „Geest“-Inseln, durch Täler voneinander getrennt, wieder regelmäßig auf. Es sind hier fünf Streifen, von denen drei inselartig aufgelöst sind, und teilweise Dünen tragen. Die beiden anderen Reihen treffen in Nordost-Richtung miteinander und mit den Außendünen zusammen. LORIE (1893), dem wir die meisten dieser Angaben verdanken, spricht in seiner Arbeit wiederholt von „Meeresdünen“ und „Binnendünen“ und sagt dann hier auch, daß die Binnendünen sich den Meeresdünen anschließen.

Ihrer Entwicklung nach sind sowohl die Binnendünen als die Außendünen als Meeresdünen aufzufassen. Der Begriff Meeresdünen ist aber ein genetischer und deshalb scheint es mir, wenn eine orographische Trennung vorgenommen werden soll, besser von „Außendünen“ und „Binnendünen“ zu sprechen. Meiner Ansicht nach ist aber der Außendünenkomplex im geologischen Sinne keine Einheit.

Die typische Binnendünenflora und das reichliche Gehölz, welche die Außendünen noch eine Strecke nach Nordwesten bedecken, weisen den Botaniker schon darauf hin; deutlicher noch zeigt der Boden, daß der westliche Dünenkomplex aus zwei geologisch und zeitlich verschiedenen Teilen besteht. Beide sind Meeresdünen, beide haben ihre Entstehung den jetzt noch arbeitenden Kräften zu verdanken, die Herkunft des sie aufbauenden Materials ist dieselbe, aber zwischen beider Bildung liegt ein großer Zeitraum und die Dünenlandschaft, welche den Übergang zwischen beiden darstellte, ist verloren gegangen, d. h., ist teils durch Abnahme der Küste verschwunden, teils von den neueren Dünen überschüttet worden. Diese hier nur kurz dargestellte Theorie werde ich im nächsten Abschnitt zu begründen suchen.

Es ist noch nicht mittels Bohrungen festgestellt worden, ob die jetzt sich aneinander schließenden Binnendünenrücken auch ursprünglich zusammenhingen. Es wäre sehr gut möglich, daß sie alle unabhängig voneinander aufeinander parallel verlaufenden Sandbänken gebildet worden sind, und daß ihre Vereinigung erst einen späteren Prozeß darstellt. Hätte diese Vereinigung unmittelbar nach der Bildung der neuen Dünenkette stattgefunden, so würde man bei den Bohrungen nur Sand finden. Hat sie jedoch später stattgefunden, so müssen die jetzigen großen Längstäler sich unter den Dünen fortsetzen und in der Form von Torfschichten in den Bohrkernen auftreten.

BLINK (1895) sagt: „Auf dem Strandwall bildeten sich auf den höchsten Teilen Dünen. So entstand der Anfang einer Dünenreihe, welche sich allmählich ausdehnte Auch wurde auf dem Strandwall in großer Entfernung — öfter 1 km oder mehr — von der bestehenden Dünenreihe eine neue gebildet; diese schnitt einen Teil des Strandes vom Meere ab und so entstanden die Längstäler, welche noch heutzutage die Binnendünenrücken trennen.“

„Die Dünen breiteten sich viel weiter nach Westen aus als heute und in den ersten historischen Zeiten hatten sie noch ihre volle Breite. Der Sand wurde landeinwärts verweht; dieser Vor-

gang hatte jedoch keine große Ausdehnung. Die Täler wurden überschüttet und lokale Torfbildungen überdeckt. So breiteten die Dünen sich auch nach Osten aus. Anfänglich jedoch fand die Zunahme hauptsächlich nach Westen statt.'

Auch LORIE (1893) nimmt eine ähnliche Dünenbildung an, hebt daneben jedoch hervor, daß die jüngere Dünenreihe sich nicht sofort schloß, so daß bei Flut das Meer noch Zugang hatte und die auf- und abgehenden Gezeiten den Längstälern eine fast wagerechte Oberfläche verliehen¹⁾, welche sich nach den offenen Seiten hin etwas senkte, aber doch im ganzen nur wenig vom AP abwich. LORIE (1893) gibt in seiner Karte der Binnendünen für das Tal von Haarlem bei Vogelenzang — 0,05 m, bei Heemstede — 0,05 m, bei Overveen — 0,10 m und bei Haarlem — 0,25 m an. Dieses Tal liegt also fast wagerecht, denn die Entfernung von Haarlem bis Vogelenzang beträgt etwa 8 km.

Als später diese Teile des Strandwalles völlig gegen die Flut abgeschlossen waren, wurden sie während der ersten Zeit, nach DUBOIS (1910), von den neugebildeten Dünen überschüttet. In trockenen Jahreszeiten, als ihre Oberfläche nicht durchnäßt war, wurden sie vom Winde bis auf dasjenige Niveau abgeblasen, in welchem das kapillar aufsteigende Grundwasser den Sand feucht hielt und dadurch ein tieferes Ausblasen unmöglich machte. Dieses Niveau war ein fast wagerechtes, weil das Grundwasser in dem neugebildeten, ziemlich homogenen Strandwall noch keinen störenden Einflüssen unterworfen war. Nach dieser Auffassung hat also die ursprüngliche Oberfläche der Täler keinen Einfluß auf ihren jetzigen Zustand und wurde dieser letztere durch die kombinierte Wirkung von Grundwasser und Wind bestimmt. Ich halte diese von DUBOIS gegebene Entstehungsweise für die richtige.

§ 4. Geschichte der Dünenlandschaft.

Im obigen habe ich eine kurze Übersicht der Theorien über die Genesis der niederländischen Dünenlandschaft nach LORIE, BLINK und DUBOIS, soweit sie in den Rahmen dieser Arbeit passen, zu geben versucht. Auf Grund meiner eigenen Untersuchungen glaube ich mir die weitere Entwicklung der Dünenlandschaft folgendermaßen vorstellen zu dürfen.

Schließen wir an die Theorie von DUBOIS an, so dürfen wir nicht vergessen, daß die Längstäler, der säkularen Senkung wegen, zur Zeit ihrer Bildung höher gelegen waren als jetzt. Als sie dann allmählich vom Winde nivelliert wurden und die Senkung weiter ging, wurden sie stets feuchter, bis schließlich der Wind fast keinen Einfluß mehr auf sie hatte. Das sich in ihnen ansammelnde süße Wasser ermöglichte die Bildung einer Meso- und Hygrophytenflora und damit auch von Torf. Diese so entstandenen

¹⁾ „Wenn dem so ist, so haben die Gezeiten doch nicht vieles zu ebnen. Der Strandwall ist doch meistens eine ebene Fläche, welche bei einer sinkenden Küste mit genügender Anschwemmung einen Böschungswinkel von 1—2° hat“ (BRAUN 1911). Kleine Abschnitte, wie es die Dünenlängstäler sind, werden schon aus diesem Grunde fast wagerecht sein können.

Torfschichten finden wir jetzt unter den Wiesen wieder. Als diese Vertorfung schon weit vorgeschritten war, erfolgte, vielleicht durch eine Änderung des Klimas, ein Überschütten der Täler durch die nordwestwärts von ihnen liegenden Dünen. Höchstwahrscheinlich war dies eine trockene, nicht sehr lange andauernde Zeit, wie es die Breite der überschütteten Streifen in den Längstälern deutlich zeigt. Die Dünen waren damals noch ziemlich jung und kalkreich. Während dieser trockenen Zeit fand auch eine Ausbreitung der Dünen nach dem Westen hin statt. Diese Wanderung und Neubildung wurde durch eine feuchte ziemlich warme Periode abgeschlossen, während welcher die Dünenlandschaft sich mit Vegetation überdeckte und die Torfbildung zunahm. Dadurch wirkte diese feuchtwarme Periode in starkem Maße auslaugend auf den Boden. Der Kalk wurde aus den oberen Schichten ausgelaugt und in der Nähe des Grundwasserspiegels aufgespeichert. In dem kalkarmen ausgelaugten oberen Sande, welcher allmählich auch seinen Kali- und Phosphorgehalt eingebüßt hatte, fand der sich bildende Rohhumus fast nichts anderes als Quarz vor, und mußte seine chemische Verwitterung somit eine unvollständige sein. Der oberflächliche Quarz wurde stark angegriffen und es entstanden feinere Partikelchen, welche samt den Humusverbindungen vom Regenwasser in senkrechter Richtung hinabgeführt wurden (v. D. HULL 1838), bis sie in einer bestimmten Tiefe, je nach den örtlichen Bedingungen, abgesetzt wurden. Mit diesen unvollständig verwitterten Humusverbindungen wurde der Sand allmählich verkittet und es bildete sich eine ziemlich undurchlässige Schicht. Sobald aber eine solche entstanden war, mußte sie rasch an Dicke zunehmen, und so entstand die in unseren Binnendünen meist farblose „Ortsteinschicht“, welche in sehr wechselnder Dicke vorkommt und die Feuchtigkeitsverhältnisse des über ihr liegenden Bodens stark beeinflußt. Die obere ausgelaugte Bodenschicht von blasser, meist weißer Farbe ist der unfruchtbare „Bleichsand“ (MÜLLER 1899; v. LEININGEN 1911), welcher direkt unter der Wurzelnarbe liegt. Wie leicht ersichtlich, ist die Reihenfolge der Schichten dieselbe, wie beim Heidesand. Während alle diese Prozesse in der „zweiten“ Dünenlandschaft sich unter dem Einfluß eines feuchtwarmen Klimas abspielten, fand naturgemäß an der Meeresseite nur wenig Neubildung statt. Dieselben Faktoren, welche ein Wandern der bestehenden Dünen verhinderten, hemmten auch die Neubildung an der Küste. Es geschah sogar gerade das Gegenteil, es fand nämlich in dieser Zeit der starken Verwitterung eine allmähliche Abnahme statt und die Vernichtung der Dünen von Belgien und Zeeland¹⁾ und Südholland erfolgte, während auch von Texel bis

¹⁾ Bei der Vernichtung der Dünen in Belgien und in Zeeland (im Süden der niederländischen Küste) wurde der Torf überflutet, mit Salzwasser gesättigt und von den darauf abgesetzten Sedimenten zusammengedrückt. Dieser Torf wurde im Mittelalter bis zum Ende des XVI. Jahrhunderts in Zeeland ausgegraben, getrocknet und verbrannt. Darauf wurde die Asche mit Meerwasser gemischt und ausgelaugt, dann die Lösung eingedampft und das Salz daraus gewonnen (BEEKMAN).

Kamp eine Zerstückelung und Vernichtung eintrat. Wie schon gesagt, müssen wir für die weitgehende Auslaugung der sonst so beweglichen Dünenlandschaft eine Ruhezeit mit reichlichem Niederschlag annehmen. Diese machte fast jegliche Neubildung unmöglich, doch hätte diese wohl nicht gänzlich ausbleiben können, wenn nicht noch andere Faktoren hinzugekommen wären.

Da die ganze Landschaft, auf welcher die dünenvernichtenden Faktoren arbeiteten, jetzt durch Meereseigenschaft verschwunden ist, betreten wir hier das Gebiet der Vermutungen, welche jedoch auf noch heute sich geltend machenden Faktoren der Dünenzerstörung und Küstenabnahme basiert sind. Bei einer so starken Abnahme hat die Senkung die Anschwemmung übertroffen. Weiter läßt sich aus der größeren Abnahme im Norden und im Süden schließen, daß höchstwahrscheinlich eine aus dem Süden und vom Pas de Calais herrührende Strömung stärker wurde, immer mehr Material wegfürte und den Strandwall angriff. So wurde der Meeresboden vertieft, die Böschung des Strandwalles wurde eine größere und die Dünen konnten von den Fluten erreicht und angegriffen werden. Die Zerstörung durch diese Strömung machte sich im tieferen Teil der Bucht weniger geltend und so ist der große Dünenkomplex von Bergen und Schoorl zu erklären, welchem meiner Ansicht nach dasselbe Alter zuzuschreiben ist, wie den Binnendünen; hierfür spricht nicht nur ihre oberflächliche Kalkfreiheit, sondern vor allem ihre unten zu besprechende Vegetation.

Zu dieser Zeit der Vernichtung war unser Küstensaum schon bewohnt. Germanische Stämme und die Römer hatten in der Nähe des Meeres ihre Ansiedelungen. Hierüber besteht eine reiche Literatur, aus der ich nur die Mitteilungen über den Ne-hallenniatempel, die Brittenburg (STARING 1856) und den Friedhof bei Katwyk (EVELEIN 1910) erwähne. Erst im III. Jahrhundert machte sich die Abnahme dem Menschen recht bemerkbar (LORIE 1893), als die Zerstörung allmählich ihren Höhepunkt erreicht hatte.

Bis jetzt waren also eine starke Verwitterung und Ruhe der Dünenlandschaft, eine fortschreitende Vertorfung der großen Täler und eine Abnahme an der Meeresseite gleichzeitig vor sich gegangen. Die Folgen waren: eine reiche Hygro-Mesophytenflora in den Tälern, eine Auslaugung des Dünensandes an seiner Oberfläche, Bildung von Ortstein in der Tiefe, dadurch Abänderung der Feuchtigkeitsverhältnisse des Bodens und Abnahme seiner Porosität, welcher letzterer Vorgang die Bildung von Tümpeln hervorrief. Alle diese Faktoren zusammen hatten eine „Verheidung“ des Dünensandes zur Folge, die sich in einer kalkfliehenden Flora, einer Heideflora, äußerte.

Wenn wir nun die Literatur über diese Frage zu Rate ziehen, so stimmen alle Autoren darin überein, daß, abgesehen von einigen geringfügigen Unterbrechungen, diese Abnahme bis in unsere Zeit fortgedauert hat. BLINK (1895) sagt: Es ist vor allem die Abnahme an der Küste . . ., welche eine scheinbare, landeinwärts gerichtete Bewegung der Dünen veranlaßt. In historischen Zeiten

hat das Gegenteil von Ausbreitung, nämlich eine Abnahme der Dünen stattgefunden. LORIÉ (1893) erwähnt ebenfalls nur Abnahme, aber in seiner Arbeit von 1897 auch eine lokale Zunahme in der Mitte.

Meines Erachtens findet aber dieses Fortdauern keineswegs statt. Die Ruheperiode, in der die Dünen, dazu durch klimatische Bedingungen veranlaßt, sich befanden, muß ein Ende genommen haben. Die Bedingungen wurden wieder ganz andere und der Wind konnte beim Zurückgehen der Feuchtigkeitsverhältnisse wieder die nun trockene Dünenlandschaft umgestalten. Die in der Verwitterungsperiode entstandene obere, feinkörnige, mit Humus reichgemischte, braungefärbte Schicht wurde, der Feinheit des Materials wegen, leicht vom Winde verführt. Dieser übergewehte Sand war fast steril, bestand nur aus Quarz und Humaten, und füllte die Vertiefungen und Niederungen aus. Auch die Längstäler wurden teilweise oder ganz durch diesen feinen Sand überschüttet. Als die Verwehung weiter ging, wurde die untere kalkreiche, fruchtbare Schicht bloßgelegt und kam an einigen Stellen in den alten Binnendünen an die Oberfläche. Mit der Abnahme der Niederschläge wurde der Grundwasserspiegel wahrscheinlich niedriger und ein Teil der kalkreichen Schicht konnte dadurch dem Winde anheimfallen. Es ist selbstverständlich, daß in dieser Zeit die Binnendünen stark an Höhe abgenommen haben, weil sie ohne weitere Sandzufuhr verwehten: dieselbe Menge von Material wurde auf einer größeren Oberfläche ausgebreitet und in den Niederungen von der Vegetation festgehalten¹⁾. Inzwischen hatte sich an der Küste ein Umschwung vorbereitet. Das ins Meer gerissene Material aus dem Süden war durch Küstenversetzung wohl in der Bucht angeschwemmt und aufgespeichert worden. Daß ein solches Material vorhanden gewesen sein muß, geht daraus hervor, daß jetzt eine energische Neubildung anfangt, welche meines Erachtens vom V.—IX. Jahrhundert andauerte. Denn nur bei großer Zufuhr konnte in kurzer Zeit eine Landschaft mit hohen Dünen gebildet werden. Diese waren im tiefsten Teil der Bucht am breitesten und verschmälerten sich gegen Norden und Südwesten. Dadurch kamen die alten Dünen in den Windschatten, konnte ihre Vegetation ihre Rechte wieder geltend machen und hörte ihre Wanderung auf. Diese niedrigen, alten Dünen wurden an der Meeresseite von den neugebildeten Dünen überschüttet.

Die Flora der alten Dünen war, wie bereits erwähnt, einem dichten kalkfreien Boden angepaßt und nur einige ihrer Vertreter konnten auf dem frischen grobkörnigen, kalkreichen Sand, dessen physikalische, speziell hydrologische Eigenschaften ganz andere

¹⁾ Diese Verwehungen äußern sich heutzutage noch in den durch Sandabgrabung erhaltenen Kulturfeldern. Hier finden wir nebeneinander in demselben Niveau kalkarme, feinkörnige, unfruchtbare, braune und kalkreiche, grobkörnige, fruchtbare, graue Streifen. Diesen Wechsel der Bodeneigenschaften könnte man sich in der oben beschriebenen Weise entstanden denken. Wo dieser feine Sand stellenweise vorkommt, wird er ausgegraben und frischer, kalkhaltiger, grober Sand an seine Stelle gebracht.

waren, leben. Auf den neuen, kalkhaltenden Dünen siedelte sich eine diese charakterisierende Flora an.

Im Anfang des XII. Jahrhunderts traten an vielen Stellen der Küste wieder große Verheerungen auf. Die Bewegungen an unserer Küste, welche von der letzten Hälfte des XVI. Jahrhunderts bis auf heute stattfanden, wurden von LORIÉ (1897) übersichtlich dargestellt. Die von ihm gegebenen Ziffern sind von ± 1550 —1843 auf historischen Angaben basiert. Solche Zahlen sind aber offenbar mit Vorsicht aufzunehmen, weil man in diesem Zeitraum noch keine festen Merkzeichen am Strande hatte, wie heute, und sie somit nur geschätzt werden konnten. LORIÉ berechnet aus 100 jährigen Perioden ein Jahresmittel für die Abnahme und schließt daraus, daß die Abnahme im XVI. und XVII. Jahrhundert eine kräftige war; im Süden bei Monster und 's Gravesande, im Norden bei Callantsoog und Huisduinen am stärksten zutage trat, dagegen bei Zandvoort, Wyk aan Zee, Noordwyk und Katwyk, und sogar bei Scheveningen viel geringer war. Die Ziffern von 1843—1907 sind auf Messungen basiert, welche an den seit 1843 längs der Küste aufgestellten 119 Marken gemacht worden sind. Hieraus berechnet er die Jahresmittel für 10 jährige Perioden. Im allgemeinen konstatiert er einen Zurückgang der jährlichen Abnahme in den letzten Zeiten und eine viel geringere Abnahme in der Mitte, als im Norden und Süden; er findet sogar für die Mitte vielfach Zunahme. Wo im Norden und Süden Neubildung stattfindet, ist dieses nur der menschlichen Nachhilfe zu verdanken.

Dieselben Faktoren, welche auch jetzt noch im Norden und Süden Abnahme, im mittleren Teil der Bucht Zunahme veranlassen, beeinflußten damals die Form der neugebildeten, kalkreichen Dünenlandschaft, welche, wie bereits erwähnt wurde, in der Mitte — bei Haarlem bis Velsen — am breitesten, nach Norden und Süden aber schmaler ist.

§ 5. Beweise für die Geschichte der Dünenlandschaft.

(Profil III.)

Für die allmähliche Senkung des Bodens, die Bildung des Strandwalles, die Ausbreitung der Dünenlandschaft nach Westen in prähistorischen Zeiten und die darauffolgende Abnahme an der Meeresküste, haben VAN BEMMELEN, BLINK, DE BRUYN, DUBOIS, LORIÉ, MOLENGRAAFF, RAMAER und STARING Beweise angeführt.

Nach LORIÉ (1893) sind die „Binnendünen“ mit dem Strandwall und den flachen „Geestgronden“ ein Ganzes und ist der Strandwall älter, als der anliegende Torf der Polder, welcher, wie auch BEEKMAN angibt, auf dem Strandwall sich auskeilt. Auch hat LORIÉ (1893) bewiesen, daß die Torfschichten unserer „Binnendünen“ nur lokale Bildungen sind, und daß von einer kontinuierlichen Torfschicht, wie sie in Belgien vorkommt, hier nicht die Rede sein kann.

Bis soweit schließe ich mich im großen und ganzen den oben genannten Autoren an. In diesem Kapitel möchte ich meine Beweise für die Theorie anführen, daß die wiederholte Zu- und Abnahme der Dünenlandschaft auf einen periodischen Wechsel der seit der letzten (baltischen) Eiszeit herrschenden klimatologischen Bedingungen unserer Küste zurückzuführen ist. Zu diesem Zweck wiederhole ich noch einmal kurz die wichtigsten Daten dieser Entwicklungsgeschichte.

1. Als die Torfbildung in den Längstälern der alten Dünen schon längere Zeit gedauert hatte, fand eine teilweise Überschüttung durch die damals noch kalkreichen Dünen vom Westen her statt.

2. Dieser Überschüttung folgte eine feuchte Periode, während welcher sich die alte Dünenlandschaft im Ruhezustand befand; es fand eine starke Auslaugung des Bodens statt, und die Torfschicht in den Tälern nahm an Dicke zu.

3. Zur gleichen Zeit fand an der Meeresseite die große Abnahme statt, welche mit der Zerstörung der alten nordfranzösischen, belgischen und südniederländischen Dünen endete, während auch die nordniederländischen stark angegriffen wurden.

4. Auf diese Zerstörungsperiode, welche sehr lange dauerte, folgte eine trockene Zeit, welche die Bildung einer neuen Dünenlandschaft hervorrief, die sich in der Mitte der Küstenbucht, zwischen Scheveningen und Wyk aan Zee am stärksten äußerte. In derselben Zeit wurden die bestehenden, festliegenden, alten Dünen wieder lebendig und wanderten in östlicher Richtung. Die neue Dünenlandschaft hat die alte teilweise überschüttet und ist in historischen Zeiten gebildet worden.

Für die unter 1, 2 und 4 genannten Angaben fand ich die Beweise in den Profilen der Sandgruben der alten Dünen. Man fängt bei der Ausbeutung einer Sandgrube stets damit an, einen Kanal zu graben, welcher für den Sandtransport dient. Der Wasserspiegel dieser Kanäle liegt im selben Niveau wie der der Polderkanäle, dem sie angeschlossen werden. Wie erwähnt, liegen die Polder ungleich hoch, und demzufolge ist auch der Wasserspiegel der ihnen angehörigen Sandgruben verschieden. Immerhin ist er viel niedriger als der Wasserstand in den noch nicht angegrabenen Dünen und infolgedessen wird die alte Dünenlandschaft rings um die Grube stark drainiert, was sich in einer Verkümmern der Flora äußert.

Diese Abgrabungen bieten uns also den Vorteil, daß sie Profile bis unter dem Dünenwasserspiegel bloßlegen. Das Abgraben findet meistens nicht tiefer als 0,40—0,75 m über dem Niveau der Kanäle statt.

In allen von mir untersuchten Sandgruben der alten Dünen von Haag bis Haarlem fand ich nun mit geringen Abänderungen dasselbe Bild. An den Rändern der Kanäle liegen als Reste des weggeführten Aushubmaterials die gebleichten und sehr zerbrechlichen Schalen von *Macra stultorum* und *Cardium edule* zerstreut, welche der Muschelbank des ehemaligen Strandestammes entstammen.

Während ihrer Bildung war diese Muschelbank, welche sich damals mit der alten Dünenlandschaft viel weiter nach Westen ausdehnte, einer allmählichen Senkung unterworfen. Aber die älteren östlichen Teile der Bank waren dieser Senkung länger unterworfen als die jungen westlichen und so zeigt sie (DUBOIS 1911) einen nach Westen allmählich ansteigenden Verlauf und liegt östlich unter den inneren alten Dünen $\pm 0,50$ m — AP. Durch die Zerstörung verschwand mit einem Teil der alten Dünenlandschaft auch diese unter ihr liegende Muschelbank. Als dann die Meerestransgression noch weiter fortschritt, kam die Bank durch ihr gegen Osten gerichtetes Gefälle unter dem Meeresboden zu liegen (Profil III 1 b) und blieb also fernerhin ungestört.

Als die Zerstörung aufhörte, zeigte die alte Dünenlandschaft ein Kliff¹⁾. Bei der darauffolgenden Neubildung von Dünen wurde eine neue Muschelbank (3 b) auf dem heutigen Meeresniveau und über der alten Bank gebildet. Dieses Faktum habe ich nirgendwo erwähnt gefunden; dennoch muß es offenbar stattgehabt haben. Denn wenn z. B. jetzt bei Bergen eine Neubildung stattfinden würde, dort wo ein altes Dünenkliff am Meere aufragt und bei Ebbe eine Torfschicht auf dem Strande sichtbar ist, unter der die alte Muschelbank durch Bohrungen nachgewiesen wurde, so müßte sich offenbar auf dieser Torfschicht eine neue Muschelbank bilden. Diese würde dann in den neuen Strandwall aufgenommen werden und die beiden Muschelbänke würden übereinander liegen und durch die Torfschicht getrennt sein.

Wo die Abnahme weniger stark gewesen ist, kann es vorkommen, daß die neue Bank sich an die alte anschließt.

Ich stelle mir einen Querschnitt des westlichen Dünenkomplexes unserer Küste so vor, wie er in Profil III dargestellt worden ist. Der rechte Teil dieser Skizze beruht auf Beobachtungen, die an den Profilen der Sandgruben gemacht wurden; der linke Teil ist aus Bohrungen bekannt. Die Lage des Kliffs der alten Dünenlandschaft aber, sowie die der Muschelbänke in der Mitte ist hypothetisch. Natürlich ist hier auch der Zustand der Muschelshalen ausschlaggebend. Der alte Strand besteht aus stark angegriffenen, der jüngere aus ziemlich frischen Schalen.

DUBOIS (1911) konstatierte, daß die Muschelbank in der Nähe von Haarlem unter den östlichen, alten Dünen $\pm 0,50$ m — AP liegt; unter den westlichen dagegen reicht sie bis 3 m + AP. Bei verschiedenen Bohrungen fand er, daß die Neigung der Bank im westlichen Teil eine kleinere ist, als im östlichen und schließt daraus, daß der jüngere westliche Teil sich während der säkularen Senkung schnell gebildet hat.

Ich muß dieser Ansicht völlig beistimmen und hebe dazu noch hervor, daß auch der Kalkreichtum der Dünen bei Overveen in einer Distanz von $4\frac{1}{2}$ km vom Meere auf die schnelle Bildung dieses Komplexes zurückzuführen ist; denn sonst hätte in den östlichen Teilen eine oberflächliche Auslaugung stattfinden müssen.

¹⁾ Kliff = Angefressene Düne am Strande (BRAUN, 1911).

In den Sandgruben finden wir oberhalb der alten Muschelbank einen grobkörnigen, kalkreichen grauen Sand. Dieser wird in der Praxis vielfach für Verbesserung solcher Kulturböden benutzt, welche kalkarm und wenig porös sind; die Grobkörnigkeit des Sandes erhöht die Porosität und der fein verteilte kohlen saure Kalk macht den Boden wieder „lebendig“. Er ist unter dem Namen „grauw Klinkzand“ bekannt¹⁾.

Die Erosionsprofile in den alten Dünen sind auffallend steil, in den jungen Dünen viel flacher. Wenn ein Profil während langer Zeit nicht gestört wird, so erhärtet der Sand. In diesem festen Sand graben die Uferschwalben, *Hirundo riparia*, mit Vorliebe die Gänge für ihre Nester, nie aber in dem Sande der jungen Dünen, weil dieser zu locker ist. Die meisten Erosionsflächen laufen von Osten nach Westen und gehen von den alten Längstälern aus. In diesen liegt eine dicke Torfschicht, welche sich ungleich weit unter den Dünen ausbreitet. Hier ist die Torfschicht zusammengepreßt, hart und tiefschwarz, wird „Darie“ oder „Derrie“ genannt und liefert einen festen Torf, der stellenweise als Heizmaterial verwendet wird²⁾.

Gegen Westen erreicht die Torfschicht eine beträchtliche Dicke und keilt dann ziemlich plötzlich aus. Dieses wurde von mir konstatiert bei „Twistduin“ in der Nähe von Noordwykerhout, bei „Hanenburg“, südlich von Haag und bei Vogelenzang. In der „Darie“-Schicht fand ich Wurzeln und Holz von: *Populus*, *Quercus*, *Betula*, *Salix* und Reste von *Phragmites*, *Eriophorum* und *Carices*. Die Bäume wurzelten in dem unterliegenden Sande.

Nach einer freundlichen Mitteilung des Herrn J. VAN BAREN werden diese Funde bestätigt durch noch nicht publizierte Bestimmungen, welche der bekannte Moorkenner C. A. WEBER für ihn an Stücken dieser Torfschichten durchführte.

¹⁾ Nur das Vorkommen dieses Sandes macht es lohnend, die alten Dünen abzugraben. Wo er nicht vorhanden ist, ist es nur mit großen Kosten möglich, die durch Abgrabung erhaltene Ebene in fruchtbares Land umzugestalten. Die Kulturfelder, die durch Abgrabung entstanden sind, liegen dann auf dem alten, nur aus Sand bestehenden Strandwall, und infolgedessen sind die Grundwasserbedingungen hier sehr einfache. Wenn die Felder nicht groß sind, so steht das Grundwasser überall etwa in gleicher Höhe. Liegen dagegen Torfschichten unter den Feldern, so wird der Stand des Grundwassers von diesen bedeutend beeinflußt. Ähnliches hat DUBOIS (1909) für die Dünenkessel festgestellt, indem er mehrfach in demselben Tal bedeutende Schwankungen des Grundwasserspiegels wahrgenommen hat.

Der Boden über solch einer Torfschicht kann nur kulturfähig gemacht werden, wenn stellenweise Stücken von $\pm 1 \text{ m}^2$ Oberfläche oder lange Streifen von Torfschicht ausgegraben werden. Denn es wird dadurch die Verbindung zwischen Sickerwasser und Grundwasser wiederhergestellt. Das erstere kann dann im Winter abfließen, das letztere im Sommer aufsteigen.

²⁾ Meistens jedoch wird der nasse Torf während des Winters der Kälte und dem Regen ausgesetzt, zerfällt dann und wird im Frühling mit dem Sandboden gemischt, dessen Wärme- und Feuchtigkeitskapazitäten dadurch beträchtlich erhöht werden. Wenn jedoch der Boden frei von Humus bleiben soll, so wird der Torf weggeführt und als Topferde in den Handelsgärtnereien gebraucht. Auch wird er samt seinen Fossilien nach Aalsmeer und Zaandam versandt für das Ausfüllen von Tümpeln. In letztgenannter torfiger Gegend ist Ausfüllen mit Sande eine Unmöglichkeit, weil der schwere Sand in die Tiefe verschwinden würde. Welche Schwierigkeiten ein so vom Menschen verändertes Land wie Niederland dem Geologen darbietet, geht aus diesen Beispielen wohl hervor.

Ferner verdanke ich Herrn VAN BAREN die Mitteilung, daß unter den gefundenen Samen sich auch diejenigen von *Menyanthes trifoliata* befanden, welche Pflanze auch jetzt noch typisch ist für die feuchten Niederungen der alten Dünen, und sich dort höchstwahrscheinlich trotz wechselnder Bedingungen bis heute behauptet hat (z. B. unweit Ruigenhoek bei Noordwykerhout, bei Bergen und am Zwanenwater).

Wo die Torfschicht nach Westen hin endet, entwickelt die Düne sich ungestört auf dem Strandwall. Der „graue Klinkzand“ erreicht hier eine bedeutende Höhe, wechselnd mit derjenigen der Düne. Auf ihr folgt nach oben eine kalkfreie Schicht, welche blendendweiß, jedoch auch grau oder bräunlich sein kann. Sie besteht aus armem, ausgelaugtem Blei- oder Bleichsand, dessen Schichten einen sehr unregelmäßigen Verlauf haben, und deren Vertiefungen von einem braunen, kalkfreien Sand ausgefüllt sind. Mechanische Analysen lehren, daß dieser Sand sehr viel Staub enthält und feinkörnig ist, während die chemischen Analysen eine große Armut an Nährstoffen zeigen. Auf diesen Schichten ruht die heutige Vegetationsnarbe.

Nach Osten hin wird in das Profil die Torfschicht aufgenommen, welche, wo sie früher als freies Tal im Westen an den Dünenfuß anlehnte, dicker ist als sonst. Dies beruht wohl auf einer Beimischung von Sand, durch welche es bedingt ist, daß sie bei der späteren Überschüttung nicht so stark zusammengepreßt werden konnte. Diese Torfschichten bildeten sich in den alten Tälern, welche bei ihrer Entstehung etwa 4 m höher lagen als heute. Sie waren mit einer üppigen Vegetation bedeckt, während das Sickerwasser aus diesen Tälern den unterliegenden kalkhaltenden Boden auslaugte. Demgemäß finden wir in unserm heutigen Profil unter der Torfplatte einen bläulich-braunen, kalkarmen Sand, welcher nach unten in den kalkreichen „grauen Klinkzand“ übergeht.

Über der Torfschicht wiederholt sich dieselbe Schichtenfolge, welche ich für die Dünen ohne Torfschicht beschrieben habe; also von unten nach oben „grauer Klinkzand“, Bleichsand und brauner staubreicher Sand. Nach Osten hin keilen die beiden ersten allmählich auf der Torfschicht aus, und werden von der braunen Schicht überdeckt, welche sich noch eine Strecke weit über das Tal fortsetzt.

Dieser braune, staubreiche Sand erreicht öfter eine Dicke von 4—5 m, wie ich das bei Hanenburg (Haag), Bartenbrug (Vogelenzang), Oosteinderbrug (Lisse) und Djati Oedjong (Noordwykerhout) konstatieren konnte. Sie ist meistens mit Gehölz, *Quercus pedunculata*, *Pinus maritima*, *Betula alba*, *Populus tremula* und mit Heide bewachsen. Überall fand ich in ihr dünne Bänkchen von Ortstein (Twistduin, Bartenbrug, Hanenburg, Bulb Company Vogelenzang, Oosteinderbrug).

Aus dem bisher über die Profile Gesagten ist folgendes zu schließen:

Ursprünglich war hier ein Dünental, an seiner Westseite von Dünen begrenzt. Das Tal hatte eine üppige Vegetation und es

fand eine starke Torfbildung statt. Dieser Torf ist im zusammengepreßten Zustand öfter mehr als 1 m dick. Das Sickerwasser aus diesem damals \pm 4 m höher liegenden Tal hat den unterliegenden Sand ausgelaugt. Darunter liegt kalkhaltender Sand. Daß diese Torfbildung sich ungestört entwickeln konnte, muß einer feuchten Periode zugeschrieben werden, welche eine Wanderung der Dünen unmöglich machte. Wenn wir die neuesten Angaben über Torfbildung zugrunde legen (\pm 2 mm pro Jahr Dickenzunahme, DUBOIS 1911), so sind für eine 1 m dicke, nicht zusammengepreßte Schicht etwa 500 Jahre erforderlich gewesen. Für diese harte „Darie“-Schicht muß somit wohl eine viel längere Periode angenommen werden. Nachher fand vom Westen her eine Überschüttung durch die Dünen statt, welche selbst dabei niedriger wurden. Eine solche Bewegung war in einer trockenen Periode möglich; diese fand für diese Gegend in prähistorischer Zeit statt. Aus dem Vorkommen des kalkreichen „grauwen Klinkzand“ und des kalkarmen Bleichsands müssen wir somit auf eine Ruheperiode der Dünenlandschaft schließen, welche dieser Überschüttung folgte.

Weil die „grauwe Klinkzand“-Schicht über Torf und ohne diesen sich im selben Niveau fortsetzt, kann die Auslaugung erst nach der Überschüttung stattgefunden haben und müssen die nach Osten wandernden Dünen damals noch kalkreich gewesen sein. Die Auslaugung weist darauf hin, daß es eine feuchte Periode war. Die Muschelschalentrümmer lösen sich nur sehr langsam in CO₂ haltigem Wasser. Bei verschiedenen Abgrabungen finden wir eine Bleichsandschicht von 3—5 m Dicke, zu deren Auslaugung eine lange nasse Periode unbedingt erforderlich gewesen ist, und diese muß eine üppige Vegetation ermöglicht haben.

Aus dem eigentümlichen Vorkommen des braunen, staubreichen Sandes, der die Vertiefungen der Bleichsandschicht ausfüllt, die Schichtenfolge nach Osten abdeckt und das Tal teilweise überschüttet hat, ist zu schließen, daß er die jüngste Bildung ist und vom Winde transportiert sein muß.

Dieses war nur in jener trockenen Periode möglich, welche der vorhergehenden feuchten Zeit folgte. Wie oben erwähnt, ist dieser Sand feinkörniger als der unterliegende Bleichsand und arm an Nährstoffen, dazu stark mit Humaten gemischt, die bei Erhitzung deutlich erkennbar sind und staubreich, was auch auf Verwitterung hindeutet. Dieser Sand muß also die Vegetationsschicht sein, welche sich in der vorigen, feuchten Periode bildete. Durch die veränderten, für die Flora ungünstigen Bedingungen, wurde die Vegetation spärlicher und konnte der feinkörnige Sand sehr leicht vom Winde weggeblasen werden¹⁾. Dadurch wurde die alte Dünenlandschaft nivelliert und die große Heidefläche gebildet, welche wir namentlich bei Loosduinen, Noordwykerhout und Helder vorfinden.

¹⁾ SOLGER (1910) nennt bei deutschen Dünen die feinkörnige Schicht das „jüngst Übergewehte“.

Die bisher betrachteten Profile stammten alle aus Sandgruben der alten Dünen. Besuchen wir dagegen die Grube bei Overveen, welche in der Mitte von kalkreichen neuen Dünen liegt, so finden wir den oberen Teil des Profils von einer mit frischen Muschelschalentrümmern gemischten Schicht gebildet, welche mit der Höhe der Dünen an Mächtigkeit wechselt, ziemlich homogen ist und nur stellenweise Schichtchen aufweist, welche mehr oder weniger zahlreiche Kalkpartikelchen enthalten. Unter dieser Schicht finden wir dann das bekannte Profil der alten Dünen wieder: Staubschicht, Bleichsand, kalkreichen Sand, Torfschicht, Bleichsand, kalkreichen Sand und zu unterst die Muschelbank, welche letztere hier erst in einer gewissen Tiefe unter dem Grundwasserspiegel auftritt, jedoch mit einem Spaten sehr gut zu fühlen und sogar zu hören ist: der Spaten krächzt. Aus diesem Profil geht deutlich hervor, daß die alte Dünenlandschaft hier von einer neuen überschüttet worden ist. Dazu war offenbar eine trockene Periode erforderlich. Daß diese Überschüttung und die Bildung der neuen Dünenlandschaft schnell vor sich gingen, beweist ihr großer Reichtum an Kalk bei einer Entfernung von $4\frac{1}{2}$ km von der Küste.

Als ich diese Sandgrube am 12. Oktober 1911 wieder besuchte, zeigte sie ein etwas abweichendes Profil, weil die Abgrabung sehr viel weiter fortgeschritten war. Diesmal fand ich, daß die Torfschicht 2—4 m über dem Grundwasserspiegel lag und, aufsteigend, allmählich auszukeilen schien. Unmittelbar über ihr lag die neue homogene Düne, unter ihr der bekannte Schichtenkomplex der alten Dünen. Hier war also das Tal sofort von der jungen Düne überschüttet worden. Der unterliegende Bleichsand war auffallend dunkelbraun, fast bläulich bis schwarz; nach unten wurde er allmählich heller und ging in den hellgrauen Kalksand über. Die Wirkung der auslaugenden Kraft einer dichten Vegetation war hier sehr deutlich. Diese Torfschicht bildete die höheren Randpartien der im vorhergehenden Profil beschriebenen $1\frac{1}{2}$ m mächtigen Torfschicht, welche den zentralen Teil des ehemaligen Tales ausgefüllt haben dürfte und ± 1 m über dem heutigen Polderwasserniveau lag. Sie ist jetzt ziemlich undurchlässig und das Sickerwasser der aufliegenden Dünen träufelte mit Sand gemischt am Profil über der angeschnittenen Schicht herunter. Bei diesem Niederfallen des Wassers waren Miniatur-Schuttkegel entstanden, deren einige ± 50 cm Höhe erreichten. Im Winter gefriert dieses Wasser und häufen sich die Eismassen in den sonderbarsten Formen an.

Weitere Beweise für das Vorkommen der alten Dünen unterhalb der neuen Dünenlandschaft liefern viele der Wasserleitungs-kanäle bis auf $1\frac{1}{2}$ —2 km von der Küste. Diese schneiden überall „Darie“-Schichten an, die uns sowohl durch ihre Farbe als durch das ausfließende Wasser und durch die Vegetation — vielfach *Urtica dioica* und verschiedene *Chenopodiaceae* — ihre Lage verraten. In diesen Torfen findet man Hirschgeweihe und auch

Artefakten, die darauf hindeuten, daß diese Täler im VII. Jahrhundert noch bewohnt waren (STARING). Wenn wir die Stellen ihres Auftretens in dem Bohrprofil von PENNINK (1904, s. Profil IV) mit der Karte von LORIÉ (1893, Taf. I) vergleichen, so liegt die Vermutung nahe, daß die Schichten an dem Barnaartkanal, van Lennepkanal, Sprenkelkanal, Oranje-Kom und Oude Beek zum Teil Fortsetzungen der Torfschichten des Zilker und Haarlemer Tals, zum Teil diesen äquivalente Bildungen sind.

Die bisher beschriebenen klimatischen Perioden müssen sowohl in den Dünen als in den Tälern Änderungen der Flora veranlaßt haben und die alten Torfe der östlichen Dünentäler dürften hierfür beweisende Horizonte aufweisen. Ich selbst hatte für die Untersuchung dieser Torfe keine Zeit, doch hatte Herr J. v. BAREN die Güte, mir mitzuteilen, daß er unter Mitwirkung des Moorkenners Herrn C. A. WEBER die Untersuchung dieser Torfe vorgenommen habe.

Bisher haben wir gesehen, daß die alte Dünenlandschaft zwei Ausbreitungen gegen Osten erfahren hat, und daß eine neue Dünenlandschaft aufgetreten ist und die alte teilweise überlagert hat. Bei der ersten Ausbreitung der alten Dünen nach Osten hin waren die klimatischen Bedingungen wenigstens so, daß sie eine Ausbreitung gegen Westen ermöglichten.

Hierauf folgte die feuchte Periode, welche während langer Zeit die Dünenbildung an der Küste verhinderte. Es ist sehr gut möglich, daß sich in dieser Periode in der Mitte der damals stark gebogenen Küste vieles Material aufgespeichert hat, ohne zu Dünenbildung Veranlassung zu geben. Als dann die trockene Periode eintrat, konnte die Masse des anwesenden Materials unmittelbar verarbeitet werden, und so kann man sich nicht allein die schnelle Neubildung, sondern auch die gewaltige Transgression der neuen Dünen erklären. Dieselben Faktoren, welche diese Neubildung verursachten, müssen auch die zweite östliche Ausbreitung der alten Dünenlandschaft veranlaßt haben.

Hiermit sind Punkt 1, 2 und 4 erklärt und bleibt uns noch Punkt 3 zur Besprechung übrig.

Die durch die Auslaugung und Ruhe gekennzeichnete Periode hat, wie wir annahmen, Neubildung verhindert. Bewiesen ist, daß die Dünen sich viel weiter westwärts erstreckt haben. Die Vernichtung der Landschaft äußerte sich am stärksten im Süden. Die ganze Dünenlandschaft Belgiens wurde vernichtet und nach dem V. bis zum IX. Jahrhundert bildete sich ein neuer Strandwall mit Dünen auf dem Tiefmoor des Haffes. Hier fanden also sowohl eine Vernichtung als auch eine Zurückdrängung statt. In Zeeland und Südholland wurde die Dünenkette am Ende des III. Jahrhunderts zum Teil zerstört (MASSART 1908). Dagegen wurde bei Katwyk im VII. Jahrhundert ein Friedhof der Merovingier überschüttet. Dieser wurde im Jahre 1906 beim Ausgraben einer Sandgrube wieder gefunden und die Funde wurden im Jahre 1911 von EVELEIN und SASSE archäologisch und anthropologisch bearbeitet. Diese Stelle war schon in vorrömischen Zeiten be-

wohnt und ist ein künstlich aufgeschütteter Hügel, welcher auf Lehmboden ruht. Daß ein solcher Ort verlassen wurde, muß wohl der Überschüttung zugeschrieben werden. Die Verlandung der Rheinmündung (BLINK 1895) bei Katwyk im Jahre \pm 860 deutet ebenfalls auf Neubildung. In Belgien und Niederland fand also \pm 300 n. Chr. noch Zerstörung statt. In Belgien wurde eine ganz neue Dünenlandschaft gebildet, welche ihre heutige Lage schon seit dem IX. oder X. Jahrhundert angenommen hat (MASSART 1908). Wir wissen, daß Wanderung und Bildung der neuen und Wanderung der alten Dünen ungefähr zu derselben Zeit stattfanden. Der Wanderung der alten Dünen ging die Ruheperiode voraus — der Bildung der neuen die Zerstörung der alten —, somit muß die große Zerstörung während der Ruheperiode mit ihrem feuchten Klima stattgefunden haben.

Die Periode der Neubildung wurde ungefähr 1100 wieder durch große Zerstörungen unterbrochen und 1450 und 1570 sind für die ganze Küste berüchtigte Jahreszahlen. Wir wissen, daß die Abnahme noch fort dauert, obgleich sie in den letzten Jahrhunderten eine viel trägere geworden ist, während an vielen Stellen, sei es natürlicherweise, sei es durch menschliche Hilfe, eine Zunahme stattgefunden hat.

Aus den sämtlichen mitgeteilten Beweisen für die vier angegebenen Punkte gehen nun die folgenden Schlüsse hervor:

1. Es hat eine periodische Abwechslung klimatischer Bedingungen stattgefunden, welche sich in dem Dünenkomplex von Holland in zwei feuchten und drei trockenen Perioden äußerte.
2. Die „übergerollten“ oder „ostwärts bewegten“ Dünen von Belgien finden ein Äquivalent in den jungen holländischen Dünen.
3. Zwischen der Bildung des alten und des neuen Dünenkomplexes liegt ein langer Zeitraum, währenddessen ein großer Teil der alten Dünen zerstört worden ist.
4. Es hat nicht nur Neubildung stattgefunden, sondern auch eine Transgression der neuen Dünen über die alten.
5. Die letzte Neubildung und Transgression fand in historischer Zeit ungefähr vom V. bis zum XI. Jahrhundert statt.
6. Infolge der teilweisen Vernichtung der alten Dünenlandschaft mit ihrer gegen Osten abfallenden Muschelbank und der Entstehung der neuen Dünen mit einer neuen Muschelbank, müssen streckenweise zwei Muschelbänke übereinander vorkommen.

§ 6. Verbreitung der beiden geologisch verschiedenen Dünenlandschaften.

Wenn wir die Dünen von Holland hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung und der damit zusammenhängenden Pflanzenverbreitung betrachten, so finden wir, daß die beiden Landschaften

West. Geschichtliche Übersicht. Ost.

	Peri- ode	Neue Dünen- landschaft	Alte Dünen- landschaft	Torf der Längs- täler	Klima	
↑ S ä k u l a r e S e n k u n g ↓	Gegen- wart	Zunahme durch menschliche Hilfe und natürliche Zunahme	Abgrabung durch den Menschen	Wenig oder keine Zunahme durch den Menschen	↑	
	VI.—XI. Jahr- hundert	Transgression (3c)				↑
		Bildung der neuen Dünen (3d) Ausbreitung des Strandwalles (3a) mit neuer Muschel- bank (3b)	Verwehen der staubreichen, feinkörnigen Schicht (3c)			↑
	?—VI. Jahr- hundert			Germanische und römische Nieder- lassungen Auslaugung des Bodens	2 ^o Überschüttung der Torfe	↑
		Flachsee	Vegetation üppig — Wälder- Abnahme — Kliffbildung (2b)		Starke Ent- wicklung, Wälder	↑
	Postglazial-Prähistorisch		Ausbreitung der alten Dünen gegen W und O		1 ^o Überschüttung (2a)	↑
				Ruhe-Periode	Anfang der Torf- bildung (1d)	↑
				Bildung der alten Dünen (1c)	Nivellierung der Täler	↑
				Bildung des Strandwalles (Nehrung) (1a) mit der alten Muschelbank (1b)		↑
			Flachsee; Bildung von Meeres-Sedimenten			↑
Baltische Eiszeit		Land: Fluvio — glaziale Absätze — Torfbildung (jetzt 12—19 m — AP) Dünen? Haff? Verbindung mit England?			↑	
Inter- glazialzeit		Flachsee; Bildung von Meeres-Sedimenten (Eem-System)			↑	
Riß- Eiszeit		Land: Gletscher-Absätze; Blocklehme — erratische Blöcke — grober Sand			↑	

Die angeführten Zahlen beziehen sich auf Profil III. S. 291.

eine sehr wechselnde Ausdehnung haben. Fangen wir dazu im Süden des Festlandes an.

Bei Hoek van Holland nördlich vom Hafendamm findet Neubildung statt, welche erst nach Beginn des Dammbaues angefangen hat. Die südlichsten Bühnen von Delfland sind schon ganz unter dem Sand vergraben. Wo der schützende Einfluß dieses Dammes sich nicht mehr geltend macht, wurde diese Neubildung eine sehr spärliche und ist die Dünenlandschaft zu einem Deich, „Noordlandsche Dyk“, umgeformt worden, den man mit allerhand Hilfsmitteln zu verbreitern sucht. Dieser Sanddeich hat eine Länge von etwa 7 km (MP¹), 117 — MP 110). Bei Terheide fängt wieder die neue Dünenlandschaft an, bis südlich von MP 107, bei Smalduin, der Segbroek-Polder sich der Meeresküste nähert und die schmalen Dünen zu einem Deich nivelliert worden sind.

Von Hoek van Holland bis Smalduin liegt östlich von den neuen Dünen ein breiter Streifen „Geest“, welcher einige zerstreute niedrige, mit Heide bewachsene alte Dünen trägt. Diese alte Dünenlandschaft erreicht zwischen Monster und Loosduinen eine große Ausdehnung und ist dort durch ihre Bewachsung mit Heide und Wald gekennzeichnet. Zwischen Loosduinen und Haag sind die alten Dünen größtenteils abgegraben worden, obgleich namentlich in den Dünen von Meerdervoort, südlich von Haag, noch unverkennbare Reste vorhanden sind. Auf dem kalkarmen Boden befinden sich hier *Sarothamnus scoparius*, *Ulex europaeus*, *Calluna vulgaris* und *Dianthus deltoides*.

Bei Haag schließen sie sich den jungen Dünen an und sind von diesen, die sich von Smalduin an allmählich verbreitern, teilweise überschüttet worden. Durch diese Überschüttung wird das Tal von Wassenaar vom Segbroek-Polder getrennt. Weiter nördlich bis an den Ouden Ryn bei Katwyk aan Zee wird die alte Dünenlandschaft gegen Nordwesten durch einen breiten Streifen von kalkreichen Dünen begrenzt. Welche Verbreitung die alten Dünen gegen Osten haben, ist schon im vorigen Kapitel erwähnt worden. Bei der Durchgrabung für den „Ouden Ryn“ bei Katwyk aan Zee sind die neuen Dünen außerordentlich schmal und ist auch nur wenig von der alten Dünenlandschaft übrig geblieben: nur einige Sandplatten, welche Teile des alten Strandwalles sind. Eine dieser Platten trägt die alte Stadt Leiden.

Auch nördlich vom „Ouden Ryn“ ist die neue Dünenlandschaft schmal. Die jungen kalkreichen Dünen haben hier ein altes Dünental erreicht und an seiner Westseite überschüttet, wie beim Bauernhof „Rynhoeve“ sehr deutlich zu sehen ist. Dieses Tal verschmälert sich zwischen Noordwyk und Noordwyk Binnen, wo die Sandplatten von Vinkeveld und Noordwyk aneinanderstoßen. Weiter nach Norden dehnt sich das Tal zum Noordwyker Polder aus, welcher im Südosten von den alten Dünen und im Nordwesten von kalkreichen neuen Dünen begrenzt wird, die hier schroff gegen das Tal enden, wie beim Bauernhof „Puikenduin“ deutlich ersichtlich ist.

¹) MP = Niederländische Angabe für die Meilenpfähle auf der topographischen Karte.

Gegen Norden werden dann die jungen Dünen allmählich breiter und westlich vom Bauernhof „Sasbergen“ stoßen alte und neue Dünen zusammen. Die neuen Dünen schieben ihre Ausläufer und Vordünen in nordöstlicher Richtung vorwärts, erreichen jedoch von hier an fast nirgends wieder die östlich liegenden alten Längstäler. Die Mischung von alten und neuen Dünen macht sich bei „Paardekerkhof“ sehr stark geltend und äußert sich deutlich in der Vegetation. Von Sasbergen bis Egmond wird der äußere, nordwestwärts liegende Dünenkomplex an seiner Südostseite von alten Dünen begrenzt, welche zwischen Egmond und Bergen aan Zee das Meer erreichen. Von hier bis Groet sind keine jungen kalkreichen Vordünen vorhanden.

Kehren wir nach Puikenduin zurück. Von hier verbreitert die junge Dünenlandschaft sich allmählich nordostwärts und erreicht zwischen Overveen und Zandvoort ihre größte Breite mit etwa $4\frac{1}{2}$ km. Die alten Dünen sind hier größtenteils abgegraben oder von den neuen Dünen überschüttet worden. Hier liegen am Dünenfuß die ältesten Sandgruben, von welchen in der Mitte des XVIII. Jahrhunderts schon die Rede ist. Auf dem Landgut Elswout bei Overveen ist von VAN EEDEN neben verschiedenen anderen Pflanzen auch Heide (*Calluna*) gefunden worden, welche wohl später infolge der Kultur verschwunden ist; wenigstens ist es mir trotz eifrigen Suchens nicht gelungen, sie wieder aufzufinden. Das Vorkommen dieser Pflanze beweist aber die Zugehörigkeit dieses Bodens zu der alten Dünenlandschaft.

Daß die jungen Dünen hier die alten überschüttet haben, lehren uns neben den Profilen der Sandgruben die historischen Mitteilungen. So lesen wir in KOPS 1798 (S. 93), daß „de Volmeer“, auf einer Karte vom „Rynland“ noch dargestellt als ebener Boden südlich von Kraantjelek bei Overveen, vergebens von ihm gesucht wurde; „dieses Gebiet war samt der darauf stehenden Wohnung schon 1739 überschüttet und vernichtet worden und ist jetzt (1798) von hohen Dünen bedeckt, welche jedoch ihrer dichten Bewachsung wegen, eine neue Wanderung nicht mehr befürchten lassen“. An derselben Stelle spricht er auch „von dem flachen oder hügeligen Boden an der Landseite dieser hohen Dünen, welcher mit Schlagholz und hohen Bäumen bewachsen ist“ und gibt an, daß „diese Bestände sich in die Mitteldünen hinein bis Bentveld ausbreiten. Durch diese Niederung geht der Weg nach Zandvoort und hier ist ein Bächlein, in welchem das Dünenwasser nach dem Binnenwasser abfließt“.

Diese Strecke besteht noch, ist jedoch nicht mehr so wasserreich. Sie trägt große Bäume, sowohl Buchen, Eichen, Linden, Kiefern als auch Birken, Eschen und Ahorne und auf den nicht kultivierten Teilen wachsen typische Vertreter der alten Dünenflora wie: *Primula acaulis*, *Carex hirta*, *Holcus mollis*, *Festuca ovina*, *Brachypodium sylvaticum*, *Populus tremula*, *Pteridium aquilinum*, *Teucrium Scorodonium*, *Rubus fruticosus*, während die feuchten Stellen *Calamagrostis lanceolata*, *Ranunculus Lingua* und *Athyrium Felix femina* aufweisen. Die Ebene ist teilweise

überschüttet worden, vor allem in der Gegend von Groot-Bentveld, doch auch Naaldenveld, Klein-Bentveld und ein Teil von Boekenrode sind an den niedrigsten Stellen ihrer Oberfläche kalkfrei. Sie gehören geologisch und floristisch den alten Dünen an. Die neuen Dünen umgeben dieses alte Tal und schieben ihre Ausläufer in dieses hinein.

Die alten Dünen von Overveen-Bloemendaal, Santpoort und Velsen sind so stark kultiviert und abgegraben und teilweise so wenig zugänglich, daß ich sie nur kurz erwähne. Sie sind gelegentlich durch Niederungen von den jüngeren Kalkdünen geschieden oder reihen sich ihnen an, während dann die westwärts liegenden Teile überschüttet worden sind. An der jetzt noch im Abbau begriffenen Sandgrube bei Overveen fand ich einen Teil der oben angeführten Beweise für die von mir aufgestellte Theorie über die Bildung unserer Dünenlandschaft.

Weiter unter Velsen finden wir die Güter Waterland, Velserbeek u. a. m. auf den alten Dünen mit der ihnen eigenen Flora. Bei Velsen ist der Dünenrücken durchgraben worden und hier teilt der Nordseekanal eine große Ebene in zwei Teile. Der südliche Teil heißt „Velserheide“, der nördliche „Breesaap“ und „Rooswyk“. Die Velser Heide trägt *Euphorbia Cyparissias*, *Calluna vulgaris*, *Orchis Morio*, *Genista anglica*, *Sarothamnus scoparius* usw., während in der Breesaap noch dazu kommen: *Genista tinctoria*, *Geranium phaeum*, *G. pratense*, welche für die alten Dünen typisch sind. Bei Wyk aan Zee findet sich dieselbe Anordnung wie bei Bentveld und die Täler und Wiesen der alten Dünen liegen bis dicht an das genannte Dorf.

Beim Graben des Nordseekanals ist der Boden durch Wasserentziehung stark beeinflußt worden und viele der früher dort angegebenen Pflanzen fehlen jetzt oder sind doch sehr verkümmert.

Nördlich von Wyk aan Zee finden wir viele fruchtbare Ebenen, welche durch Drainierung für die Kulturen gewonnen sind. Es ist mir nicht gelungen, hier über die Verbreitung der jungen und alten Dünen Sicherheit zu erlangen. Es scheint mir, daß sich hier in vergrößertem Maßstabe ein ähnliches Übergreifen der jungen Dünen über die alten wie bei „Paardenkerkhof“ wiederholt. Die Untersuchung dieser Gegend wird namentlich dadurch erschwert, daß man zu diesen für Privatjagd reservierten Gebieten keinen Zutritt erhalten kann. Offenbar haben aber sowohl intensive Kultur, wie Drainierung und Abgrabungen hier die Flora der alten Dünen stark beeinflußt.

Südlich von Egmond erreichen die neuen Dünen etwa 1½ km Breite und werden die alten nach und nach schmaler. Von Egmond an verschmälert sich dagegen die junge Dünenlandschaft und endet ungefähr bei Bergen aan Zee. Die alten Dünen entfalten sich hier zu ihrer größten Breite; sie reichen bis an den Strand, wo sie schroff mit einem Kliff abfallen. Bis hierhin konnte die alte Dünenlandschaft stets als „Binnendünen“ bezeichnet werden. Hier ist dieses aber nicht mehr der Fall, und dieses ist der Grund, weshalb ich stets der Deutlichkeit wegen von „alten“ und „neuen“ Dünen

gesprochen habe. Ich bin mir dabei wohl bewußt, daß jede Wanderung der „alten“ Dünen in gewissem Sinne eine „neue“ Düne bildet, welche jedoch immer aus altem Material aufgebaut ist. Auch finden wir selbstverständlich an der Oberfläche der äußersten Dünen wohl Kalkpartikelchen, welche vom Strande landeinwärts geweht sind. Aber jede frische Windmulde und auch die Kliffe am Strande zeigen uns klar, daß die alten Dünen hier vom Meere erreicht und abgenagt werden. Die Bestimmungen des Kalkgehalts haben solches bewiesen.

Dieser Komplex trägt die höchsten, bis 56 m hohen Dünen. Sie bestehen hauptsächlich aus einem weißen Sand, der vielleicht der Höhe und der damit zusammenhängenden Trockenheit wegen sehr beweglich ist. Die gegen Westen und Nordwesten gekehrten 30—40 m langen Abhänge sind mit *Calluna vulgaris*, *Betula verrucosa*, *Lonicera Periclymenum* und *Sorbus aucuparia* dicht bewachsen. Die ihnen entgegengestellten, gegen Südosten gekehrten Sonnenabhänge sind blendend weiß und tragen eine spärliche Bewachsung von *Corynephorus canescens*, *Viola canina lancifolia*, *Galium verum* und *Jasione montana*.

In diesem Gebiete treten in den Mitteldünen große Verheerungen auf und finden wir die schönsten Beispiele von tiefen Windkesseln, Windstraßen und Wanderdünen. Als ich am 11. August 1911 dort die Mitteldünen untersuchte, fand ich eine Wanderdüne von mehr als 200 m Stirnbreite und etwa 15 m Höhe, welche gerade damit beschäftigt war, ein Callunetum zu überschütten und hier, gegen Osten mit 20—40 m Höhe endete, indem sie unter einem großen Neigungswinkel steil gegen das Polderland abfiel. Wie bei „Rynhoeve“, „Puikenduin“ und „Elswout“, deutet dieser steile Abfall auf eine schnelle Überschüttung hin. Die Dünen sind an diesen östlichen Abhängen bis zum Gipfel mit Eichen- und Buchenstrüpp bewachsen, und wo ihnen, wie bei Schoorl, noch eine niedrige Dünenlandschaft vorgelagert ist, finden wir mehrere Tümpel mit einer sehr charakteristischen Flora.

Von Alkmaar bis Limmen dehnt sich ein hoher, von Polderland umgebener Rücken aus, welcher größtenteils abgegraben ist und nur in dem „Heilooër Bosch“ noch alte Dünen und die sie charakterisierende Flora darbietet. Eine zweite Insel liegt etwas mehr nordöstlich und trägt noch einige kleine Erhöhungen, welche jedoch bald abgegraben sein werden.

Nördlich von der Hondsbossche Zeewering finden wir eine sehr interessante Dünenlandschaft, deren Äquivalent im westlichen Dänemark zu finden ist und von WARMING (1909) und BRAUN (1911) beschrieben wurde. Der Kampf zwischen den alten und den jungen Dünen ist hier zwischen Petten und Callants-oog gut zu beobachten. Diese dreieckige Dünenlandschaft wird an der Landseite durch einen Deich aus kalkfreiem Sande (Zyper-Zeedyk) begrenzt, welcher dicht mit Heide bewachsen ist. Westlich von diesem Deiche liegt eine langgestreckte Niederung, durch eine zerstückelte Dünenreihe von einem 3 km langen Tümpel getrennt, der von einer moorigen Heide umgeben ist. Es ist dies

eine fast ungestörte Dünenlandschaft mit einer nicht beeinflussten Vegetation. Die Dünenreihe, welche die zwei Niederungen trennt, wird „Verloren Dyk“ genannt, denn sie war früher ein Deich, welcher aber vom Meere vernichtet wurde.

Vom Westen her wanderten hier wieder die jungen kalkreichen Dünen ein, welche von Petten an auftreten. Sie überschütteten die alte Dünenlandschaft und drangen weit in das „Zwanewater“ hinein. In dieser Grenzzone findet man die merkwürdigsten Kombinationen von kalkliebenden und kalkfliehenden Pflanzen.

Beim Dorfe Callantsoog liegt nur eine junge, kalkreiche Dünenreihe, welche schmal und etwa 30 m hoch ist und einen scharfen Kamm hat. Dieses ist eine der schwächsten Stellen der Küste. Das kleine Dorf war früher viel größer und ist das dritte dieses Namens, indem seine beiden Vorgänger vom Meere verschlungen worden sind. Hier sind die neuen Dünen sehr jungen Datums, wie die gegen Norden bis Helder. In nördlicher Richtung bleiben dann die Dünen eine Strecke weit sehr schmal, um sich nachher allmählich bis Groote Keeten zu verbreitern. Hier besteht die Landschaft wieder aus einem Deich mit vorgelagerten Dünen, welche durch eine Niederung voneinander getrennt sind. Diese besteht aus langgestreckten Tälern, von denen viele streckenweise mit Wasser bedeckt sind und welche durch quer verlaufende, teils alte, teils junge Dünen voneinander abgeschlossen sind. Bei Groote Keeten hat 1894 das Meer die äußere Dünenreihe durchbrochen und wurde das hinterliegende Tal von den Meereswellen überflutet. Dessenungeachtet zeigt dieses Tal, „Kerkhof“ genannt, nach 16 Jahren dieselbe Flora, wie seine Äquivalente, die damals nicht vom Meereswasser überspült wurden. Die drei Pflanzen, welche dort auf salzigen Boden hinweisen, sind: *Honkenya Peploides*, *Littorella lacustris* und *Samolus Valerandi*, welche jedoch in den früher nicht überschwemmten Niederungen ebenfalls anzutreffen sind. Die Niederungen: Het Botgat, het Kerkhof und die mehr nördlich gelegenen bis zum Meilenpfahl 2 zeigen denselben Typus.

Die Heidevegetation, welche bei Callantsoog dominierte, nimmt in diesem Gebiete stark ab und die Flora der feuchten Dünenkessel, wie sie in den neuen Dünen vorkommt, wird vorwiegend. Gegen Norden bei Huisduinen fängt wieder ein Heidegebiet an. Dies ist begreiflich, weil, wie wir wissen, Huisduinen und Callantsoog vormals Inseln waren, welche erst später (1610) durch einen Sanddeich verbunden wurden. Dieser besteht noch als ein hoher Sandrücken, welcher die Dünen östlich begrenzt. Soweit dieser Deich von den neuen Dünen überschüttet worden ist, trägt er, wie die vor ihm liegende neue Dünenlandschaft, eine Flora mit kalkanzeigenden Elementen wie *Anthyllis Vulneraria*, *Eryngium maritimum*, *Echium vulgare* usw. Aber die bei Callantsoog und Huisduinen auftretende Heidevegetation lehrt uns, daß diese früheren Inseln Reste der alten Dünenlandschaft sind.

Die Strecke von Groet bis Helder ist wiederholt vom Meere zerstört worden. Weit landeinwärts, sowohl in der Nähe von

Callantsoog als südlich von Huisduinen, liegen isolierte Dünenreste ¹⁾ in den Poldern zerstreut. Diese Dünchen tragen eine Heidevegetation, und neuerdings hat man angefangen, sie mit *Pinus silvestris* und *P. laricio austriaca* zu bepflanzen. Vielleicht sind sie Bruchstücke der alten Sanddeiche, welche in früheren Zeiten wiederholt zerstört wurden. Daß hier fortwährend nur Abnahme stattfand, geht wohl daraus hervor, daß alle Deiche und Reste von Deichen Heidevegetation oder wenigstens eine Vegetation mit kalkfliehenden Elementen tragen; sie müssen demgemäß aus altem Material aufgebaut worden sein. Nur in letzter Zeit, etwa von 1610 an, findet durch menschliche Hilfe Zunahme statt, und ist in 300 Jahren die neue Dünenlandschaft entstanden, welche hier vor dem Sanddeich liegt.

In letzter Zeit sucht man durch Anlage von Buhnen bei Helder und Callantsoog die schmalen Stellen dieser jungen Dünen zu verbreitern. Die östlich von „Zanddyk“ liegenden Polder liegen ziemlich hoch und bestehen aus einem Gemisch von Sand und Schlick, welches einen alten Torfboden bedeckt. Noch möchte ich darauf hinweisen, daß hier alle Gewässer durch Humate dunkelbraun gefärbt sind. Auch sind diese Polder völlig ohne Bäume wie die Dünen. In der Umgebung vom „Zwanewater“, wie bei vielen Bauernhöfen hat man vergeblich versucht, Bäume zu pflanzen. Nur einige Weidearten und Rüstern können kümmerlich gedeihen. Als der Sanddeich schon bestand, hatten diese Polder an der Zuiderzeeseite noch keine Deiche und wurden infolgedessen, mit Ausnahme der ihnen aufliegenden Dünenreste, regelmäßig überflutet (KOPS 1798). Aber im Jahre 1820 wurden sie auch gegen die Zuiderzee geschützt.

Bei Huisduinen in der Mitte zwischen M P 3 und M P 2 endet der „Zanddyk“. Nördlich davon bilden die sogenannten „Gravelykheidsduinen“ eine von Dünenreihen unterbrochene Niederung. Die Heldersche Wasserversorgung hat hier ihre Sammelanlage, und beim Friedhof findet man ein ausgedehntes Callunetum, während die westlich liegenden kalkreichen Dünen hier nur einen oder zwei Rücken breit sind.

Hiermit habe ich die Verbreitung der beiden verschiedenen Dünenlandschaften in großen Zügen angegeben.

Zusammenfassend können wir sagen, daß die „alten Dünen“ meistens als Binnendünen und die „neuen Dünen“ als Außendünen auftreten. Nur zwischen Bergen und Groet erreichen die alten Dünen das Meer. Von den neuen Dünen gehört nur der mittlere Teil den mittelalterlichen Dünen an, während die nördlichen und südlichen Partien in den letzten Jahrhunderten durch menschliche Hilfe gewonnen worden sind.

¹⁾ Diese Dünenreste sind hier unter dem Namen „Heetnollen“ bekannt, und Nolle wird im Süden von Holland gebraucht für Bruchstücke eines Deiches. Andererseits fand ich von BRAUN (1911) den Namen „Svenske Knolle“ angegeben für einen mit Dünen besetzten Sandrücken in der Nähe von Blaavandshuk im Norden von Dänemark. Ob diese Benennung vielleicht mit der unsrigen übereinstimmt, ist hier eine offene Frage.

Abschnitt II.

Edaphische Bedingungen.

§ 1. Der Kalkgehalt.

Daß dieser stark wechseln kann, hat schon KOPS (1798) berichtet, wo er sagt: „Die hohen Dünen bestehen nur aus Sand, einmal mit, dann wieder ohne Muschelschalentrümmer.“

STARING (1856) sagt: „Der Dünensand ist mit kleinen, für das unbewaffnete Auge sichtbaren Muschelschalenresten gemischt. Diese Trümmer sind weder allgemein verbreitet, noch ein festes Kennzeichen des Dünensandes. Bei Overveen findet man sie auf den höchsten Gipfeln, im Koningsduin bei Egmond sehr häufig, während die Binnendünen zwischen Haarlem und Warmond keine Spur von Kalk in dieser Form aufweisen.“ Weiter empfiehlt er genaue Untersuchungen, um festzustellen, ob das Fehlen oder Vorkommen der Muschelschalenreste möglicherweise in Zusammenhang zu bringen sei mit der Zeit, vielleicht sogar mit der Art und Weise, in der sich die Hügelreihen gebildet haben.

Auch DELESSE (1871) leitet das Vorkommen des Calciumcarbonats von den Schalenresten von Meeres- und Landtieren ab und alle späteren Untersucher bestätigen dieses. Daneben fanden aber RETGERS (1891) und SCHROEDER VAN DER KOLK (1895) bei den mineralogischen Untersuchungen der Dünensande noch Calcit rhomboeder, welche sich jedoch in sehr geringer Zahl vorfinden und von karbonischem Kalkstein bei Lüttich und Namen herkommen sollen. Dieser Fund ist bemerkenswert für die Herkunft der Sande, für die chemische Zusammenstellung hat er aber gar kein Interesse.

LORIÉ (1893) versucht den Unterschied im Kalkgehalt von „Binnendünen“ und jungen Dünen zu erklären, indem er sagt: „Die ‚Meeresdünen‘ empfangen fortwährend neue Kalkfragmente. Der in dem Sande der Binnendünen vorhandene Kalk ist allmählich durch das Regenwasser gelöst und hat sich in der Nähe des Grundwasserspiegels angesammelt. Für das hohe Alter der Binnendünen spricht die Tatsache, daß der Sand kalkfrei ist, während derjenige der ‚Außendünen‘ Kalk enthält.“ Auch in der Arbeit von SOLGER (1910) finden wir eine solche Auslaugung angegeben. Er sagt auf S. 94: „Und um die Parallele mit den Diluvialschichten vollständig zu machen, findet man in manchen Dünensanden in der Tiefe sogar einen Kalkgehalt.“

Die ersten Ziffern über den Kalkgehalt hat uns STARING (1856) gegeben. Nach ihm wechselt er zwischen 3—10 %. Weiter verdanken wir solche DELESSE (1871), der viele Sandmuster von der niederländischen Küste beschreibt und angibt, daß der von der Flut angeschwemmte Sand kalkreicher sei als derjenige, welchen die Ebbe ausspült; der Unterschied sei 4 %. Dagegen soll der Dünensand bei Zandvoort und Scheveningen nur Teile eines Prozent enthalten. Der Strandsand von Zandvoort hat nach ihm einen Gehalt von 12 %, von Petten und Helder und der Insel

Texel nur 2 %. Er fand sogar in einem, in der Nähe von Zandvoort am Abhang einer Düne genommenen Muster 29,5 % Kalk¹⁾.

SCHROEDER VAN DER KOLK (1895) behauptet: „Was den kohlelsauren Kalk betrifft, ist dieser ein zu wenig dauerhafter Bestandteil der Sande und lasse ich ihn außer Betracht.“ Er ließ jedoch eine Serie von Mustern auf ihren CaCO_3 -Gehalt untersuchen. Herr G. ROMYN befolgte dabei die Methode der Härtebestimmung, welche aber nicht die geeignete ist, weil auch Mg und Fe die Reaktion beeinflussen. Die erhaltene Übersicht genügt jedoch, um deutlich zu zeigen, daß die Sande der alten Dünen nur etwa $\frac{1}{100}$ des Kalkgehalts derjenigen der neuen Dünen besitzen und daß zwei scharf getrennte Gruppen von Zahlen vorkommen. Ich füge eine ähnliche Gruppe von mir selbst gesammelter Muster hinzu.

Kalkgehalt von zwei Serien von Mustern, genommen von den inneren alten Dünen bis in die äußeren neuen Dünen.

Nr.	Herkunft	Gehalt
504	„Binnendüne“ Sassenheim	0,037 R
505	Noordwykerhouter Geest (hohes Terrain)	0,031 „
507	„Binnendüne“ bei Noordwyk (niedriges Terrain)	0,037 „
509	Oude Zeeweg (niedriges Terrain)	3,80 „
510	„Meeresdüne“	3,90 „

Analysen von Dr. G. ROMYN (1895).
Muster gesammelt von SCHR. V. D. KOLK.

Nr.	Herkunft	Tiefe	Gehalt
6	Alte Düne Noordwykerhout	0,10–0,20 m	0,0079 R
23	Alte Düne Heemstede	„	Spuren
18	Neue Düne Overveen	„	3,106 R
16	„ „ Bentveld	„	2,634 „
12	„ „ Zandvoort	„	9,258 „

Analysen von Dr. ERNST RÜST, Zürich.
Muster gesammelt vom Autor (1910).

Die einzige Schlußfolgerung, welche SCHROEDER VAN DER KOLK damals aus diesen Ziffern zog, war: „daß höchstwahr-

¹⁾ DELESSE hat die von ihm untersuchten Muster nicht selbst gesammelt; sie wurden ihm aus Holland zugeschickt und er war demzufolge mit den lokalen Bedingungen, welche den Kalkgehalt so außerordentlich stark beeinflussen, nicht vertraut.

scheinlich nur die Nähe des Meeres Einfluß auf den Kalkgehalt ausübt.“

Bei den Traversierungen, die ich gemacht habe bei Haag, Katwyk, Noordwyk, Noordwykerhout, Sasbergen, Paardenkerkhof, Vogelenzang, Haarlem, Velsen und Wyk aan Zee habe ich stets an den dazu geeigneten Stellen den Sand in einer Tiefe von 10 bis 20 cm mittels HCl auf seinen Kalkgehalt geprüft. Stets habe ich für Kontrollebestimmungen Muster mitgenommen, von denen Dr. ERNST RÜST¹⁾ in Zürich die Freundlichkeit hatte, den Kalkgehalt zu bestimmen.

Daß die einfache, rohe HCl-Methode eine zweckmäßige und zuverlässige ist, geht daraus hervor, daß die chemische quantitative Analyse meine Wahrnehmungen im Felde stets völlig bestätigt hat.

Stets war der Kalkgehalt der alten Dünen in geringer Tiefe so klein, daß mittelst HCl kein Aufbrausen folgte. In westlicher Richtung trat dann stets plötzlich ein starkes Brausen auf und war auch der Kalk dem Auge sichtbar. Die höchste Zahl des Kalkgehalts an der Oberfläche der alten Dünen war 0,068 % in einer Tiefe von 10—20 cm, die niedrigste Zahl der neuen Dünen war 2,634 %, also ein bedeutender Unterschied. Dieses plötzliche Auftreten deutete wenigstens auf eine Transgression und das Fehlen von Übergangsziffern an allen genannten Stellen brachte mich zuerst auf den Gedanken, daß die Landschaft, welche solche aufweisen könnte, entweder überschüttet oder vom Meere vernichtet worden sei; eine Ansicht, welche sich später als richtig herausgestellt hat, wie wir oben gesehen haben.

Wie ich schon hervorgehoben habe, ist die Verbreitung des Kalkes in vertikaler Richtung in alten und jungen Dünen eine verschiedene, je nach dem Alter und der Entstehungsart. Einige Zahlen mögen genügen, dieses zu beweisen.

¹⁾ Die meisten der anzuführenden Zahlen (mit R bezeichnet) verdanke ich der Liebenswürdigkeit von Dr. ERNST RÜST in Zürich, in dessen Laboratorium ich auch Gelegenheit fand, alle Muster auf Korngröße zu untersuchen. Es sei hier die Gelegenheit benutzt, Herrn RÜST meinen besten Dank auszusprechen. Die von ihm befolgte Methode sei hier beschrieben: Zu den Proben mit größerem Kalkgehalt wurden je 20 g, zu jenen mit geringerem Kalk \pm 100 g Sand verwendet. In beiden Fällen siebte man die Muster erst durch ein Sieb von 1 mm Maschenweite. Bei Verwendung von 20 g Sand gestaltete sich die Kalkbestimmung folgendermaßen. Der lufttrockene Sand wurde mit 50 cm³ 10 % HCl 3 Stunden lang auf dem Wasserbade erwärmt. Dann wurde vom ungelösten abfiltriert und das Filtrat unter Zusatz von Salpetersäure (zur Oxydation des Eisens) auf ein kleines Volumen eingedämpft und in einem 250 cm³ haltenden Meßkolben übergespült. Dann wurde durch Ammoniakzusatz Eisen und Aluminium gefällt, der Meßkolben mit destilliertem Wasser aufgefüllt und 50 cm³ der gut gemischten Lösung abfiltriert. In diesem Filtrat wurde mit Ammoniumoxalat der Kalk gefällt, abfiltriert, der Niederschlag im Platintiegel rotgebrannt, CaO gewogen und auf CaCO₃ umgerechnet. Von den kalkarmen Mustern wurde durch Vergleichsproben festgestellt, daß ihr Kalkgehalt zwischen 0,068 % und 0,008 % schwankte.

Einige später noch gesammelten Muster wurden von Herrn W. V. D. SLEEN in Haarlem untersucht. Ich habe diese mit S. gezeichnet. Es ist mir eine angenehme Pflicht, Herrn V. D. SLEEN für diese Hilfe meinen besten Dank auszusprechen.

Alte Düne der Sandgrube Twistduin		Neue Düne bei Overveen	
Tiefe	Kalkgehalt	Tiefe	Kalkgehalt
0,10—0,20 m	0,008 % R	0,10—0,20 m	3,106 % R
0,30—0,40 m	0,068 % R	0,50—0,60 m	3,603 % R
2,00—2,50 m	0,24 % S	1,50—1,60 m	4,373 % R
5,50—6,00 m	2,88 % S		

In den Ziffern der alten Dünen sehen wir oben einen sehr geringen Gehalt und dann nach unten eine plötzliche Zunahme. Diejenigen der neuen Düne zeigen aber eine allmähliche Zunahme. Die ersteren Zahlen deuten auf eine weitgehende Auslaugung, die letzteren aber auf eine junge, erst wenig fortgeschrittene Verwitterung.

Die Düne bei Overveen ist spärlich mit Gräsern, Veilchen und einigen Korbblütlern bewachsen und liegt $4\frac{1}{2}$ km vom Meere entfernt. Hier ist es offenbar nicht die „Meeresnähe“, sondern nur die Jugend der Düne, welche die hohen Zahlen bedingt. Sind die Dünen dichter bewachsen, so ist an der Oberfläche der Kalkgehalt etwas geringer. So fand ich auf dem Landgut „de Ebbinge“ an einem nach Nordwesten gekehrten Abhang unter einem Gehölz von Buchen, Eichen und Birken einen Gehalt von 2,634 auf 10—20 cm Tiefe, und an einem gegen Südosten exponierten Abhang unter der Lichenendecke in derselben Tiefe 2,751 %.

Betrachten wir das Profil einer angefressenen neuen Düne, so sehen wir einen starken Wechsel des Kalkgehalts, welcher sich in zentimeterdicken Schichtchen äußert. Es gibt solche, die fast ausschließlich aus Kalk bestehen und andere, welche fast nur Sand führen. Schichtchen nach Schichtchen sind durch an Kraft stark wechselnde Winde deponiert worden. Wenn, wie ich am Strande öfter beobachtete, während längerer Zeit ein mäßiger Wind weht, so werden nebst feinem Sand, sehr viele Muschel-schalentrümmer aufgenommen und im Windschatten von verschiedenen Gegenständen (große Muschelschale, ein Stück Holz usw.) deponiert. Der Wind faßt sie leicht an, erstens weil ihr spezifisches Gewicht gering ist, und zweitens weil sie eine relativ große Oberfläche darbieten. In dieser Weise kann man sich die Entstehung der kalkreichen Schichtchen vorstellen.

Weiter hängt die ungleiche Verbreitung der Schalentrümmer von der An- oder Abwesenheit von Tierresten an Ort und Stelle ab. Es gibt große Strecken an der Küste, wo sehr viele Meerestiere, Mollusca, Crustacea, Echinodermata usw., und deren Reste angeschwemmt werden, andere, wo solches nicht oder in erheblich kleinerem Maße der Fall ist. Diese Strecken sind aber nicht konstant. Sie stehen in Korrelation mit den sich bewegenden Sandbänken an der Küste und mit Anschwemmung und Abfuhr, und dieses deutet klar auf die Möglichkeit eines Wechsels während größerer Perioden hin.

Dazu kommt noch ein Wechsel, welcher von der Windrichtung abhängig ist. Bei Südost-, Ost- und Nordostwinden wird das

oberflächliche Wasser zurückgedrängt und entsteht in der Tiefe ein Gegenstrom, welcher vieles, was sonst ruhig liegen bleibt, anspült. Dann findet man auch allerhand Tiere, welche sonst auf dem Strande nicht oder sehr selten anzutreffen sind. Die Sturmfluten haben eine ähnliche Wirkung. Nach einem Sturm im Herbste 1903 war auf dem Strande bei Zandvoort eine langgestreckte Muschelbank dicht am Dünenfuß abgesetzt worden. Sie bestand aus lebendigen Tieren, welche fast ausschließlich einer sonst verhältnismäßig wenig vorkommenden Art: *Macra stultorum* angehörten, war $\pm 2\frac{1}{2}$ m breit und $\pm 0,5$ m hoch. In gewöhnlichen Zeiten spielen *Macra solida* und *Cardium edule* die Hauptrolle. Höchstwahrscheinlich lebt jene Art in einer Tiefe, in der die gewöhnliche Wellenbewegung sie nicht erreicht.

Ferner werden die Muschelschalen stark durch Küstenversetzung verbreitet. Je mehr man sich Helder nähert, desto mehr nordische Arten treten auf, wie z. B. *Tapes* sp., *Cardium norvegicum* und *C. echinatum*.

Auffallend arm an Muschelschalen ist der nördliche Teil des Strandes von Bergen bis Helder. Dies ist durch die Abnahme des Strandes zu erklären, durch welche vieles Material mit ins Meer gerissen wird, während nur wenig angeschwemmt wird.

Sogar das letzte Mal, im Sommer 1911, als während längerer Zeit Ostwinde geweht hatten, fanden wir sehr wenige Arten und auch die Menge der Individuen war nur sehr klein. Die *Macra*- und *Cardium*-Arten zeigten fast alle eine bläuliche Farbe. Vielleicht sind es die Schalen, welche vor Jahrtausenden in dem alten Strandwalle aufgenommen worden sind und seitdem wieder losgewühlt wurden. Typisch ist hier das relativ reiche Auftreten von Bohrmuscheln, wie *Pholas candida*, *Petricola pholadiformis* und *Ph. crispata*. Sie stammen, aller Wahrscheinlichkeit nach, von den Moorbänken bei Helder, welche dort unter dem Schlamm des *Salicornietums* liegen. Ihr Vorkommen bei Petten und Callantsoog deutet wohl auf die Kraft der gegen Süden gerichteten Gegenströmung hin. Die schwarzen *Mytilus*-Schalen bilden hier eine dunkle Flutlinie. Ihr Vorkommen ist leicht zu verstehen: sie wachsen zu Millionen auf den Bühnen und werden bei jeder Flut mitgerissen.

Es ist ohne weiteres ersichtlich, daß bei solch einem Wechsel des vorhandenen Materials und der darauf wirkenden Kräfte auch die daraus resultierenden Bildungen einen Wechsel an Kalk, sowohl in vertikaler als in horizontaler Richtung, aufweisen müssen. In Zeiten, wenn viel Kalkmaterial vorhanden war, fand ich kleine Dünchen, welche fast nur aus diesen Trümmern aufgebaut waren. So im Jahre 1904 bei Zandvoort, wo dieser Sand 22,3 % CaCO_3 enthielt, als Mittelwert aus vier verschiedenen Dünchen.

Im September 1910 habe ich bei Ymuiden hinter dem nördlichen Hafendamme folgendes beobachtet: Der breite Strand, welcher hier alljährlich eine Zunahme zeigt, war mit kleinen, flachen Dünchen von sehr unregelmäßiger, meist ovaler Gestalt bedeckt. Es wehte ein mäßiger Wind und wir sahen, daß Kalk-

trümmer und feiner Sand mitgeführt und den Dünchen zugefügt wurden. Auch pflanzliche und tierische Reste wurden dort deponiert. In keinem der von mir darauf untersuchten Dünchen, welche man „Proembryonaldünen“ nennen könnte, fand ich ein Hindernis, welches Anlaß zu ihrer Bildung gegeben hätte. Zwei Tage später wehte ein kräftiger Nordwestwind, der Strand wurde kahl gepeitscht und das Material der ephemeren Bildungen den Embryonaldünen zugeführt. Der Kalkgehalt dieser Dünchen war 8,684 % und ihre Korngröße war erheblich kleiner als diejenige der „Vor-Dünen“.

Der dem Meere zugekehrte Abhang der ersten Dünenreihe bei Zandvoort führte am 1. Dezember 1910 9,258 % CaCO_3 . Die ungebrochenen Schalen bleiben meistens auf dem Strande liegen und werden dann bei der Ausbreitung des Strandes überschüttet. In dieser Weise entsteht die Muschelschalenbank, welche überall unter den Dünen liegt. So wird sich der meiste Kalk an der Lee-seite der Vordüne oder „Zeelooper“ anhäufen, und können wir uns einen Gehalt von 29,5 %, wie DELESSE angibt, sehr gut entstanden denken.

Wir sehen aus diesen Zahlen und Tatsachen, daß der Kalkgehalt der oberflächlichen Schichten der neuen Dünen ein erheblich größerer ist als derjenige der alten Dünen. Denn der letztere schwankt in den vielen von mir gesammelten Mustern zwischen 0,068 und 0,079 %, wie aus den Analysen von Dr. E. RÜST hervorgeht. Zwischen diesen Zahlen schwanken auch die Sande der Berger-Dünen, Schoorler-Dünen in Meeresnähe, Camperduin-kliff am Strande bei Groet, der „Geest“ und der Sand der Heide von Putten bei Ermelo, unter einem Callunetum in einer Tiefe von 0,5 m. In Übereinstimmung damit ist der Gehalt von 0,08 %, welchen MAYER (zitiert von SCHROEDER VAN DER KOLK 1895) als die mittlere Zahl für unsere Heiden angibt.

Nach WARMING (1909) nimmt auf der Insel Sylt der Kalkgehalt in der Richtung landeinwärts allmählich ab, am Strande: 7,7 %, 150 m vom Meere 5,67 % und 1500 m vom Meere 2,28 %. Diese Zahlen dürften meines Erachtens auf eine stetige Ausbreitung der Dünen hinweisen. Dann gibt er noch Zahlen für den Kalkgehalt von Flugsand und Bleichsand der Heide (Bleichsand 0,008 %, Flugsand bis 0,022 %).

Die Ziffern, welche MASSART (1908) für die belgische Heidefläche gefunden hat, sind noch viel niedriger. Der Kalk der Heidefelder kann von Landschnecken herkommen, ist jedoch bei etwas tieferen Mustern nur auf den Kalkgehalt des Materials zurückzuführen, welches die Sande geliefert hat (RETGERS und SCHROEDER VAN DER KOLK, siehe weiter unten: Mineralogische Zusammensetzung).

Nie habe ich bei meinen Untersuchungen gefunden, daß der Kalk als Kittsubstanz auftrat. LORIÉ (1897) fand auf dem Strande von Ameland und Terschelling Stücke von mit Sand verkitteten Muschelschalen. W. v. D. SLEEN zeigte mir solche, am Strande von Zandvoort aufgefundene, welche einen Kern von Eisen führten

(Stücke von Schiffen). Auch BRAUN (1911) berichtet, dergleichen Funde gemacht zu haben, während VAN BAREN (1910) solche von Katwyk meldet und ausdrücklich hervorhebt, daß die Kittsubstanz Kalk sei.

Die Muschelschalen werden von den Bewohnern der Stranddörfer gesammelt; sie fischen sie im Meere mit Netzen oder sammeln sie mit Sieben auf dem Strande (Callantsoog). Sie werden mittels Karren transportiert und überall an der Küste sind sogenannte „Slagen“ und „Schulpwegen“, d. h. Wege für den Transport der Muschelschalen. Sie dienen hauptsächlich für das Kalkbrennen und für das Härten der Wege. Auch werden sie mit Dampfschiffen, sogenannten „Schelpzuigers“, im Meere gefischt. Im Jahre 1894 war der Gesamtertrag bis 100,000 m³ gestiegen (siehe f. d. Betrieb: LORIE 1897).

Das Leitungswasser, welches aus den Dünen bezogen wird, zeigt auch einen größeren Kalkgehalt als das Wasser der Heiden. Zu diesem Schlusse lieferte mir eine statistische Übersicht der verschiedenen Wasserleitungen die nötigen Zahlen.

Dabei ist aber in Betracht zu ziehen, daß die Wassergewinnung nicht immer in derselben Weise vor sich geht. Die größeren Städte brauchen eine weit ansehnlichere Menge als vom Regenfall geliefert wird. Darum hat man mehrfach Tiefdrainage angewandt, durch welche kalkhaltiges Wasser aus den diluvialen Schichten in Anspruch genommen wird. Auch sind nicht alle Leitungen entlang der Küste in neuen Dünen gemacht worden, wie das z. B. mit Haarlem, Leiden, Haag und Amsterdam der Fall ist, sondern es finden sich auch einige in den alten Dünen von Bergen, Alkmaar und Huisduinen vor. Die Kanäle der Sammelanlage für Amsterdam sind außerdem zwar teilweise in den jungen Dünen gegraben, schneiden aber auch die transgredierte, alten Dünen an.

In nachstehender Tabelle sind die Bestandteile des Leitungswassers angegeben, welche für uns von Interesse sind.

		Feste Stoffe	Ca O Milligramme pro Liter	Cl	Fe ₂ O ₃	Härte ¹⁾
A. Dünenwasser:						
1907	Haag	326,0	120 6	33.6	1.4	13,2
„	Leiden	396,0	142,0	51.4	—	15,0
„	Amsterdam	341,3	129.5	34 5	—	14,24
„	Haarlem	319,0	117,2	40,3	—	13 0
„	Helder	290.8	—	62.8	0,25	7.4
„	Alkmaar	245 0	77,0	—	—	—
B. Heidewasser:						
„	Apeldoorn	3,68	0,2	—	Spuren	0,35
„	Utrecht	80,0	Spuren	—	—	2,3
„	Enschede	—	53,3	24,0	Spuren	—
1906	Eindhoven	—	37,92	—	0,589	4,33

¹⁾ Härte in deutschen Graden.

Diese Zahlen sind der obengenannten Übersicht über die Jahre 1906—1907 entnommen. Aus ihnen ist leicht ersichtlich: 1. daß der Gehalt an festen Stoffen im Dünenwasser viel größer ist als im Heidewasser; 2. daß der Kalkgehalt im Dünenwasser ebenfalls größer ist als im Heidewasser und daß in den Zahlen des letzteren sich zwei Gruppen unterscheiden lassen, welche wohl von Unterschieden in der Herkunft des nördlichen und des südlichen Diluviums herrühren. Das Wasser von Alkmaar, aus der Prise d'eau bei Bergen in den alten Dünen, hat einen für Dünenwasser relativ niedrigen Gehalt. Die Leitung ist jedoch noch sehr jung und auch das Amsterdamer Wasser zeigte früher, nach freundlicher Mitteilung des Herrn W. v. D. SLEEN, viel niedrigere Zahlen. Aus den Härteziffern geht wohl dasselbe hervor: Dünenwasser hohe, Heidewasser niedrige Ziffern. Die Angabe für Helder ist mir darum willkommen, weil auch die Heldersche Prise d'eau in den alten Dünen, und zwar in jenen von Huisduinen liegt.

Das Wasser, welches sich in den Dünen in Trinkpfützen für Jagdhunde und Vögel ansammelt, zeigt nur geringe Spuren von Kalk, so auch das Wasser, das auf den Torfschichten der Sandgruben absickert (letzteres nach mündlicher Mitteilung des Herrn J. VAN BAREN).

Herr A. J. STOEL in Haarlem war so liebenswürdig, mir einige Zahlen mitzuteilen, von welchen ich hier die folgenden wiedergebe:

	Tiefe	CaO ¹⁾	Feste Stoffe	
Castricum „Koningsduin“ .	5,50—7,50 m	112	240	} Kalkreiche Düne der neuen Land- schaft.
„ „ „ .	34—36 „	124,4	348	
Alkmaar	4—6 „	112	637	„Geest“ und Torf.
Santpoort	7,5—9,5 „	123,9	356,6	Alte Düne.

Der Kalkgehalt ist auch hier ein geringer und bleibt sich ungefähr gleich, der Gehalt an festen Stoffen dagegen ist schwankend und besonders für Alkmaar sehr hoch, was vielleicht auf die torfreiche Umgebung zurückzuführen ist.

Das Wasser unter den alten Dünen ist meistens braun gefärbt, wie auch PENNINK (1904) berichtet. Dies rührt wohl von der Verwesung, von der Anhäufung von Humaten und von der Anwesenheit der alten Torflinsen her. Es sind jedenfalls organische Bestandteile, durch Alkalien und eisenreiche organische Verbindungen stark gefärbt (W. v. D. SLEEN, mündliche Mitteilung).

¹⁾ Milligramme pro Liter.

§ 2. Die mineralogischen Bestandteile des Dünensandes.

KOPS (1789) hat schon angegeben, daß Quarzkörner die Hauptmasse des Dünensandes bilden und erwähnt auch das Vorkommen von Eisen. STARING (1856) nennt auch fast nur Quarz, spricht daneben seine Befremdung aus, daß im Dünensande nur kleine Körner auftreten und fast nie Steinchen, wie dies an der englischen Küste so häufig der Fall ist.

DELESSE (1871) nennt eine ganze Reihe von Mineralien, welche er aus den Sandmustern aussuchte und hebt dabei hervor, daß der Strandsand an jedem Punkt andere mineralogische Eigenschaften aufweist, wiewohl alles Material aus dem Meere stammt und Gezeiten und Strömungen eine fortwährende Mischung veranstalten. Er fand Quarz von verschiedener Farbe, ferner Glimmer, Feldspat, Granat und Glauconit. Das letztere Mineral soll nach ihm auf der belgischen Küste vielfach vorkommen und nach dem Norden hin seltener werden, was jedoch wohl noch zweifelhaft ist. Es wäre günstig, wenn dem so wäre, weil dann wenigstens ein Beweis durch totes Material dafür da wäre, daß die Küstenversetzung aus dem Süden, Material aus dem Pas de Calais bis Holland transportiert hat. Neuere Untersuchungen über dieses Mineral werfen jedoch ein ganz anderes Licht auf seine Verbreitung und Entstehung und lassen ein Vorkommen, wie es DELESSE angibt, fast unmöglich erscheinen.

Die wertvollen und grundlegenden Untersuchungen von RETGERS (1891—1895) brachten die überraschende Entdeckung, daß die weicheren und leicht spaltbaren Mineralien, wie Kalkspat und Feldspat, in einem ziemlich hohen Prozentsatz in dem Dünensande vorkommen. So fand er von der Orthoklasgruppe 2,5 %, von der Kalkspatgruppe 7,5 %, gibt jedoch dabei an, daß seine Proben eine geringe Beimischung von Quarzkörnern wegen der schwierigen Absonderung enthielten, weil das spezifische Gewicht von Quarz gerade zwischen Kalkspat und Orthoklas liegt¹⁾.

Wir können jedoch aus ihrem Vorkommen ersehen, daß die Verwitterung, welche beim Wasser- und Windtransport auftritt, nicht so groß ist, wie allgemein angenommen wird. Erstens hat sowohl die mechanische als auch die chemische Verwitterung die Felsen zertrümmert und zweitens wurde das Material von den Flüssen mitgerissen und stets mehr zerkleinert, dem Meere zugeführt. Die Strömungen und Gezeiten arbeiteten weiter und das an den Strand geworfene Material wurde schließlich noch der Winderosion ausgesetzt.

LORIÉ (1897) nimmt jedoch an, daß die mechanische Zerkleinerung ganz bestimmte Grenzen hat. Die Körner werden fast nie kleiner angetroffen als $\frac{1}{4}$ mm und die Korngröße der weicheren Mineralien ist nicht geringer als diejenige der härteren. Nur sind bei allen die Ecken abgerundet, während nur die härtesten, wie

¹⁾ RETGERS benutzte für seine Untersuchungen Lösungen von höherem spezifischen Gewicht, mittels deren er bestimmte Gruppen von Mineralien absondern konnte.

Spinelle und Granate, noch scharfe Kanten aufweisen. Nach RETGERS (1891) ist die Verwitterung meistens soweit gegangen, daß fast jedes Korn nur aus einem Mineral besteht und nur ein Individuum, oder auch nur einen Teil desselben, darstellt, was ihm die mineralogische Untersuchung bedeutend erleichterte. Die Bestimmung der Herkunft des Sandes wird dadurch erleichtert, daß meistens das Zusammengehen einiger Mineralien die Herkunft des Muttergesteins angibt. Übrigens strömen die Flüsse durch petrographisch weit verschiedene Gebiete und kommen die meisten der aufgefundenen Mineralien recht allgemein vor.

Daß RETGERS die von ihm gefundenen Kalkspate dem karbonischen Kalkstein von Lüttich und Namur zuschreibt, scheint mir nicht ausreichend begründet. Sie können gerade so gut von Dänemark oder von den Falaises bei Calais stammen.

RETGERS (1891) fand die folgenden Mineralien: *Orthoklas, Mikroklin, Plagioklas, Cordieriet, *Quarz, *Kalkspat, *Apatit, *Amphibol, *Turmalin, *Pyroxen, *Épidot, Titanit, Sillimannit, Olivin, *Granat, *Staurolith, Disthen, Korund, Spinell, *Rutil, *Zirkon, Magnetit, Titaneisen, *Jemeniet, von denen die mit * gezeichneten die häufigsten sind.

Er fand folgende Prozentsätze:

Orthoklasgruppe	2,5 %	} 95 %.
Quarzgruppe	85,— „	
Kalkspatgruppe	7,5 „	
Amphibolgruppe	1,5 „	} 2,5 %.
Pyroxengruppe	1,— „	
Granatgruppe	2,4 „	} 2,5 %.
Rutilgruppe	—,— „	
Zirkongruppe	0,1 „	
Eisenerzgruppe	0,05 „	

Hieraus ist zu sehen, daß der Quarz der Hauptbestandteil ist und wohl zwischen 90 und 95 % wechselt, da den Orthoklas- und Kalkspatgruppen auch noch etwas Quarz beigemischt war. Von den übrigen Mineralien sind Granate und Amphibole die verbreitetsten, während die gesamten Eisenerze nur 0,05 % des Sandes ausmachen.

Sowohl das Vorkommen von Cordieriet, Mikroklin, Orthoklas und die Einschlüsse der Quarzkörner, wie auch die Armut an Eisen deuten nach RETGERS (1891) darauf hin, daß die eisenarmen und kieselsäurereichen Glieder des Urgesteins, wie Granite, Gneise und Glimmerschiefer die Muttergesteine des niederländischen Dünensandes sind. Dieses ist im großen und ganzen wahr, jedoch hebt LORIÉ (1897) hervor, daß auch sekundäre Gesteine, wie z. B. Sandsteine zu seiner Bildung beigetragen haben und also eine direkte Abstammung möglich, jedoch nicht notwendig ist. Auch die Turmalin-, Granat-, Hornblende- und Augitkörner weisen auf diese Herkunft hin (RETGERS 1891).

Die Granate sind ein unwesentlicher Bestandteil der Gneise und der kristallinen Schiefer, werden jedoch durch ihre Härte zu

einem wesentlichen Bestandteil der Dünensande. Sie sind gar nicht oder wenig spaltbar und besitzen eine große Widerstandsfähigkeit verschiedenen Faktoren gegenüber, verwittern also nicht leicht. Durch diese Eigenschaften ist ihre Anhäufung zu erklären. Denn eigentlich bleibt ihre Menge etwa dieselbe, während die am leichtesten spaltbaren und leicht löslichen Mineralien stark abnehmen.

Auch Spinelle und Zirkone gehören zu dieser Gruppe und zeigen öfter noch unveränderte Formen. Sie gehören mit den Granaten und den Magnetiten zu den schwersten Mineralien und werden durch die schwachen Meeresströmungen selektiert, wenn der vom Wellenschlag in die Schwebe gebrachte Sand einer Sandbank zugeführt wird, welche die Kraft der Strömung bricht. Die schweren Körner fallen dann zuerst und häufen sich auf den Sandbänken an, während die leichteren weitergeführt werden (SCHROEDER VAN DER KOLK 1895).

So ist das Vorkommen 30—40 cm dicker Granatbänke an der Küste bei Bergen zu erklären, wo ich in einem frisch abgetragenen, senkrecht abstürzenden Dünenprofil zwei solche Bänke beobachtete, welche fast nur aus Granat und Magnetit bestanden. Die Abtragungsfläche wurde vom Winde angegriffen und die Granate und Magnetite wieder mit dem Quarz gemischt, denn der Wind trennt nicht nach der Schwere, sondern nach der Korngröße. Bei einer mechanischen Scheidung zur Bestimmung der letzteren ergab sich, daß die Granate und Magnetite meistens weniger als $\frac{1}{4}$ mm Durchmesser haben. Dieser gemischte Sand wurde an dem Tage, als ich diese Profile beobachtete, vom Wind landeinwärts getrieben und über den Gipfel hinweggetragen, wo er im Windschatten ruhig hinunterglitt, infolgedessen jeder neue Sandstreifen einen roten Saum von Granaten zeigte, da diese ihrer Schwere und Kleinheit wegen sich schneller bewegt hatten.

Wehen während längerer Zeit östliche Winde oder gibt es einen Sturm aus dem Südwesten, Westen oder Nordwesten, so entsteht eine tiefgehende Strömung, die Sandbänke werden angegriffen und dadurch zeigt auch der Strandsand einen hohen Gehalt an schweren Mineralien. SCHROEDER VAN DER KOLK (1894) beobachtete einmal bei Scheveningen am Strande einen Gehalt von 71 % und einmal 90 %. Ich selbst fand bei Zandvoort und Bergen den Sand nach Stürmen dunkelrot von Granaten. Neben dem Wandern der sämtlichen Sandbänke der Küste entlang sind dies die Hauptfaktoren, welche den stark wechselnden Mineralgehalt der Dünensande verursachen.

Nach STARING (1856) ist der Glimmer in den Dünen sehr selten. Auch RETGERS (1891) erwähnt seine Seltenheit: „Er wird mit dem Schlamm weit ins Meer fortgeführt.“ Nach meinen Erfahrungen jedoch kommt Glimmer sowohl in den alten als in den neuen Dünen vor, ist jedoch in den letzteren seltener. In den alten Dünen sieht man ihn überall schimmern und mit der Pincette ist es leicht, eine Menge von Blättchen zu sammeln; es sind sogar stellenweise kleine Paketchen dieses Minerals vorhanden.

Aus dem bisher Gesagten geht hervor, daß der Dünensand ein verhältnismäßig junger Sand ist. In der Literatur (LORIE 1897 und FREE 1911) finden wir alte Quarzsande erwähnt, welche zu mehr als 99 % aus reinem Quarz bestehen. Der hohe Quarzgehalt der niederländischen Dünen überhaupt ist wohl der Beimischung von jungtertiären Sanden aus der Braunkohlenzeit zuzuschreiben (LORIE 1897).

SCHROEDER VAN DER KOLK hat in sehr vielen Arbeiten sich die Mühe gegeben, den Gehalt an schweren Mineralien, d. h. mit größerem, spezifischem Gewicht als dasjenige des Kalkspates (2,71) zu bestimmen. Er erwähnt (1895) folgende Zahlen:

Strand bei Scheveningen	26,4	%
Düne am Strand, Westabhang	2,3	„
Laan v. Meerdervoort bei Haag ¹⁾	1,3	„
Sassenheim (Teylinger Laan) ¹⁾	1,0	„
Noordwykerhoutergeest ¹⁾	0,75	„
Noordwyk ¹⁾	0,55	„
„ tiefliegender Boden	0,45	„
„ Stranddüne	0,95	„

Der hohe Gehalt am Strande ist wohl sicher nach schwerem Unwetter beobachtet worden, was auch für den Westabhang der anstehenden Düne gilt. Die anderen Ziffern schwanken zwischen 0,5 und 1,3 % und es gibt nur einen geringen Unterschied zwischen der alten und der neuen Dünenlandschaft. Die schwereren Mineralien sind somit die härtesten und widerstandsfähigsten. Die Menge der leicht verwitternden Mineralien ist jedoch eine so kleine, daß selbst das Verschwinden dieser letzteren durch Verwitterung oder Ausspülung keinen nennenswerten Einfluß auf den Gehalt an schweren ausüben würde.

Daß, wie LORIE (1897) sagt, ein hoher Gehalt an schweren Mineralien zusammengeht mit einem niedrigen Gehalt an Muschel-schalentrümmern, stimmt nicht immer. Wir wissen ja, daß die alten Dünen in den oberflächlichen Schichten gar keine Muschel-schalenreste aufweisen und aus den oben genannten Zahlen ersehen wir, daß ihr Mineralgehalt ein wechselnder ist.

KEILHACK's (1896) Untersuchungen haben gezeigt, daß bei zunehmender Feinheit des Sandes auch Feldspate und Kalkspate abnehmen. Je gröber der Sand war, desto reicher fand er ihn, da es dann noch immer den zu verwitternden Kies gab, welcher stets neue Feldspate liefert. Er bestimmte den Silikatgehalt auf chemischem Wege.

Die Schnelligkeit und die Art der Verwitterung stehen in direktem Zusammenhang mit der Feinheit des Materials. Je feiner der Sand ist, desto feiner sind auch die Körnchen der leicht verwitterbaren Mineralien, die er enthält, welche Feinheit jedoch bei der mechanischen Verwitterung bald eine Grenze erreicht. Darauf tritt dann die chemische Verwitterung in den Vorder-

¹⁾ Diese Muster sind den alten Dünen entnommen.

grund, und die Feinheit der Körner bietet ihr eine große Gesamtoberfläche zum Angriff und wir können uns so vorstellen, wie atmosphärische Niederschläge und Vegetation bei günstiger Temperatur die wenigen Nährsalze bald gelöst haben.

§ 3. Fruchtbarkeit.

Für die Pflanzenwelt sind die Feldspate, das Eisen und der Kalk von Wichtigkeit. Schon aus dem hohen Quarzgehalt geht hervor, daß der Boden arm an Nahrungssalzen ist, sie müssen sich auf die übrigen 5—10 % beschränken, welche nicht vom Quarz eingenommen werden und bilden meistens nur einen kleinen Prozentsatz dieses Restes. Der Kalkgehalt der neuen Dünen ist genügend (3—5 %), der der alten Dünen dagegen zu klein. Dieser Kalk ist von organischer Herkunft.

SCHROEDER VAN DER KOLK (1895) hat die eventuelle Fruchtbarkeit in Zusammenhang gebracht mit der oben erwähnten Selektion der Meeresströmungen, welche die fruchtbarmachenden leichten Mineralien ausspülen und anhäufen sollen, eine Meinung, welche schon deshalb nicht richtig ist, weil jeder Sturm diese Auslese vernichten muß. Dann hat er Untersuchungen ausgeführt, um die Frage zu lösen, ob vielleicht ein kleiner Gehalt an schweren Mineralien zusammengehe mit einem hohen, an leichteren und so einen fruchtbaren Boden anweisen könne. Er fand folgenden Gehalt an schweren Mineralien:

Fruchtbare Sande	0,5	0,05	0,4	0,6	0,9 %.
Tote Sande	0,2	0,3	0,4	0,65	0,8 %.

Hieraus geht hervor, daß die von ihm gefundenen minima für fruchtbare Sande weit geringer sind, während die höheren Zahlen für beide Sande wohl übereinstimmen. Diese Gehaltsbestimmungen lassen daher einen sicheren Schluß nicht zu.

Es gibt viele Ursachen für die Unfruchtbarkeit. Wenn auf einer geringen Distanz voneinander zwei so ganz verschiedene Böden auftreten, so ist meistens wohl der unfruchtbare die übergewehte, vorher durch das Wasser und die Vegetation ausgelaugte, obere Schicht der anliegenden Dünen, deren tiefere, reichere Schicht entblößt wurde, wie ich dieses in dem geologischen Abschnitt dargetan habe. Der Unterschied macht sich dem Auge kenntlich in der Farbe und der Feinheit des Sandes.

WARMING (1909) zitiert TUXEN: „Wenn man mit dem Dünen-sand einen Boden vergleichen will, welcher ebenso arm ist an Nahrungssalzen, so wähle man dazu den Bleichsand. Nur in dem Kalkgehalt überwiegt der Dünensand.“ Und eine solche Armut nimmt uns gar kein Wunder, wenn wir uns erinnern, daß Sand der Rest ist, welcher aus der Zerreibung und chemischen Verwitterung der Gesteine zurückbleibt.

Herr W. v. D. SLEEN hatte die Liebenswürdigkeit, einige Muster chemisch für mich zu untersuchen, welche ich dem alten Dünenkomplex von Noordwykerhout entnommen hatte.

	CaCO ₃	MgCO ₃	Fe ₂ O + Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	SiO ₂ Gehalt	Glüh- Verlust
A. Eisenreicher Ortstein direkt unter dem Bleichsand und auf der „Darieschicht“ angesammelt bei Bartebrug .	0,44	0,14	2,62	0,16	0,05	90,83	5,83
B. Harter Sand, direkt unter der Heidenarbe 30 cm tief (ungefärbter Ortstein) bei Ruigenhoek	0,48	—	0,48	0,05	0,05	98,13	0,84
C. Bleichsand aus der Grube „Twistduin“ bei Noordwykerhout	0,24	0,13	0,78	0,07	0,05	98,4	0,39
D. Kalkreicher, unterer Sand aus der Grube „Twistduin“ bei Noordwykerhout . .	2,88	0,11	0,82	0,16	0,05	95,8	0,35

Aus obenstehenden Analysen ist zu ersehen, daß der Ortstein aus Muster A Eisen- und Phosphorsäure angehäuft hat und einen größeren Glühverlust aufweist infolge der aufgespeicherten Humate. Sein Kalkgehalt ist ein kleiner und stimmt mit dem des Musters B überein. Der Kaligehalt aller Muster ist ein sehr geringer. Der Ortstein des Musters B hatte nicht die schwerdurchlässige Unterlage wie A und ist vielleicht auch nicht so alt, wie wohl aus seinem Kaligehalt, Eisengehalt und Glühverlust hervorgeht.

Der kalkarme Bleichsand aus Muster C ist etwas reicher an Fe₂ und P₂O₅, während sein Glühverlust nur sehr gering ist, was für Bleichsand stimmt.

Der hierunter liegende „Grauwe Klinkzand“ zeichnet sich durch seinen Kalkgehalt aus und bietet normale Verhältnisse für Kali, Phosphor und Eisen. Er ist ein typisches Beispiel vom grauen Klinksand, wie er für die Bodenverbesserung benutzt wird. Wie ersichtlich, kommen Kali und Phosphorsäure, die vornehmsten anorganischen Nahrungsstoffe nur in sehr kleinen Prozentsätzen vor. Dieser Gehalt stimmt mit jenem der Heideflugsande Norddeutschlands und der Dünen von Dänemark überein (WARMING 1909). In DUBOIS' Arbeit über die Prise d'eau von Haarlem (1909) gibt er von 26 Sandmustern den Gehalt an P₂O₅ und K₂O, und erwähnt dazu, welche Bewachsung der untersuchte Boden trug. Das Resultat war, daß eine Bewachsung mit Birken, Ligustrum und anderm Laubholz einen bedeutend höheren Gehalt an P₂O₅ und K₂O aufweist. Die Angaben von MASSART (1908) weisen auch auf eine Armut an diesen Stoffen hin. Der Boden kann dann nur bei reichlicher Düngung bebaut werden. Im allgemeinen liefert die feinkörnige staubreiche Schicht der alten Dünen, wenn sie nur mit Stalldünger gedüngt wird, keinen loh-

nenden Ertrag. Auch wachsen Bäume hier sehr langsam, zum Teil weil das Grundwasser tief liegt und eine wechselnde Höhe hat.

Auch die lockere Bewachsung der Dünen gilt als ein Kennzeichen ihrer Unfruchtbarkeit, welche letztere sich jedoch am stärksten äußert in den Kanälen der Wasserleitungen, welche fast ohne Pflanzen sind. Nur sehr wenige Wasserpflanzen kommen in ihnen vor und viele sind schwach entwickelt und blühen deshalb nur selten. Sobald sich aber eine Moderschicht auf dem Boden bildet, nimmt ihre Anzahl zu. So fand ich z. B. in einem Weiher, 10 Jahre nachdem er ausgegraben wurde, sehr viele Pflanzenarten. MASSART (1909) war der erste, welcher auf diese Armut der Wasserflora hinwies. Die Analysen des belgischen Dünenwassers stimmen mit denen des holländischen überein.

§ 4. Korngröße.

STARING (1856) gibt an: „Der Meeressand rührt vom norddeutschen Diluvium her, das teilweise mit anderen diluvialen Bodenarten gemischt, in Texel, Wieringen, het Gooi, Utrecht und Bergen op Zoom seine meist westlichen über das Meer hinausragenden Punkte erreicht, um erst bei Norfolk, Suffolk und Essex in England sich wieder über das Meer zu erheben. Die Nordsee ist eine Senkung des Diluviums.“

Aus den Untersuchungen von RETGERS (1891, 1895), SCHROEDER VAN DER KOLK und LORIÉ (1897) wissen wir, daß der Meeressand größtenteils denselben Ursprung hat wie die diluvialen Sande unserer Heiden. Er ist eine Glazialablagerung, später durch Anfuhr mittelst Flüsse und Abrasion der Kliffe vermehrt. Deshalb wird er von WINKLER (1878) als „diluvium remanié“ angedeutet.

Durch das Meereswasser wird er nach der Schwere sortiert, indem der feinere Staub in der Schwebe gehalten wird. Dieser findet an unserer flachen Küste mit seiner Brandung nur wenig Gelegenheit, sich abzusetzen, was das Fehlen von Lehm und Ton im Dünen sand völlig erklärt. In den Untiefen des Strandes fand ich bei Ebbe öfter ganz dünne, nur wenige Millimeter dicke Schichtchen von Schlamm; es sind aber immer verschwindend kleine Mengen.

Es findet also eine erste Trennung durch die Meeresströmungen statt. Sind die Witterungsverhältnisse günstig, so trocknet der an den Strand geworfene Sand bald, wird ein Spielzeug des Windes und von diesem nach der Korngröße sortiert. Aus dieser zweifachen Trennung resultiert sich ein sehr gleichkörniges Material, wie es die umstehende Tabelle verdeutlicht. Sie enthält die mechanischen Analysen von 22 Sandmustern, welche ich verschiedenen Dünenkomplexen aus verschiedenen Tiefen entnommen habe.

Bei keinem fand ich Körner größer als 1 mm; eine Ausnahme bildet nur der grobe Heidesand, welcher 1,7 % Körner dieser Größe enthält. Alle weiteren in dieser Spalte angegebenen Werte sind Muschelschalentrümmer, Würzelchen und andere organische

Nr.	Herkunft der Muster	Korngröße in mm auf 1000 Teile					
		Tiefe in m	> 1	1—1/2	1/2—1/3	1/3—1/4	< 1
1.	Weißer CaCO ₃ freier Sand aus einer Windmulde bei Schoorl in der Nähe des Strandes	2,00	—	32,76	784,8	169,8	12,4
2.	Kalkfreier, granatreicher Sand der ersten Dünenkette am Meere bei Bergen	Oberfl.	—	17,22	505,9	311,4	164,5
3.	Granatsand aus einer Granatbank bei Bergen	—	*0,182	11,23	388,9	457,3	142,6
4.	Brauner oberer Sand aus der Grube „Hanenburg“ bei Haag	0—2,00	—	5,03	283,08	575,6	135,7
5.	Weißer unterer Sand aus der Grube „Hanenburg“ bei Haag	2—3	—	31,9	559,6	349,7	57,6
6.	Brauner Sand von der Wurzelschicht der Heide bei Noordwykerhout . .	0,10—0,25	*3,65	140,9	620,81	183,9	50,7
7.	Brauner Sand von der Wurzelschicht der Heide bei Noordwykerhout . .	0,3—0,4	*0,44	56,52	646,1	239,6	57,5
8.	„Geestgrond“ südlich von Noordwykerhout	0,25—0,4	*0,73	95,26	580,1	242,1	81,9
9.	Weißer Sand aus der Grube „Zilk“	2,00	—	116,2	686,00	170,2	27,7
10.	Brauner Sand von NW-Groevenbeek bei Putten in Gelderland auf Kies .	2,00	17,5	113,5	779,00	69,4	20,7
11.	Sand der Proembryonaldünen bei Ymuiden	—	—	0,28	118,38	774,3	104,7
12.	Sand der Düne am Meeresstrande bei Zandvoort	0,10	*6,00	205,00	284,7	389,3	116,5
13.	Sand der Düne am Meeresstrande bei Zandvoort	0,50	*0,37	48,15	201,2	567,3	178,7
14.	Sand des SE-Abhanges der großen grauen Düne auf „de Ebbinge“ unter Renntiermoos	0,10	*2,314	58,56	509,08	326,27	100,2
15.	Sand des SE-Abhanges der großen grauen Düne auf „de Ebbinge“ unter Renntiermoos	0,50	—	23,6	474,6	417,3	84,16
16.	Sand vom NW-Abhange der großen grauen Düne auf „de Ebbinge“ unter Birken, Buchen und Eichen .	0,10	*3,456	118,37	486,5	329,2	66,9
17.	Sand vom NW-Abhange der großen grauen Düne auf „de Ebbinge“ unter Birken, Buchen und Eichen .	0,50	*2,59	198,2	484,1	269,5	44,8
18.	Sand der Durchgrabung bei Overveen	0,10	*1,22	36,7	350,7	498,0	120,5
19.	Sand der Durchgrabung bei Overveen	0,30	*1,22	38,85	414,3	444,9	98,3
20.	Sand der Durchgrabung bei Overveen	0,50	—	26,72	502,00	410,3	60,82
21.	Sand der Durchgrabung bei Overveen	1,00	—	84,6	455,00	378,0	81,8
22.	Sand der Durchgrabung bei Overveen	1,50	—	77,8	485,7	357,4	79,9

Reste. Der größte Teil der Körner aller Muster sammelt sich auf dem zweiten und dritten Sieb und schwankt somit zwischen $\frac{1}{2}$ und $\frac{1}{4}$ mm Durchmesser. Wenn wir die Muster 4—10—11 und 12 außer Betracht lassen, können wir im allgemeinen sagen, daß die alten Dünen gröber sind als die neueren, was vielleicht auch mit ihrem Alter zusammenhängt. Die letzteren bestehen aus Material, das viel länger im Meere der Zerreibung ausgesetzt war.

Wichtig sind die Ziffern der Proben 4 und 5. Es lagen dort in einem frischen Profil zwei Schichten übereinander. Die obere braune war 2—4 mm dick und trug eine Heidevegetation, vermischt mit *Allium vineale*, *Filago minima*, *Ulex europaeus*, *Dianthus deltoides* und *Sarothamnus vulgaris*. Sie war scharf von der weißen unterliegenden Schicht abgetrennt und sah aus, wie vom Wind abgesetzt, weil sie alle Niederungen des weißen Sandes ausgefüllt hatte. Die obere Schicht ist als das jüngst übergewehete zu bezeichnen und meistens feiner, wie es auch die Analyse deutlich angibt.

Der Bleichsand von Probe von Nr. 9 ist für Dünensand sehr grob und nähert sich darin dem Heidesand der 10. Probe. Eine sehr bemerkenswerte Verteilung der Körner gibt Muster 12, von dem 20 % auf dem zweiten Siebe blieb, welche Zahl größer ist als für alle anderen Muster. Die oben erwähnten „Proembryonaldünen“ zeigten ihrer Bildung durch schwache Winde gemäß einen sehr feinen Sand, der zu 77,5 % aus Körnern von $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{4}$ mm bestand. Die Muster 18—22 zeigen im großen und ganzen viel Übereinstimmung. Sie sind einer 20 m hohen Düne entnommen, welche teilweise abgegraben worden war. Die beiden oberen Muster zeigten noch Wurzelreste auf dem ersten Siebe, die tieferen nicht mehr. Die Düne war nur spärlich mit *Corynephorus canescens*, *Koehleria cristata albescens*, einigen Kompositen und einigen Flechten bewachsen. Aus den Analysezißern ist abzuleiten, daß der Gipfel der Düne aus feinerem Material besteht, und daß vielleicht nur dieses so hoch fortgeblasen wurde, während das gröbere Material nach und nach zurückblieb. Hieraus ist zu schließen, daß die Korngröße abnimmt, wenn eine Düne stark an Höhe zunimmt.

Die Muster 1—9 sind den alten Dünen entnommen und zeigen bei der mechanischen Analyse ohne Unterschied einen feinen Staub, den die jungen Dünensande nie aufweisen. Auch das Muster Nr. 10, einer bewaldeten Heide auf 2 m Tiefe entnommen, zeigte einen dergleichen Staub. Beim Glühen wird dieser erst schwarz und verbrennt dann größtenteils; er besteht also aus organischen Verbindungen (Humusverbindungen). In dem Glührückstand ist ein unlöslicher Teil vorhanden, welcher als Quarzmehl und Al_2O_3 zu bezeichnen ist. Da RETGERS (1891) angibt, daß der Dünensand sich durch den Mangel an mehlartigem Pulver auszeichnet, hat er sich wohl hauptsächlich, wenn nicht ausschließlich, mit dem Sande der jungen Dünen beschäftigt.

Obgleich SOLGER (1910) für seine Theorie, daß die Inlanddünen Norddeutschlands nicht als Stranddünen entstanden sind,

ihren Staubgehalt als Beweis anführt, ist es nach dem oben Gesagten ohne weiteres deutlich, daß dieses Staubreichtum kein Kriterium sein kann, weil doch unsere alten Stranddünen ihn gleichfalls aufweisen.

BOSSCHA (1879) schließt aus seinen Untersuchungen, daß der Heidesand viel größere Unterschiede in der Korngröße aufweist als die Dünensande. Die Heidesande sind denn auch von Wasserströmen verschiedener Stärke abgelagert worden und daneben findet in den Heiden noch fortwährend Verwitterung der Erratica statt. Wo auf der Heide der Wind Dünen aufweht, sortiert er und es bleibt der grobkörnige Kies an Ort und Stelle zurück. Dieser tritt, solange die Verwitterung ihn nicht angreift, als schützende Decke des unterliegenden Bodens auf, wie ich das wiederholt in den „Langen Dünen“ von Soesterberg beobachtet habe.

§ 5. Farbe des Sandes.

Die Farbe des Sandes ist eine stark wechselnde. Das vorhandene Eisen wird vom Regenwasser gelöst und in der porösen, tief durchlüfteten Düne schnell oxydiert und so werden alle Sandkörner mit einem Häutchen von Eisenoxydhydrat überzogen, welches sie mehr oder weniger braun färbt. Diese hellbraune bis gelbe Farbe ist die der frischen Sande. Die alten, lange bewachsenen Dünensande sind in der oberen Schicht durch Beimischung von Humaten kaffeebraun, und diese Humate färben den Ortstein fuchsrot. Beim Glühen wird dieser Sand schwarz, später weiß, während der mit Eisen gefärbte Sand beim Glühen rot wird. Der Sand der Berger Dünen und der Dünen von Callantsoog ist blendend weiß, und dieses deutet auf ihr hohes Alter und auf eine starke Verwitterung hin. Der Bleichsand hat allerlei Farben, kann aber auch blendend weiß sein. Ich fand bei Vogelenzang eine 2 m dicke Schicht weißen Ortsteins, in der alle Körner durch ein sehr feines, weißes Pulver verkittet waren. Auch dieser Sand färbte sich beim Glühen schwarz, während der Geruch und der Glühverlust auf Humate hindeuteten.

In Birken- und Eichenbeständen ist die obere Schicht durch den Humus schwarzgrau gefärbt. Wie schon erwähnt, ist die untere Schicht der alten Dünen grau bis schwach bläulich gefärbt und diese Farbe ist vielleicht durch eine Art Zersetzung bedingt, welche auch die alten Muschelschalen blau färbt.

Wie bekannt, hat die Farbe des Bodens einen großen Einfluß auf dessen Wärmekapazität. Der weiße Sand wirft viele Strahlen zurück, während der gefärbte sie absorbiert.

§ 6. Kochsalzgehalt des Bodens.

Der Kochsalzgehalt der Dünen ist ein sehr geringer und läßt sich, weil dieses Salz so leicht löslich ist, am besten im Dünenwasser demonstrieren. Bei den meisten von dem Dünenwasser gemachten Analysen ist nur der Chlorgehalt angegeben, und dieser

steigt in dem oberen, sowie in dem tieferen, den neuen Dünen entnommenen Wasser bis 118 m—AP nicht höher als 38,3 Milligramm im Liter (DUBOIS 1909), also winzige Mengen. Nur in der Nähe von Torflinsen und Lehmhängen steigt dieser Chlorgehalt stark (s. Taf. XIV, Fig. 2). „Salzpflanzen“ finden sich denn auch in den inneren Dünen nicht.

Der frisch angespülte Sand ist ziemlich reich an Kochsalz. Wenn nach der Flut der Sand schnell vom Wind und von der Sonne getrocknet wird, gilt dieses natürlich nur für die oberste dünne Schicht. Hier verdunstet das Wasser und bleibt das Salz, welches die Körner aneinander kittet, zurück. So bekommt die obere Schicht eine gewisse Konsistenz und kann als Kruste vom lockeren unterliegenden Sande abgehoben werden, wenn dieser sein Wasser durch Abfließen verloren hat. Geht man barfuß auf diesem Sande, so gibt er einen hohen Ton, welchen man bei feuchtem Wetter nicht hört. Fällt Regen auf ihn und wird er nachher wieder schnell getrocknet, so bleibt die Verkittung aus (s. weiter unten; GIRSCHNER 1859 und BRAUN 1911).

Natürlich kann dieser salzreiche Sand auch zu Dünen angehäuft werden, wenn das Wetter längere Zeit trocken bleibt und solche Dünen werden dann einen ziemlich hohen Gehalt aufweisen. Auf solchen salzhaltenden Vordünen und Embryonaldünen finden sich *Cakile maritima*, *Triticum junceum*, *Arenaria peploides*, *Salsola kali* und andere Halophyten vor.

Abschnitt III.

Klimatische Bedingungen.

§ 1. Das Klima.

Die Nähe des Atlantischen Ozeans beherrscht die klimatischen Faktoren der Küstenländer von Westeuropa. Dieser ganze Küstenstreifen kennzeichnet sich durch vorherrschende Südwest- und Westwinde, verhältnismäßig kühle Sommer, milde Winter, große Luftfeuchtigkeit und starke Bewölkung, während die Niederschläge über das ganze Jahr verteilt sind. Die herrschenden West- und Südwestwinde erniedrigen die Sommer-temperatur, erhöhen dagegen die Wintertemperatur durch die starke Bewölkung, da eine solche im Sommer die Bestrahlung herabsetzt, aber im Winter die Ausstrahlung vermindert und die Lichtintensität während des ganzen Jahres stark beeinflußt.

Besonders einflußreich ist hier der Golfstrom, welcher jedoch größtenteils vor England umbiegt und an dessen Westküste sowie an derjenigen von Irland läuft, während nur ein kleiner Ast durch den englischen Kanal hindurch kommt und unserer Küste entlang strömt. Niederland genießt hierdurch diesen Einfluß nicht in dem Maße wie Frankreich und England. Wie groß der Einfluß des Golfstromes auf die Temperatur ist, wird erst recht ersichtlich, wenn wir die Ostküste von Amerika mit in

Vergleich ziehen¹⁾, an welcher die kalte Labradorströmung entlang geht. Dabei ist aber in Betracht zu ziehen, daß dort die Westwinde die herrschenden sind und daß dadurch der Einfluß des Kontinents sich stark geltend macht.

Europa	N. B.	Jahresmittel Temperatur	Temperatur- mittel der kältesten Monate	Amerika	N. B.	Jahresmittel Temperatur	Temperatur- mittel der kältesten Monate
San Fernando	36° 30'	+17 5°	+11 6°	Norfolk .	36° 48'	+15 1°	+4 6°
Bordeaux .	44° 48'	+12 8°	+5 5°	Halifax .	44° 42'	+6 3°	-5 2°
Brest . . .	44° 4'	+12 0°	+6 6°	St. Johns .	47° 36'	+4 5°	-5 3°

Unter dem Einfluß des Atlantischen Ozeans und des Golfstromes biegen die Januar-Isothermen an der europäischen Küste alle stark nordwärts. Für die niederländische Küstengegend ist die Januar-Isotherme von 2° C die wichtigste. Diese geht über das ganze Land von Maastricht durch Holland und Friesland, erreicht nicht die dänische, wohl aber die norwegische Küste, und zwar in der Inselgegend von Stavanger bei Drontheim. Die Januar-Isotherme von 0° C berührt die Niederlande nicht, läuft an der dänischen Westküste entlang bis Skagen, um weiter an der norwegischen Küste entlang mit der von 2° C parallel zu gehen (s. J. HANN 1892).

Die Juli-Isothermen haben meistens eine entgegengesetzte Krümmung. Die Isotherme von 16° C ist wohl die wichtigste für Niederland und die Westküste Dänemarks. In dem Lauf dieser Linie ist der Einfluß des Landes sehr gut zu sehen. Sie biegt an der Küste nordwärts, um dann unter dem Einfluß der Zuiderzee sich gegen Süden zu krümmen und unter der Einwirkung der Nordwest- und Westwinde Friesland und Groningen zu durchsetzen.

Helder zeigt im Sommer sehr niedrige Temperaturen, stets 1° C niedriger als Vlissingen. Dieses ist wohl seiner Lage zuzuschreiben, da es auf der Spitze von Holland ins Meer vorgeschoben liegt und so dem Einfluß von Nord- und Zuiderzee ausgesetzt ist. Dazu muß wohl auch in Betracht gezogen werden, daß eine kalte Strömung, welche von der englischen Küste herkommt, sich bei Petten der niederländischen Küste nähert. Auch durch diese wird die Temperatur etwas fallen müssen.

Ferner weisen alle meteorologischen Stationen in Niederland den Juli als den wärmsten Monat nach. Nur für Helder werden zwei Monate als die wärmsten angegeben, und zwar Juli und August mit einem Mittel von 17° C. Offenbar ist hier die warme Periode, welche sonst auf allen Stationen mit dem Monat Juli zusammenfällt, durch den Einfluß des sich nur langsam erwärmenden Meeres verschoben und so über die Monate Juli und

¹⁾ Ich entnehme dieses dem Rapport der Heidemaatschappy 1892.

August ausgedehnt worden. Die Zahlen für den ersteren werden dabei herabgesetzt, und diejenigen des letzteren Monats etwas erhöht.

Mit MASSART (1908) nehmen wir eine andere Verteilung der Jahreszeiten als die meteorologische an, welche besser mit den Wachstumsperioden der Pflanzen übereinstimmt. Diese Einteilung ist auch bei der Zusammenstellung der Tabelle auf S. 328 befolgt worden. Das botanische Jahr für unseren Küstensaum dauert somit vom 1. Dezember bis 30. November. Der Winter, diese lange Ruheperiode, fällt in die Monate Dezember, Januar, Februar und März; der Frühling, die kurze Periode des Erwachens, in den April und Mai; der Sommer ist die Periode der Entwicklung für die meisten Pflanzen und dauert 4 Monate: Juni, Juli, August und September, während der Herbst, in welchem die Lebens-tätigkeit der Mehrzahl der Pflanzen allmählich abnimmt, nur die beiden Monate Oktober und November umfaßt.

In Tabelle II sind für den Vergleich der verschiedenen Teile des Landes zwei Stationen an der Küste (Helder und Vlissingen) und zwei im Osten (Maastricht und Winterswyk) gewählt worden.

Von großer Bedeutung für die Vegetationszeit, besonders der frostempfindlichen Pflanzen, sind die Daten der letzten und der ersten Nachtfröste. Nach den meteorologischen Angaben über die Jahre 1901—1910 stellen sich im Osten die letzten Nachtfröste des Frühlings stets später und die ersten des Herbstes stets früher als im Westen ein. Die Vegetationsperiode ohne Frost ist im Westen in vielen Fällen sogar um zwei Monate länger als im Osten. Im allgemeinen sind Juni, Juli und August die frostfreien Monate.

Im Jahre 1910 trat nach meinen Beobachtungen in den Dünen der „Ebbinge“ bei Zandvoort die erste Frostnacht des Herbstes auf Rasen am 22. September, die letzte des Frühlings am 14. Mai auf, und diese Daten zeigen mit denen der meteorologischen Stationen eine gute Übereinstimmung. Diese Beobachtungen fanden jedoch auf einer ± 20 m + AP liegenden Düne statt. Im Monat August konstatierte ich einige Male auf der Grasdecke der Täler und Kessel Frost, meistens in der Form von Reif. Dies war aber nur nach heißen Tagen der Fall. Als dann abends bei unbewölktem Himmel eine starke Abkühlung durch die Ausstrahlung eintrat, fand fast stets Bildung von Tau statt, welcher sich bei dem weiteren Abkühlen in Reif umwandelte. Die Täler erreichen öfter sehr niedrige Temperaturen.

Die spätesten Daten für den letzten Frühlingsfrost wurden für Winterswyk am 24. Mai 1905 und am 30. Mai 1907 beobachtet. Die letzten Frosttage in Helder und Vlissingen fielen im Jahre 1908 auf den 25. bez. 26. April. Maastricht zeigt meistens frühere Daten als Winterswyk. Die Zahl der Tage großer Kälte ($< -5^{\circ}$ C) und der Tage großer Hitze ($>25^{\circ}$ C) ist im Osten des Landes erheblich höher als im Westen. Alle Temperaturangaben im Sommer sind für die westlichen Stationen niedriger als für die östlichen; alle diesbezüglichen Zahlen des Winters sind dagegen

Klimatologische Angaben über die

	Station	Maximal-Temperatur			Minimal-Temperatur					Tage großer Kälte		Tage großer Wärme		Frost	
		Jahresmittel	Mittel Sommer	Mittel April	Jahresmittel	Mittel Winter	Absol. Minim. Winter	Mittel Mai	Absol. Minim. Mai	Tage großer Kälte	Tage großer Wärme	Daten der letzten	Daten der ersten		
1901	Vlissingen .	12,5	19,0	11,4	7,5	1,2	-9,3	8,9	6,0	10	0	7	29. 3.	5. 12.	
	Helder . . .	12,3	19,4	11,3	7,0	0,5	-10,0	8,5	5,8	18	0	3	6. 4.	5. 12.	
	Maastricht .	14,4	23,5	14,9	6,1	-0,6	-14,6	8,5	3,6	10	8	48	30. 3.	3. 11.	
	Winterswyk	14,3	23,2	15,2	4,3	-2,2	-18,0	5,8	0,4	32	13	50	26. 4.	3. 11.	
1902	Vlissingen .	11,8	18,5	11,4	7,1	2,2	-6,8	7,3	2,7	3	0	5	27. 2.	17. 11.	
	Helder . . .	11,2	16,9	10,4	6,4	1,5	-8,0	6,9	4,0	4	0	5	24. 3.	18. 11.	
	Maastricht .	13,6	21,2	14,5	5,9	1,4	-8,6	6,4	1,3	7	0	24	11. 3.	16. 11.	
	Winterswyk	13,6	21,6	14,7	4,1	-0,2	-11,6	4,6	-1,3	13	2	24	15. 5.	3. 10.	
1903	Vlissingen .	12,5	18,5	8,7	7,9	2,6	-9,4	9,8	6,5	8	0	6	23. 1.	20. 12.	
	Helder . . .	11,4	18,0	7,8	7,3	1,9	-8,5	9,1	3,1	7	0	4	12. 3.	4. 12.	
	Maastricht .	14,4	21,4	9,6	6,4	1,4	-11,1	8,8	3,8	16	2	20	20. 4.	20. 11.	
	Winterswyk	14,1	21,4	9,8	5,2	0,2	-14,1	7,8	0,9	21	4	27	19. 4.	17. 11.	
1904	Vlissingen .	12,2	19,5	12,2	7,4	1,5	-6,0	9,5	5,3	4	0	7	17. 3.	21. 12.	
	Helder . . .	11,5	17,7	11,4	7,0	1,2	-4,7	8,9	5,3	0	0	5	19. 3.	15. 11.	
	Maastricht .	13,8	22,4	15,0	5,8	0,5	-10,2	9,1	2,1	11	2	37	26. 3.	11. 10.	
	Winterswyk	13,5	22,5	14,6	4,1	-1,1	-9,7	7,3	0,4	21	0	40	26. 4.	20. 9.	
1905	Vlissingen .	12,2	19,4	9,9	7,4	2,7	-7,9	8,9	5,3	5	0	3	5. 3.	24. 10.	
	Helder . . .	11,8	18,9	8,7	7,2	2,5	-7,0	8,6	5,1	4	0	2	4. 4.	26. 10.	
	Maastricht .	13,7	22,1	11,8	6,5	1,7	-10,6	7,8	1,4	7	2	32	9. 4.	25. 10.	
	Winterswyk	13,0	21,5	11,3	5,0	0,2	-14,6	6,1	-2,0	17	2	28	24. 5.	20. 10.	
1906	Vlissingen .	12,5	18,0	11,1	7,7	2,0	-3,2	8,8	4,0	0	0	11	28. 3.	8. 12.	
	Helder . . .	12,0	18,4	9,5	7,5	1,7	-3,7	9,0	4,0	0	0	7	24. 3.	8. 12.	
	Maastricht .	14,4	21,8	13,9	6,7	0,9	-6,3	9,7	1,5	4	0	29	30. 3.	12. 11.	
	Winterswyk	13,5	20,9	13,7	5,5	0,1	-7,2	8,7	2,0	9	0	21	25. 4.	25. 9.	
1907	Vlissingen .	11,7	17,4	10,6	6,7	0,7	-11,1	8,5	3,8	7	2	0	8. 3.	26. 12.	
	Helder . . .	11,3	16,9	10,2	6,5	0,4	-11,9	8,7	4,1	13	5	2	11. 3.	22. 11.	
	Maastricht .	13,4	20,3	13,1	5,6	-1,0	-13,3	8,5	1,0	22	4	19	27. 3.	22. 11.	
	Winterswyk	12,5	19,2	12,7	4,4	-2,0	-16,3	6,9	-2,0	26	11	10	30. 5.	5. 11.	
1908	Vlissingen .	11,7	18,0	9,1	6,8	1,2	-10,9	9,8	7,5	6	2	5	20. 4.	22. 9.	
	Helder . . .	11,3	17,8	7,8	6,5	0,9	-8,9	9,0	3,3	8	0	2	25. 4.	7. 11.	
	Maastricht .	13,8	21,5	10,8	5,8	0,2	-12,5	10,7	7,5	17	7	28	2. 4.	20. 10.	
	Winterswyk	12,0	17,9	10,4	4,7	-1,0	-14,0	9,2	4,5	18	3	18	28. 4.	20. 10.	
1909	Vlissingen .	11,4	17,5	12,2	6,4	0,2	-10,5	7,8	0,9	9	1	5	3. 4.	19. 11.	
	Helder . . .	10,5	16,1	10,1	5,9	-0,5	-12,3	7,2	1,1	12	4	1	19. 3.	14. 11.	
	Maastricht .	13,0	19,8	15,2	5,4	-1,0	-12,8	6,6	0,1	18	4	18	4. 4.	5. 11.	
	Winterswyk	12,2	19,2	14,1	4,1	-2,0	-15,9	5,0	-0,3	30	7	7	15. 5.	5. 11.	

Jahre 1901—1909 für Niederland.

Durchschnittl. Feuchtigkeit			Bewölkung um 2 h im Sommer	Regen					Windstärke von 7—12 nach dreimal täglich gemachten Aufnahmen								
Jahr	Frühling	Sommer		Jahr	Winter	Frühling	Sommer	Herbst	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
81	77	75	4,3	479,1	118,5	69,0	209,3	90,3									
82	79	78	5,0	587,6	117,1	82,6	193,8	134,0									
78	70	73	5,3	549,2	152,3	66,0	189,5	111,4									
79	67,5	69,5	5,6	717,8	215,6	94,5	239,5	168,2									
84	80,5	78	5,0	513,7	113,4	115,7	231,4	53,2									
52	83,5	77	5,3	649,8	207,1	124,9	229,6	66,5									
79	74	73,5	6,3	446,7	130,7	67,2	199,0	59,8									
79	71	72	6,1	751,7	255,6	126,0	294,6	75,8									
83	73,5	78	5,1	665,2	125,7	132,1	280,6	126,8									
83	78,5	79	5,8	904,6	172,8	166,6	355,6	209,6									
80	74	77	6,4	799,1	230,8	109,0	308,5	142,8									
80	74	76	6,7	101,5	253,3	181,4	403,7	203,1									
83	81,5	76	3,9	382,5	103,8	46,9	157,5	74,3									
82	78	75,5	5,0	555,6	180,3	65,9	182,4	124,3									
76	70	67	4,9	405,2	125,7	51,8	136,5	91,2									
80	74	67	4,3	507,2	214,9	74,0	101,1	117,2									
82	76	77	4,8	634,3	100,9	71,4	284,6	169,4	—	—	—	1	2	11	—	3	W 115
82	77	77	5,9	608,4	170,1	66,0	191,3	181,0	1	3	—	—	—	8	7	19	SW 165
76	75,5	70	5,7	833,6	247,4	113,1	309,5	163,6	—	—	—	—	—	2	1	2	S 135
81	70,0	75	6,1	807,6	211,4	85,7	341,2	169,3	—	—	—	—	—	4	4	2	SW 212
81	77	76	5,9	720,0	216,8	141,7	157,0	124,5	—	—	—	1	2	8	1	—	WSW 130
81	79	77	5,5	617,1	221,0	69,1	157,8	168,7	—	4	—	—	20	7	8	—	SW 196
76	68,5	71	5,7	727,1	265,1	125,0	210,2	126,8	—	—	—	—	1	2	1	—	WSW 145
82	73	77	5,7	745,1	229,6	117,6	254,2	143,7	—	—	—	—	1	—	1	—	SW 159
82	75,5	78	6,7	520,7	159,0	81,0	183,8	95,9	—	1	—	—	2	12	1	2	WSW 130
81	75	78	6,0	591,7	181,3	101,6	154,6	154,2	1	—	1	—	—	18	6	5	SW 163
74	63,5	69	6,6	629,8	222,8	85,9	196,9	124,2	—	—	—	—	2	—	1	1	WSW 165
80	68	76	6,7	603,4	212,3	55,4	216,7	119,0	—	—	—	—	—	1	—	1	SW 157
83	80,5	79	6,5	620,8	192,6	82,7	258,5	87,0	—	—	—	—	—	6	—	2	SW 126
83	81	78	5,8	528,1	217,7	43,6	212,0	54,8	1	5	—	—	—	16	3	8	SW 166
75	71	70	6,7	655,9	184,9	124,7	289,4	56,9	—	—	—	—	—	2	—	—	WSW 139
77	71	72	5,2	745,7	223,5	112,9	350,3	59,0	—	1	—	—	2	18	3	2	SW 185
81	69	80	7,1	751,4	151,6	110,2	348,7	140,9	—	2	—	—	1	2	1	—	WSW 97
82	73,5	81	6,9	617,6	146,3	73,8	254,5	143,0	5	2	3	—	1	17	6	5	SW 138
74	59	74	7,6	579,3	122,6	80,7	283,2	92,8	—	—	—	—	—	—	—	1	WSW 128
76	57,5	75	7,1	697,4	165,8	82,8	316,0	133,4	—	—	—	1	—	3	—	—	SW 148

im Westen höher als im Osten. Die absoluten Minima des ganzen Landes sind stets im östlichen Teile beobachtet worden, niemals an der Küste, einmal in Utrecht. Sie sind die folgenden:

Datum und Jahr	Station	Temperatur	Datum und Jahr	Station	Temperatur
3. 3. 1890	Tilburg	—11,2° C	10. 2. 1900	Maastricht	—11,2° C
11. 1. 1891	Maastricht	—15° „	15. 2. 1901	Winterswyk	—18° „
19. 2. 1892	Tilburg	—13° „	13. 2. 1902	de Bilt	—14,5° „
1. 1893	Oudenbosch	—17,2° „	1. 1903	Winterswyk	—14,1° „
5. 1. 1894	Winterswyk	—15,8° „	2. 1. 1904	Maastricht	—10,2° „
7. 2. 1895	Winterswyk	—22° „	2. 1. 1905	Winterswyk	—14,6° „
12. 1896	Zutfen	—8,8° „	12. 1906	Gemert	—14,9° „
5. 2. 1897	Groningen	—13,4° „	23. 1. 1907	Winterswyk	—16,3° „
12. 1898	Oudenbosch	—7,6° „	29. 12. 1908	Winterswyk	—15,9° „
12. 1899	Assen	—17° „	1. 1909	Sittard	—14,3° „

Sie fallen fast immer in die Monate Dezember, Januar und Februar. Nur das Jahr 1890 weicht ab. Wir sehen, daß seit 1890 das absolute Minimum für Niederland —22° C war. Am 23. Januar 1823 wurde in Utrecht —22,8° C beobachtet.

Für die Vegetation ist dieses von großer Wichtigkeit. So starb im strengen Winter von 1890—1891 ein großer Teil eines Bestandes von *Pinus maritima* bei Noordwykerhout ab. Das absolute Minimum des Monates Mai lag, nach den Beobachtungen der meteorologischen Station, an der Küste niemals unter 0° C. Und doch wissen wir, wie oft in den Mainächten noch Reifbildung vorkommt. Ich konstatierte den letzten Reif des Frühlings am 14. Mai 1910 auf Gras an einer günstigen Stelle.

Die Durchschnittszahlen für den Regenfall betragen in den letzten 18 Jahren für

Helder	715 mm
Vlissingen	650 „
Winterswyk	746 „
Maastricht	640 „
und für das ganze Land	699 „ .

Von diesen vier Stationen weist Winterswyk meistens die höchsten Zahlen auf; so für 1903 sogar 1041,5 mm.

Im allgemeinen ist an der Küste weniger Niederschlag zu beobachten (vgl. den Paragraph über den Regen).

Die mittlere Feuchtigkeit der Luft ist im Sommer und Frühling im Westen höher als im Osten. Ich fand fast immer hohe Zahlen, von 65—85, nur selten zeigte der Hygrometer weniger als 50 %; an Tagen mit Nordwestwind fielen die Zahlen mehrfach darunter ab und auch an heißen Tagen in trockener Zeit. An solchen habe ich im Jahre 1911 vielfach im Monat Juli und August 22½ bis 20 % gemessen.

Auch konnte ich wiederholt viel weniger Nebel in der Dünen-
gegend konstatieren als im Zentrum des Landes (Veluwe) und
auch weniger als auf den Polderwiesen und auf den Tiefmooren,
wo er fast nach jedem warmen Tag auftritt und sich zuerst über
den Gräben kenntlich macht.

Sehr bekannt ist ein Nebel, welcher abends nach warmen
Tagen vom Meere herkommt und bei Haarlem „Zeevlam“ genannt
wird. Es wird behauptet, daß dieser Nebel salz- oder chlorhaltig
sei: Wie dem ist, weiß ich nicht. Tatsache ist, daß zarte Blumen-
blätter, z. B. von *Iris*-Arten oder *Canna indica*, nach solchem Nebel
weiße Ränder zeigen. Nur in Meeresnähe kann bei kräftigen
Stürmen in den atmosphärischen Niederschlägen Salz konstatiert
werden. Die Baumblätter und Fensterscheiben weisen dann kleine
Mengen Kochsalz auf. Nach der Meinung von MASSART (1908) übt
dieser Salzgehalt aber fast keinen Einfluß auf die Vegetation aus.
In dem Grundwasser macht er sich später periodisch kenntlich.

Vergleichen wir jetzt das niederländische Küstengebiet mit
dem Osten, so sehen wir:

1. Im Küstengebiet mehr Stürme als im Osten,
2. „ „ größere Luftfeuchtigkeit,
3. „ „ höhere Wintertemperaturen als im Osten,
4. „ „ niedrigere Sommertemperaturen als im
Osten,
5. „ „ weniger Nebel als im Osten,
6. „ „ weniger Niederschlag als im Osten,
7. „ „ einen relativ längeren Sommer als im
Osten.

Betrachten wir die ganze Küstenzone von Brest bis Skagen
und daneben Memel, so gilt nach MASSART (1908) die Regel, daß
der Zeitraum zwischen der letzten und ersten Frostnacht in Brest
am größten ist, nach Skagen hin allmählich abnimmt und an der
Ostsee am kleinsten ist. Die Temperaturverhältnisse im Winter
sind fast die gleichen für die ganze Strecke; nur ungünstiger für
Memel. Dieses ist aus untenstehender Tabelle¹⁾ klar zu ersehen.

N. B.	Station	Mittlere Temperatur der kälteren Monate	Mittlere Temperatur der wärmeren Monate	Differenz
51° 27'	Vlissingen	+3° C	+18° C	15° C
52° 58'	den Helder	+3° „	+17° „	14° „
54° 53'	Sylt	+1,2° „	+16,8° „	15,6° „
54° 19'	Kiel	+0,4° „	+17° „	16,6° „
53° 26'	Stettin	-1,5° „	+18,9° „	19,6° „
55° 43'	Memel	-3,5° „	+17,1° „	20,6° „

Wir sehen, daß die Unterschiede zwischen den mittleren
Temperaturen des kältesten und des wärmsten Monats für

¹⁾ Rapport Ned: Heidemaatschappy 1892.

Vlissingen, Helder und Sylt nicht wesentlich verschieden sind, dagegen von Sylt bis Memel stets größer werden.

Unter den oben beschriebenen Bedingungen ist es begreiflich, daß in der niederländischen Küstenzone ein Einwandern von Pflanzen vom Norden und Süden stattfindet, und daß der Wechsel der klimatischen Bedingungen auch einen Wechsel der Flora herbeigeführt haben kann, weil einmal die nördliche, ein anderes Mal die südliche Flora bessere Lebensbedingungen fanden.

§ 2. Der Wind.

Nichts ist wechselnder und schwankender als Windstärke und Windrichtung, und zwar sind beide von den lokalen Verhältnissen abhängig (P. OLSSON SEFFER 1908; BRAUN 1911).

OLSSON SEFFER (1908) findet, daß die Windstärke sich mit der Höhe und mit der Neigung des Terrains ändert. Es ist begreiflich, daß das feinere Material am höchsten und am weitesten fortgeführt wird. So läßt sich die Staubschicht der alten Dünen erklären, welche stellenweise eine beträchtliche Dicke erreicht und bisweilen selbst ganze Dünen aufbaut, wie bei Bartenbrug.

Auf den frisch abgegrabenen Feldern der alten Dünen, wo man also die kalkreiche Schicht entblößt hat, ist vielfach zu beobachten, daß der feine Muschelkalkstaub ausgeblasen wird und sich z. B. an den klebrigen Blättern von *Alnus glutinosa* festsetzt. Hier beeinträchtigt also der Wind den Kalkgehalt und kann sich bei der Verteilung von fruchtbaren und unfruchtbaren Böden geltend machen.

Die Kraft des Windes äußert sich am meisten am Strande, dann auf den Gipfeln der Dünen, weniger in den Tälern und fast nicht an der Leeseite der Hügelreihen. Am Boden ist sie immer am schwächsten, da jede Pflanze und jede Unebenheit ein Hemmnis bilden. Im Mitführen der einzelnen Teile ist der Wind beschränkt. Diese dürfen eine bestimmte Größe nicht überschreiten. SOKOLOW (zitiert in KEYSERS Lehrbuch der Geologie) gibt folgende Zahlen für das Verhältnis zwischen Windstärke und Korngröße:

Windstärke in m pro Sek.	Korngröße in mm
4,5—6,7	0,25
6,7—8,4	0,50
9,8—11,4	1,00
11,4—13	1,50

Die Dünen sind äolische Bildungen und das sie aufbauende Material ist damit in Übereinstimmung, das heißt feinkörnig und trocken. Die letztere Eigenschaft ist natürlich von den atmosphärischen Bedingungen abhängig. Es ist allbekannt, wie die herrschenden Winde der Form der Dünen, dem ganzen Bilde der Landschaft und der Flora ihren Stempel aufdrücken. Daher ist es leicht verständlich, daß die herrschenden Winde und Stürme von großer Wichtigkeit sind.

Wie aus der Tabelle auf S. 328 zu sehen ist, kommen die meisten Stürme aus dem Südwesten, Westen oder Nordwesten. Es hängt

weiter mit der Richtung der Küste zusammen, von welcher Seite die kräftigsten Stürme kommen (MASSART 1908). In Vlissingen z. B. wird der Südweststurm seine volle Kraft ausüben können ohne gehemmt zu werden. Der Weststurm hat dort aber schon weniger Kraft, weil er eine Strecke weit über das Land herkommt und der Nordwestwind weht an dem Dünenkomplex der Südwestküste entlang. Helder dagegen liegt für fast alle Winde offen, jedoch am meisten für Südwest-, West-, Nordwest- und auch Nordoststürme.

Dieses Verhältnis äußert sich in den Zahlen der meteorologischen Berichte (Tabelle):

	Vlissingen								Helder							
	SW	W	NW	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	N	NE	E	SE	S
1905	11	—	3	—	—	—	—	—	8	7	19	—	—	—	—	—
1906	8	1	—	—	—	—	—	—	20	7	8	—	4	—	—	—
1907	12	1	2	—	1	—	—	2	18	6	5	1	—	1	—	—
1908	6	—	2	—	—	—	—	—	16	3	8	1	5	—	—	—
1909	2	1	—	—	2	—	—	1	17	6	5	5	2	—	—	1
	39	3	7	—	3	—	—	3	79	29	45	7	11	1	—	1
	Total = 55.								Total = 173.							

Stürme stärker als n:7—12 der Skala von BEAUFORT = 13,8—34,2 m pro Sek.¹⁾

Aus dieser Tabelle ist ersichtlich, daß die Lage der Beobachtungsstelle einen großen Einfluß auf die Wahrnehmungen ausübt. An beiden Lokalitäten herrschen die Südwestwinde vor, aber die Anzahl desselben ist bei Vlissingen viel kleiner. In Helder sind fast keine Stürme aus dem Südostquadrant beobachtet worden, weil solche Winde über das Land herkommen und dadurch ihre Kraft verlieren. Der Südwest- bis Nordwestquadrant ist bevorzugt und die Nordweststürme kommen als zweite im Range. Im Norden liegt die Insel Texel vorgelagert; die Anzahl der Winde aus dieser Richtung ist schon klein. Nach dem Nordosten hin liegt das Wattenmeer, über welches der Wind wieder herkommen kann ohne seine Kraft einzubüßen. Der Sturm vom 22. bis 23. Dezember 1894 (LORIE 1897) hatte in Helder eine Schnelligkeit von 30,75 m pro Sekunde — bei Hoek van Holland aber von 34 m pro Sekunde, und das Wasser wurde bei Scheveningen 3,53 m + AP aufgetürmt. Danach wurde die ganze Küste angegriffen. Die geringste Abnahme war 11 bei Huisduinen und die größte bei Petten und Callantsoog 13 m. Bei Groote Keeten wurden die Dünen durchbrochen. Die Richtung dieses Sturmes war von Südwesten über Westen nach Nordwesten. Wegen der Dünen kann sich der Nordwind bei Vlissingen weniger geltend machen und demgemäß wehen hier aus dem Osten und Südosten

¹⁾ Im Anschluß an MASSART gebe ich hier nur die Winde, welche eine größere Schnelligkeit als 14 m pro Sek. aufweisen, weil erst diese eine Gefahr für die Vegetation bilden.

fast nie kräftige Winde, während die häufiger vorkommenden Nordost- und Südwinde über das tiefe, flache Polderland herkommen.

Der Tabelle auf S. 328 habe ich weiter noch die Zahl derjenigen Winde hinzugefügt, welche nach dreimal täglichen Beobachtungen am meisten vorkommen. Wie ersichtlich, sind diese fast alle südwestlicher oder südsüdwestlicher Richtung.

Wir sehen also, daß die herrschenden Winde die südwestlichen sind, und daß auch unter den Stürmen ihre Zahl an der Küste überwiegt, wie aus derselben Tabelle hervorgeht, während die Zahl der Stürme nach Osten hin abnimmt.

Unsere Küste zeigt eine konkav gebogene Linie von Belgien bis Helder. Der nördliche Teil läuft fast südnördlich, der südliche Teil südwest-nordöstlich. Es ist selbstredend, daß der Einfluß der Winde auf diese beiden Teile verschieden sein muß. Die Südweststürme wehen der südlichen Küste entlang, werden aber die nördliche Strecke noch unter 45° angreifen können. Ebenso der Nordwestwind, der jedoch senkrecht zum unteren Teil weht. Die Westwinde treffen den nördlichen Teil senkrecht, den südlichen etwa unter 45° . Stürme aus dem Norden sind so selten, daß sie außer Betracht bleiben können. Hieraus sehen wir, daß der nördliche Teil unserer Küste von jeder der drei Gruppen von Stürmen angegriffen werden kann, daß aber im südlichen Teil, von Hoek van Holland bis Wyk aan Zee, der am häufigsten vorkommende Wind der Küste entlang geht. Unter diesen Bedingungen ist es deutlich, warum der nördliche Teil von der Küste mehr angegriffen wird als der südliche.

Zu der Abnahme durch Vertiefung des Meerbodens und durch die allmähliche Senkung der Küste kommt also noch der Wind als vernichtender Faktor hinzu. Die großen Verluste an unserer Küste beruhen natürlich auf den zwei ersteren Faktoren und werden erst nach langen Zeiträumen kenntlich. So lag im Jahre 1500 noch westlich von Huisduinen ein großes Vorland. Bei Petten sind seit der Mitte des XII. Jahrhunderts die Dünen 500 m zurückgedrängt worden. Die Arx Britanniae lag im Jahre 1694 1,2 km weit von der jetzigen Meeresküste. Im XIV. Jahrhundert ist bei Ter Heide noch ein 900 m breiter Dünenstreifen vernichtet worden (STARING 1856, LORIÉ 1897).

Die kleineren, sofort bemerkbaren Verluste dagegen finden fast nur bei Springfluten und bei kräftigen Stürmen statt. Dabei wird durch die vordringenden Wellen die äußerste Dünenreihe angegriffen und der Sand auf den Strand ausgebreitet. Dieser wird dadurch höher und uneben. Für einige Zeit werden Ebbe und Flutlinie etwas zurückgedrängt, aber bald wird das Material von den gewöhnlichen Gezeiten teils mitgenommen, teils gleichmäßig ausgedehnt und die nächste Sturmflut findet den Weg wieder geebnet.

Wo eine so lebhaftere Erosion stattfindet, treten hier und da die Torfschichten ehemaliger Dünentäler auf dem Strande zutage. Im günstigsten Falle haben diese früher hinter dem ersten Dünen-

rücken gelegen. Solche alten Torfe fand ich südlich von Katwyk und in großer Ausdehnung zwischen Bergen aan Zee und Groet. Die Schicht bedeckt an letztgenannter Stelle den ganzen Strand und breitet sich sogar eine Strecke ins Meer aus. Hier wird sie aber abgenagt und große Fetzen werden abgerissen und an anderen Stellen wieder ans Land geworfen. In dem von Meereswasser getränkten Teil leben Bohrmuscheln und auf seiner Oberfläche haben sich hauptsächlich *Enteromorpha* und *Porphyra* angesiedelt.

Früher war hier ein Tümpel mit allerhand Gewächsen, wie *Plantago maritima*, *Trichlogia maritima* u. dgl., aber durch die starke Erosion ist dieser seitdem verschwunden. VUYCK (1898) meldet vom Strande von Terschelling „Süßwassertümpel“, deren Wasser noch süß ist, nachdem das Meer sie erreicht und wieder verlassen hat. Es gibt dort einen grünen Strand; das Wasser scheint aus den hohen Dünen heranzufließen und mit einer gewissen Kraft nach der Oberfläche getrieben zu werden. Solche Tümpel sind wohl auf eine undurchlässige Unterlage zurückzuführen, wie ich das oben für Bergen angegeben habe.

Der Wind ist immer tätig und seine Wirkung ist nicht in dem Grade abhängig von der Schwerkraft wie diejenige des Wassers, welches die Gegenstände meistens nur von einer höheren nach einer tieferen Lage befördern kann. Wasser und Wind stellen zwei einander hemmende Kräfte dar. Wo auf dem Lande das Wasser unbeschränkt tätig sein kann, tritt die Winderosion in den Hintergrund. Atmosphärische Trockenheit und Sonnenbeleuchtung fördern die Tätigkeit des Windes und setzen diejenige des Wassers herab. In dieser Weise wird mit der Lage des Grundwassers das Niveau der Sande sich ändern.

Man könnte die beschriebene Strecke bei Bergen einen fossilen Strand nennen. Die unteren Teile von Birkenstämmchen stehen noch aufrecht. Es ist eins der Längstäler der alten gesunkenen Landschaft, welche sich erst mit einer dicken Torfschicht ausfüllte, dann überschüttet wurde und jetzt vom Meere wieder entblößt wird. Schon jahrelang liegt hier die Torfschicht auf dem Strande und schützt denselben vor weiterer Erosion. Dabei beobachtet man, daß das von den Dünen aufgespeicherte Wasser in Überfluß über der schwierig durchlässigen Schicht nach dem Meere abfließt. Hieraus muß wohl geschlossen werden, daß sie sich noch weit unter den Dünen erstreckt. Der auf der Torfbank vom Meere und vom Winde abgelagerte Sand wird vom abfließenden Wasser auch bei der Ebbe sehr feucht gehalten. Es bilden sich Abflußrinnen und kleine Tümpel mit Brackwasser. Der Wind kann den so durchfeuchteten Sand nicht aufwehen und schon dadurch ist eine etwaige Neubildung an diesen Stellen unmöglich.

Daß dennoch am Tage bisweilen wohl ein Sandflug möglich war, haben wir bei Bergen gesehen, als beim Frühstück der Sand uns bei kräftigem Nordostwind um die Ohren flog. Es zeigte sich hier ein Einfluß des Grundwassers auf die erodierende Tätigkeit des Windes. Daß der Wind in gewöhnlichen Fällen nicht imstande ist, feuchten Sand zu transportieren und daher in der

Nähe des Grundwasserspiegels seine erodierende Kraft allmählich einbüßt, finden wir schon bei STARING (1861) erwähnt, wo er sagt: „Der Sand wird niemals tiefer ausgeblasen als bis auf das Grundwasserniveau; diese Wirkung hört auf, sobald das Regenwasser stehen bleibt und es bilden sich Tümpel, die im Winter Wasser enthalten.“

Im „Rapport der Nederlandsche Heidemaatschappy 1892“ ist zu lesen: „Die durch den Grundwasserstand hervorgerufene Feuchtigkeit ist ein nicht zu unterschätzender Faktor, der vor allem die Gestalt der Binnendünenlandschaft beherrscht.“ VUYCK (1898) sagt: „Solange in den Dünen noch Windmulden vorkommen, wird der Wind den Flugsand angreifen können und werden bei kräftigen Winden Dünenkessel gebildet werden, weil der Sand bis auf das mit Wasser gesättigte Niveau ausgeblasen wird.“ LEHMANN (1906) nimmt an: „daß der Flugsand hier schon bis auf das Grundwasserniveau abgeblasen und daher der Sandflug zur Ruhe gekommen ist“. DUBOIS (1910, 1911) beweist klar, daß diese Eigenschaft des Dünensandes die Ursache für die Entstehung der wagrechten Lage der Dünentäler ist.

Aus diesen Untersuchungen sehen wir, daß die Form der Dünenlandschaft nicht nur dem Winde, wie meistens angenommen wird, sondern auch dem Grundwasser zuzuschreiben ist.

Auch eine Schneedecke genügt im Winter oft, um der Verwehung des Sandes vorzubeugen. Gibt es jedoch trockenes Wetter und Frost, so kann der Schnee selbst weggeblasen werden, und mit ihm der Sand. Auch kann der gefrorene Boden hemmend auf die Verwehung einwirken. Anfänglich geht diese nicht weiter als bis an die trockene Oberfläche, aber bei anhaltender Kälte wird auch diese beweglich, wenn auch selbstverständlich nur, wenn der Wind aus dem Osten oder Nordosten weht. So fand ich mehrmals kleine Windmulden, welche nach Nordosten und Südwesten eine kleine Düne gebildet hatten.

Die neue Düne verweht schnell, ihr Sand ist trocken und locker. Die mit Humaten verkitteten Sande der alten Dünen dagegen verwehen nicht so leicht; erstens der Verkittung wegen, dann aber auch, weil sie feucht sind. Die Ortsteinbänke treten dann durch ihre größere Resistenz aus den Abrasionsprofilen hervor. In dieser Weise wirkt die Beschaffenheit des Bodens auf die fortschreitende Erosion ein.

§ 3. Der Einfluß des Windes auf die Luftfeuchtigkeit.

Die Feuchtigkeit der Atmosphäre hängt mit der Windrichtung zusammen. Bei Nordwestwinden kommt wenig Taubildung vor, weil sie meistens als austrocknende Winde fungieren, denn sie kommen vom kalten nordatlantischen Ozean und haben einen mit ihrer Temperatur übereinstimmenden niedrigen Wassergehalt. Werden sie nun z. B. im Sommer vom Lande erwärmt, so können sie der steigenden Temperatur entsprechend Wasser aufnehmen und entziehen ihrer Umgebung diejenige Menge Wasser,

welche erforderlich ist, um die Sättigungsdifferenz auszugleichen. Selbst bei bedecktem Himmel zeigt die Pflanzenwelt bei solchen Winden dasselbe Bild wie in der vollen Sonne. Alles sieht grau aus, die Gräserblätter sind eingerollt, die Moose „schließen“ sich, die Lichenen rollen sich auf und tragen ihre oft weiße Unterseite zur Schau.

Im Frühling wehen Nordweststürme vielfach in der Zeit, wenn die jungen Triebe und Blätter sich bilden. Indem der Wind die Transpiration stark steigert, können sie dann vertrocknen, wie KIHLMANN (1890) und WARMING (1902) dieses beschrieben haben. Hierbei kommt auch die mechanische Schädigung in Betracht, welche sie erleiden, wenn sie miteinander zusammenstoßen (NOLL 1907, GERHARDT 1900). Wie wir oben gesehen haben, sind die Südweststürme sehr viel zahlreicher, aber sie sind feucht und wirken auf die Pflanzenwelt mehr durch ihre mechanische Gewalt als durch ihre austrocknende Kraft ein. Sie kommen namentlich im Sommer und im Winter vor und während solcher Stürme regnet es meistens ausgiebig.

Wie verschieden sich Laub- und Nadelholz unter diesen Einflüssen benehmen, hat MASSART (1908) deutlich hervorgehoben und ich kann seine Resultate für das von mir studierte Gebiet nur bestätigen. Das dem Winde ausgesetzte Laubholz ist nach dem Südosten, alles Nadelholz nach dem Nordosten gebogen.

§ 4. Der Einfluß des Windes auf die Pflanzenwelt.

Wie groß die erodierende Kraft des mit Sand beladenen Windes ist, erkennt man wohl am besten an alten Holzbrettern am Strande oder an Zaunpfählen. Hier werden die weicheren Holzteile ausgefressen, die härteren springen dann hervor und werden glatt poliert. Somit kann es auch nicht wunder nehmen, daß der mit Sand beladene Wind schädigend auf die Pflanzen einwirkt. Einmal fand ich in einer Windmulde merkwürdig deformierte Exemplare von *Laccaria laccata*, welche ganz mit Sandkörnern imprägniert waren, deren Hyphen aber wieder um die Wundstellen herumgewachsen waren.

Deutlich ist diese Beschädigung bei der Blumenzwiebelkultur zu beobachten. Wenn im Frühling die Nordwest- oder Nordwinde die Oberfläche austrocknen, wird der Sand auf den Feldern „lebendig“. Die zarten Hyazinthenblätter werden verwundet und die mit dem Sande verwehten Sporen und Bakterien können leicht eindringen, und tatsächlich treten nach solchen Winden mehr kranke Pflanzen auf als sonst. Auch in den Tulpen verursacht der Wind bestimmte Schädigungen des Laubes. Um dem Angriff des Windes auf die zubereiteten Kulturfelder vorzubeugen, werden Hecken von schnell wachsenden Bäumen gepflanzt: *Ulmus campestris*, *Ligustrum vulgare*, *Alnus glutinosa*, *A. incana*, *Crataegus oxyacantha*, während zu demselben Zwecke auf den älteren Feldern dichte Buchen- und Eichenhecken oder sogar Hecken von *Taxus baccata* und *Thuja occidentalis* gefunden werden. Um die Kultur-

felder in den echten Dünen zu schützen, pflegt man dort *Sambucus* zu pflanzen. Eine Hecke von 20 cm Dicke genügt dann vollständig, um den Wind zu brechen. Sind die Felder groß, so werden sie weiter noch mit aufgeworfenen Ästen geschützt, oder es werden Strohwische darauf gepflanzt. In der trockenen Frühlingszeit werden die Brachfelder mit den abgeschnittenen Blumen der Hyazinthen bestreut. Dieses ist zwar eine überaus sichere Methode, den Wind zu hemmen, kann aber auch den Boden nur zu leicht mit Krankheiten infizieren.

Daß der vom Winde transportierte Flugsand auch Samen enthält, ist selbstverständlich. Nach trockener Zeit zeigt ferner auch die Lichenendecke durch Einschrumpfung des Rhizoidenfilzes überall Risse, durch welche der nackte Sand hindurchschaut. Diesen können die Winde dann angreifen und dabei sogar die Decke selbst teilweise wegblasen und mit dem Sande mischen. In dieser Weise wird jede neugebildete Wanderdüne in einem bereits fixierten Gebiete von vornherein mit den Keimen der sie später bindenden Vegetation gemischt.

Der Wind transportiert auch den Blütenstaub der anemophilen Gewächse und die Samen vieler Pflanzen, welche dieses, ihrer Feinheit oder ihres geringen Gewichtes wegen, gestatten. Arten der *Orchidaceae*, *Ericaceae* und *Verbasceae* kommen hier in Betracht. Andere sind mit Flugapparaten versehen und unter diesen spielen viele *Compositae* und *Salicaceae*, sowie die *Coniferae* und *Betulae* die Hauptrolle. Die Samen von *Corispermum Marshalli* und *Salsola Kali* haben einen breiten, häutigen Saum. Öfter entwickeln diese Pflanzen sich sehr stark, trotzdem ihre Wurzeln nur verhältnismäßig wenig tief gehen. Dann werden sie losgerissen und so begegnete ich am Strande einige Male fort hüpfenden *Salsola*-Pflanzen, welche noch viele Samen trugen, doch auf ihrem langen Wege deren auch schon viele verloren hatten.

Betrachten wir jetzt den Einfluß des Windes auf den Habitus der Pflanzen. Wie der Wind diesen modifiziert, zeigt in den Dünen am schönsten der Holunder, *Sambucus nigra*, welcher sich an fast allen Stellen der neuen Dünen vorfindet. In den alten Dünen fand ich ihn aber nie oder sehr selten. Immer ist er im Hippophaetum anzutreffen, einer Sträucherassoziation, welche auf den neuen Dünen häufig bis an die äußerste Meeresdünenkette vorkommt.

Die in dieser stillen, menschenlosen Gegend auf den Sanddornen rastenden Vögel bringen hier mit ihren Exkrementen die Samen von anderen beerentragenden Gewächsen (DE BRUYNE) und so keimt hier im Windschatten der Holunder, der später über die Sanddornen emporwächst. Dann wird er vom Winde angegriffen und dieser rasiert ihm die Spitzen der emporwachsenden Äste ab. Hierdurch wird er zu reicher Verästelung veranlaßt, und die neuen Ästchen stehen alle parallel nebeneinander, dem Angriff der Winde einen größeren Widerstand leistend und aus ihrem dichten Gewirr wieder viele kleinere Ästchen emporsendend.

So entstehen die so auffallenden rundlichen, wie rasierten Kugeln mit ihrer lebhaften, dunkelgrünen Farbe zwischen dem silbergrauen Gesträuche der Sanddornen. Immer ragen über diese Kugeln viele tote Ästchen empor, als Zeichen des nie aufgehörenden Kampfes. Bei Zandvoort und auch an anderen Stellen fand ich mehrfach sehr alte Holunder mit einem Stammumfang von mehr als 1 m und etwa 3 m hoch, aber immer in der typisch ausgebildeten, rasierten Form. Mehr als fingerdicke, aus dem Boden empor-schießende Sprösse vermögen nur eine sehr kurze Strecke über die schützende Decke des Mutterbaumes emporzukommen. Der dichten Verzweigung wegen sterben viele Sprösse auch durch Lichtmangel und meistens ist der Boden ringsum mit totem Holz bedeckt oder besteht gar der ganze Strauch zu mehr als 50 % aus solchem. Nicht selten kommen sie vereinzelt auf den Südwest- bis Nordwestabhängen vor und folgen dann erst deren Neigung, um dann allmählich emporzusteigen und so grüne Auswüchse des Abhanges zu bilden, welche in der Form einer parasitären Düne sehr ähnlich sind. Steht ein Strauch aber nahe am Gipfel, so scheint er einfach eine Fortsetzung des Abhanges zu bilden, indem er müntzenförmig nach der anderen Seite übergreift. Wiederholt fand ich den Holunder auch in den Südwest bis Nordost gerichteten Windstraßen. Hier wird er mit den Sanddornen und mit *Ligustrum vulgare* durch den Wind in dasselbe Niveau hinabgezwungen, vermehrt sich aber ausgiebig auf vegetativem Wege, durch Wurzelsprosse, und kann ganze Abhänge bedecken.

In seinem Vorkommen ähnelt er dann dem im Osten des Landes wachsenden Halbstrauch *Sambucus Ebulus*. So abrasiert kommt er aber niemals zum Blühen und jeder emporragende Ast wird nicht höher als 0,5 m. Im Winter liefert diese Wuchsform einen merkwürdigen Anblick, weil dann zahllose parallele Ästchen von etwa gleicher Höhe nebeneinander stehen. Im Sommer ist das Gestrüpp so dicht, daß ich nie andere Pflanzen in seinem Schutz angetroffen habe. Im Winter wachsen dagegen an diesen Stellen *Cardamine hirsuta*, *Cerastium tetrandrum* usw. Ein solches Vorkommen fand ich z. B. schön ausgeprägt bei Noordwykerhout.

Kommt *Sambucus* an den gegen Nordosten oder Osten gekehrten Abhängen vor, so ist er ein breiter hoher Strauch mit weit abstehenden Ästen. In den Birkenbeständen der Dünenkessel erreicht er sogar dieselbe Höhe wie die Birken, hat einen schlanken Stamm und entbehrt der Bodensprosse.

An einem gegen Südwesten gerichteten Abhang auf „de Ebbinge“ bei Zandvoort fand ich einmal im gleichen Niveau abrasiert: *Quercus pedunculata*, *Ligustrum vulgare*, *Hippophae rhamnoides*, *Rosa Pimpinellifolia* und *Salix repens*, welche Pflanzen sonst im Windschutz zu verschiedenen Höhen emporwachsen. Eine alte Eiche war ganz flach ausgebreitet und sandte überall nur $\frac{1}{2}$ m lange Äste empor. Nur die kurzlebigen Blütenstengel von *Calamagrostis* überragten dieses Gemisch.

Wie der mit Sand beladene Wind die Pflanzen überschüttet und wie er sie ingräbt, ist von WARMING (1909), RAUNKIAER

(1904) und MASSART (1908) ausführlich beschrieben worden. Ich kann ihre Beobachtungen durchaus bestätigen. Wo diese Überschüttung für mich etwas Interessantes hatte, habe ich sie bereits im obigen erwähnt, um Wiederholungen möglichst zu vermeiden.

Welche anatomischen Merkmale die Pflanzen aufweisen, durch die sie in den Stand versetzt werden, dem Winde Widerstand zu leisten und inwieweit diese Merkmale variabel sind, ist eine Frage, welche ich später zu behandeln beabsichtige.

§ 5. Der Einfluß des Menschen.

Gar nicht selten kommt es vor, daß vorher gut bewachsene Dünen wieder beweglich werden und anfangen zu wandern. Es hat dann irgend eine Schädigung der Vegetationsdecke stattgefunden. Diese wird oft durch den Menschen verursacht, in vielen Fällen aber auch durch Kaninchen, welche an den Abhängen ihre zahlreichen Höhlungen ausgraben und endlich auch durch zu große Trockenheit.

Wie sehr die trockenen Perioden das Niveau des Grundwassers in den Dünen erniedrigen, geht aus den Untersuchungen von DUBOIS hervor. Offenbar muß eine solche Depression im Grundwasserspiegel ein Austrocknen der überliegenden Dünen verursachen.

Der Mensch beeinträchtigt die schützende Pflanzendecke teils durch das Abhauen des Holzes, namentlich in der Nähe der Dörfer, teils durch die Anlage von Kulturfeldern, indem nicht selten ein echter Raubbau vorkommt. Die Leute erhalten von den Besitzern der Dünengüter gegen eine sehr geringe Bezahlung Stücke der grauen Dünen für die Kartoffelkultur zur Benutzung. Jene Böden, welche in der grauen Pflanzendecke viel *Ononis repens* aufweisen, werden bevorzugt und liefern der Erfahrung nach den größten Ertrag. Es wird nicht gedüngt und nur einmal geerntet. Dann bleibt das Feld gewöhnlich liegen, oder es werden höchstens einige Strohwische in den Boden gesteckt.

Weiter wird der Wasserstand durch das Graben von Kanälen und namentlich durch die Sandgruben erniedrigt. Bei Haag und bei Vogelenzang, wo früher in den Dünentälern fruchtbare Wiesen lagen, sind diese durch die Abgrabungen derart drainiert, daß sie fast unbrauchbar geworden sind. Die Kanäle bei Rotterdam, Scheveningen, Katwyk und Ymuiden haben die ehemals von Hoek van Holland bis Groet einheitliche Dünenkette in fünf Inseln geteilt und einen bedeutenden Wasserabfluß veranlaßt. Wie stark das Trockenlegen der Polder die Dünen drainiert hat, habe ich oben schon angegeben.

Die Höhe des „grauen Klinkzand“ in den Sandgruben sowie die Lage der Ortsteinbänke sind zuverlässige Zeichen für den ehemaligen Stand des Grundwassers.

Wir haben gesehen, daß infolge der großen Reibung die Wasserbewegung im Sande nur eine träge ist, und daß dementsprechend eine Anhäufung in der Mitte der Dünen stattfindet, welche dort das Niveau des Grundwassers auf 4 m + AP hinauf bringt. Auch

haben DUBOIS (1910) und PARREAU (1911) bewiesen, daß der Einfluß der Kanäle sich nur in ihrer unmittelbaren Nähe geltend macht. Jeder Kanal zerstückelt den Wasserspeicherraum der Dünengegend und erniedrigt in seiner Nähe den Grundwasserstand. Wo der Einfluß dieser Kanäle schon lange angehalten hat, ist ein entsprechender Dauerzustand eingetreten.

In Fällen, wo der Wasserstand sich bedeutend erniedrigt hat, trotzdem keine Kanäle gegraben worden sind, wie bei Callantsoog, muß dieses klimatischen Einflüssen zugeschrieben werden. An anderen Stellen kann die sekulare Senkung (DUBOIS 1911) eine Erhöhung des Grundwasserspiegels hervorrufen.

Einen günstigen Einfluß hat der Mensch dadurch ausgeübt, daß er die alten und einen Teil der neuen Dünen bewaldet hat, und mehr und mehr wird in der letzten Zeit die Notwendigkeit einer solchen Neubewaldung anerkannt. Diese wird jedoch stellenweise noch viel zu wenig durchgeführt. Wie gut die Dünen, vor allem die alten, sich bewalden lassen, lehrt uns die Umgebung von Haag, Lisse, Haarlem und Bergen. In letzterer Zeit ist auch ein Teil der neuen Dünen bei Haarlem und Haag mit Koniferen bewaldet worden. Hierzu werden *Pinus silvestris*, *P. Laricio austriaca*, *P. laricio* und *P. montana* benutzt und daneben, aber nur da, wo der alte Dünenboden zu erreichen ist, sowie auf den freien alten Dünen, *P. maritima*. Für die Aufforstung kommen weiter in Betracht: Birken, die in kaninchenfreien Dünen sich selbst verbreiten, Eichen, Linden, Weiden und Erlen.

Die Verbreitung der wichtigsten Dünengräser wird auch vom Menschen stark gefördert. Die Bepflanzung der Windmulden und Wanderdünen und das Festlegen der Vordüne wird stets mit Hilfe von Gräsern bewerkstelligt.

§ 6. Der Regen.

(Fig. 4.)

Die Ziffern der Regenstationen, die ich dem „Meteorologisch Jaarboek“ verdanke, weisen deutlich aus, daß an der Küste weniger Regen fällt als sonst im Lande. Öfter habe ich während einer Fahrt von Zandvoort nach Amsterdam beobachtet, daß Regenwolken über die Dünenlandschaft hinzogen, um ihr Wasser erst in Haarlem fallen zu lassen. Die Ziffern aus der Fig. 4 auf S. 342 werden das näher erläutern. Das Jahresmittel für das ganze Land ist 704 mm, das Jahresmittel für die von mir gewählten Küstenstationen aber 600 mm. PENNINK (1904) fand beträchtliche Unterschiede in dem Regenfall auf den neuen Dünen bei der Sammelanlage und auf den alten Dünen bei der Pumpenzentrale Leiduin, welche Beobachtungsstellen \pm 4 km auseinander liegen. (S. Fig. 4.) Die Ziffern waren:

Neue Dünen:	Alte Dünen:
1901 503,69	653,59
1902 527,70	659
1903 482,39	643

Die Unterschiede dieser Zahlen, welche die Mittel aus zahlreichen Beobachtungen darstellen, sind für eine solche kurze Strecke sehr hoch.

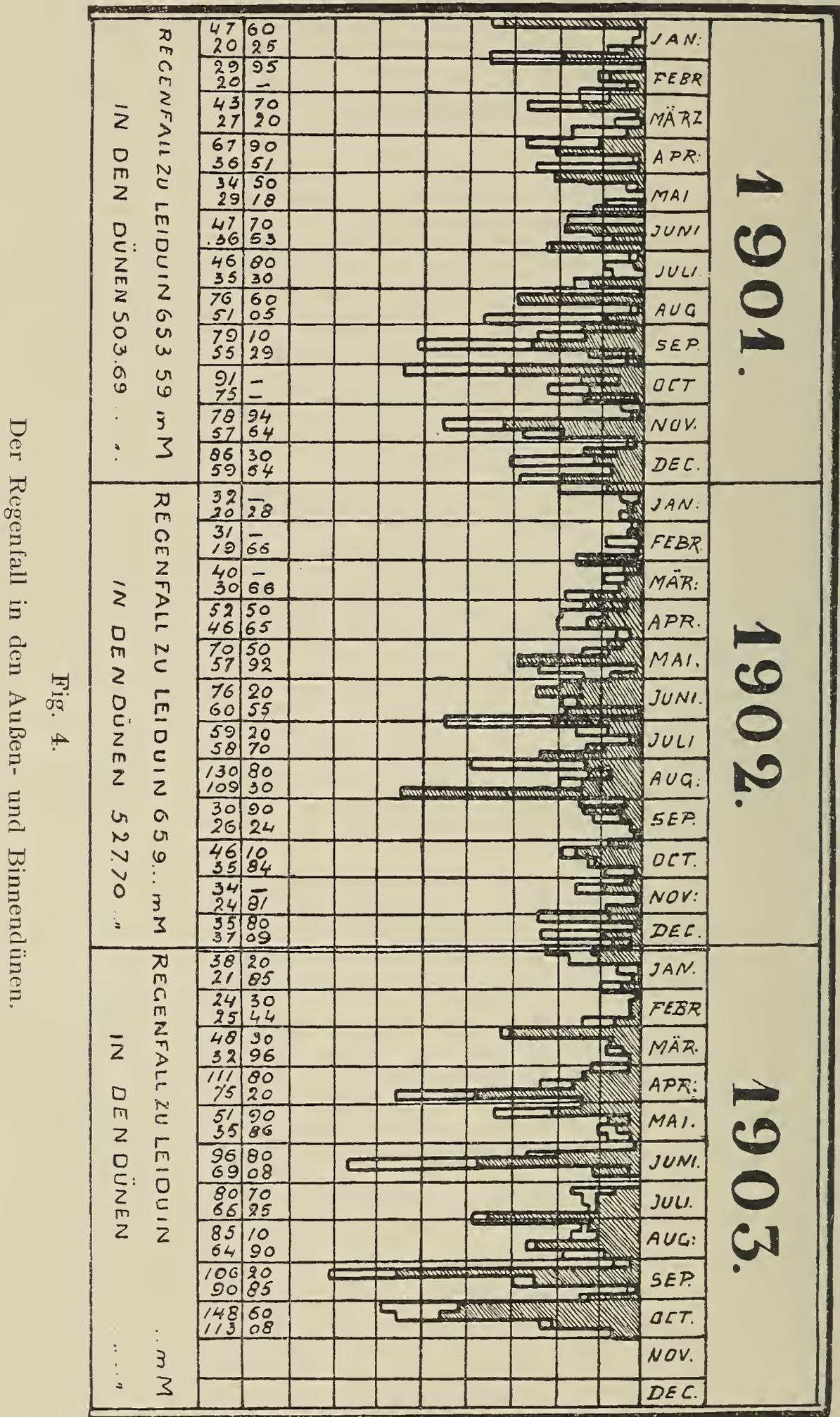


Fig. 4.

Der Regenfall in den Außen- und Binnendünen.

Leider befinden sich die beiden von mir gewählten Küstenstationen in sehr besonderer Lage. Vlissingen liegt ganz offen für die Südwestwinde und Helder wird an allen Seiten vom Meeres-

wasser umgeben, und dementsprechend weist diese nördliche Spitze von Nordholland im Sommer stets die niedrigsten, im Winter dagegen ziemlich hohe Temperaturen auf. Die niedrigen Sommertemperaturen bedingen, daß es in Helder auch bei Nordwestwind regnet, was sonst an der Küste nur bei kräftigen Winden der Fall ist. So sind die Ziffern ziemlich hoch, jedoch fast immer niedriger als die im Osten des Landes. DURIEUX (zitiert von MASSART 1908) führt diese Erscheinung auf die wenigen Gewitter zurück, die meistens starke Regengüsse hervorrufen. Die Armut an Gewittern an der Küste ersieht man auch darin, daß in der Dünengegend kein einziges Haus einen Blitzableiter trägt.

Ferner geht aus den Zahlen für die Niederschläge hervor, daß im Winter und im Sommer der meiste Regen fällt, im Frühling und Herbst dagegen weniger. Die ausgiebigen Winterregen kommen der hivernalen Flora bei ihrem Wachstum zugute, während jene des Herbstes ihre Keimung mit Hilfe der vielen hellen Tage fordern, welche die nötige Temperatur erzeugen. Der meist trockene Frühling ermöglicht es, daß die winterannuellen Pflanzen zur Blüte und Samenreife gelangen, während dieselben Faktoren das Austreiben und Keimen der übrigen Pflanzen begünstigen. Wie bekannt, sind die jungen Pflanzen im Monat Mai sehr großen Extremen der Temperatur ausgesetzt, indem die schönsten und wärmsten Tage nur zu oft von Frostnächten gefolgt werden. Die reichlich fallenden Sommerregen setzen die Temperatur herab, rufen in den Tälern eine sehr reiche Flora hervor und ermöglichen eine dichte Bewachsung der nicht exponierten Abhänge.

Nach den Untersuchungen von DE BRUYN (1903) kommt, selbst in den ungünstigsten Fällen, nur 50 % des Regenwassers dem Boden zugute. Dieses ist wohl eine Folge der spärlichen Bewachsung, durch welche das Wasser schnell in den Sand eindringen kann, indem nur wenig von der Pflanzendecke aufgenommen wird und dementsprechend nur wenig verdunstet. Schon im topographischen Abschnitt habe ich angegeben, daß alles Wasser der Dünen vom Regenwasser herrührt. Anfuhr durch Flüsse usw. gibt es nicht. Wir haben hier nur mit dem lokalen Regenfall und der Verdunstung zu tun¹⁾.

Nach Beobachtungen, die von 1740 bis 1885 auf dem Hause „Zwanenburg“ bei Halfweg gemacht wurden und jetzt im „Haarlemmer Meer“ weiter durchgeführt werden, übertrifft in den Monaten April bis August die Verdunstung den Regenfall (BEEKMAN). In den übrigen Monaten findet das Umgekehrte statt. Das größte Übermaß der Verdunstung fällt in den Mai, das des Niederschlags in den Oktober und November. Daß es für den Regenfall eine bestimmte Periodizität gibt, wurde für Niederland durch die Untersuchung von DUBOIS (1909) bewiesen. Diese Periodizität

¹⁾ Die Behauptung von R. VERBEEK (1905) und de Economist (Jan. en Febr. 1910), daß das tiefe Dünenwasser von dem übrigen Dünenwasser unabhängig ist und sich in unterirdischen Strömen von Ost nach West bewegt, hat sich als unrichtig erwiesen.

stimmt mit den 35 jährigen Perioden von BRUECKNER überein. Beweise für seine Theorie fand DUBOIS aus verschiedenen Daten in der Literatur und in der Dicke der Jahresringe der Bäume in den Dünen. Diese Theorie gab zu gleicher Zeit eine Erklärung der periodischen Erniedrigung des Wassers in den Dünentälern, welche nach ihr nur auf klimatische Bedingungen zurückzuführen ist.

Daß der Grundwasserstand in den Dünen für Änderungen in der Menge des Niederschlags so empfindlich ist, erklärt sich in erster Linie dadurch, daß bei gleicher Wasserzufuhr das Niveau in offenen Kanälen sich nur um $\frac{1}{3}$ der Höhenzunahme im Sande erhöht, weil die Kapazität des Dünensandes nur 35 % seines Volums beträgt (VUYCK 1898).

Nach diesen Untersuchungen sollen wir uns jetzt in der Mitte einer feuchten Periode befinden, obgleich das vorige Jahr fast überall besonders trocken gewesen ist. Denn an vielen Stellen war der Wasserstand mehr als 2 m unter die normale Oberfläche gesunken.

Wie schon erwähnt, kommt Schnee sehr selten vor und kann daher außer Betracht bleiben. Dasselbe gilt vom Hagel, der fast nur bei Gewittern fällt, welche, wie wir sahen, nur ausnahmsweise in der Dünengegend auftreten. Von größerem Interesse ist der Tau. Im Spätsommer und Herbst gibt es stets eine Periode, in der viel Tau auftritt, indem es abends in den Tälern kalt, auf den Gipfeln aber warm ist.

Am 10. September 1911 habe ich Beobachtungen über die Frage angestellt, ob der Tau überall gleich stark ist und habe lufttrockene Stücke Fließpapier von 0,28 cm² gewogen und an verschiedenen Stellen deponiert. Der Wind war sehr mäßig, Ost. An den vier vorhergehenden Tagen war auch schwerer Tau gefallen und hatte ich am frühen Morgen stellenweise Unterschiede zu sehen geglaubt. Ich habe auf dem nach Süden gekehrten Balkon des Hauses „de Ebbinge“¹⁾ bei Zandvoort in 4 m Entfernung von dem Boden ein Papier deponiert und weitere vier Stücke wie hier folgt:

1. auf dem Gipfel eines freistehenden Hügels;
2. auf dem Boden des hinterliegenden Kessels im Windschutz;
3. auf dem Boden in einer in der Windrichtung liegenden Windstraße;
4. hinter einem 6 m hohen Wall mit *Populus monilifera*, welche bis unten dicht belaubt waren, während vor ihnen ein dichtes Gestrüpp *Salix repens* stand.

Der Tau war außerordentlich dicht und schwer. Als ich dann am Morgen früh vor Sonnenaufgang die Papiere einsammelte und sofort wog, fand ich folgende Zahlen für das aufgenommene Wasser:

¹⁾ Das Haus steht auf einem Hügel.

	pro m ²	Dicke der Wasserschicht
Auf dem Gipfel	39 g = 136,5 g	0,0136 mm
Im hinterliegenden Tal	19 ¹ / ₂ „ = 68,15 „	0,0068 „
In der Windstraße	37 „ = 129,5 „	0,0129 „
Hinter den Pappeln	3 ¹ / ₂ „ = 12,25 „	0,00122 „
Auf dem Balkon	6 ¹ / ₂ „ = 22,75 „	0,00227 „

Der Gipfel und die Windstraße zeigen die höchsten Zahlen, während sie an den Stellen im Windschatten die niedrigsten waren. Rechnen wir die Ziffern auf die Dicke der Wasserschicht pro cm² um, so sind die Mengen äußerst geringe. Dieser Versuch ist natürlich nur ein sehr roher, aber er zeigt deutlich, wie groß der Einfluß des Windes bei der Tauverbreitung sein kann.

Eine bewachsene Ebene bietet natürlich eine viel größere Oberfläche auf demselben Raum und damit mehr Veranlassung zur Kondensation dar. Wo jedoch, wie in vielen flachen Dünen, nur ein Teppich von *Ceratodon purpureus* vorkommt, die fast ganz in dem Sande vergraben sind und gleichfalls dort, wo der Boden frei ist, können wir die erhaltenen Ziffern benutzen. So können wir uns einigermaßen die Verbreitung der wintergrünen annuellen Pflanzen erklären. Wenn diese nach dem ersten Herbstregen gekeimt haben, tritt öfter wieder eine trockene Zeit mit vielem Sonnenschein ein. Sind sie nun an solchen Stellen gekeimt, an denen es vom frühen Morgen bis zum Abend Sonnenschein gibt, so sind sie bald vertrocknet, während die Keimlinge an jenen Stellen, wo die Sonne erst viel später zu scheinen anfängt, am Leben bleiben. Solche Stellen sind z. B. die gegen Norden oder Nordwesten und Westen gekehrten Ränder der Wege, offene Stellen im Schlagholz, Südwest- und West- und Nordwestabhänge. Dieses erklärt, nebst den schon besprochenen Ursachen, den Unterschied der Abhänge in ihrer Vegetation.

Die Fruchtbarkeit des Bodens wird durch den Stickstoff erhöht, welcher von den Stickstoffbakterien festgelegt wird; diese Menge ist nicht zu unterschätzen. Alle Leguminosen der Dünengegend tragen die bekannten Knöllchen und auch *Hippophae* und *Alnus* sichern sich, wie bekannt, auf diese Weise eine genügende Menge dieses wichtigen Stoffes. Ferner wird bei Verwesung der pflanzlichen und tierischen Reste ebenfalls eine gewisse Menge Ammoniak gebildet, und auch die atmosphärischen Niederschläge vermehren den Gehalt an NH₃, Nitriten und Nitraten.

In Rothamstedt in England hat man seit mehr als 20 Jahren diesen Gehalt der Niederschläge bestimmt und hat als mittlere Zahl pro HA und pro Jahr bei einem mittleren Niederschlag von 713 mm pro Jahr gefunden: 3,105 kg Ammoniak und 1,379 kg Nitrate und Nitrite, also zusammen 4,84 kg pro Jahr. Das Verhalten ist fast immer dasselbe: 70 % Ammoniak und 30 % Nitrate und Nitrite (MILLER 1905).

Natürlich wird man am Meeresstrande weniger finden als mitten im Land und bei großen Städten viel mehr als auf dem Lande. In Rußland wurde bei Ploty 4,06 kg beobachtet, in Kansas (U. S. A.) 4,08 kg und in Schweden bei Flahult auf 826,8 mm Regen im Jahre 1909 eine Menge von 5,18 kg pro HA (FUEHLING: Landw. Zeitung 1910). Hier war somit der Niederschlag erheblich größer und in Übereinstimmung damit auch die Menge des gebundenen Stickstoffs.

Wie wir sahen, regnet es an der Küste weniger und gibt es fast nie ein Gewitter. Beide Tatsachen werden den üblichen Gehalt verringern. Jedoch können wir wohl annehmen, daß der für Rothamstedt festgestellte Gehalt von 4,8 kg pro Jahr und pro HA ungefähr auch für die Dünengegend gilt.

Die Regengüsse führen häufig den Humus von den Abhängen nach den Kesseln hinunter, wo er dann am Dünenfuß ausgebreitet wird. Diese Verbreitung von Material kann in sehr großem Maßstabe vor sich gehen; ich habe sie jedoch nirgends erwähnt gefunden. Das schönste Beispiel sah ich in den Berger Dünen am 11. August 1911. Nach längerer trockener Zeit war dort auf der pulvertrockenen Oberfläche einige Male viel Regen gefallen. Dieser hatte von den mit Heide bewachsenen Dünen viel Humus nach unten befördert und damit auch die vertrockneten Blüten der *Calluna*. Überall in den Tälern lag wie ein Strom oder ein Band von Humus, bedeckt von den welken Heideblüten. Wie oben schon erwähnt wurde, findet bisweilen auch ein Transport des Humus in senkrechter Richtung statt (v. D. HULL 1838), und es ist unnötig, zu betonen, daß ein solcher horizontaler Transport des Materials jenen in der vertikalen Richtung erheblich fördern muß. An den exponierten Abhängen, wo der Boden ohne Humusdecke war, wurde sehr viel Sand mitgeführt. Die spärlichen *Viola lancifolia* und *Corynephorus* vermochten die Kraft des Regens nicht zu brechen und ungehindert konnte er den Sand angreifen. Demzufolge waren tiefe Regenrinnen ausgespült worden und unten in den Kesseln hatte sich eine dicke Sandschicht gebildet, schwarz umrandet durch den ausgeschiedenen Humus, obgleich dieser nur in winziger Menge vorhanden war. Am Abhang waren überall unterspülte Pflanzen von *Corynephorus*, *Viola* und *Jasione* zu sehen, welche wie auf Stelzen standen. Andere wieder hatten als Hindernis fungiert und unter ihnen lag ein Sandstreifen, welcher deutlich die Dicke der weggespülten Schicht angab. So häuft sich bei jedem Regenschauer, aber auch bei mildem Regen eine Menge Material an dem Dünenfuß an. Diese Menge ist von der Kraft und der Dauer des Niederschlages, von der Bewachsung des Abhanges und von dem Grade der Bodenfeuchtigkeit abhängig. Sie muß an den exponierten Abhängen stets am größten, an den bewachsenen nicht exponierten dagegen am kleinsten sein.

Die exponierten Abhänge müssen bei jedem Niederschlag an Material verlieren. Dadurch findet eine allmähliche Erniedrigung der Düne und eine Erhöhung des Talbodens statt. Wie groß diese

Mengen sein können, lehren die folgenden Beispiele. Nach einem heftigen, während ungefähr $4\frac{3}{4}$ Stunden fallenden Regen war von einem $2\frac{1}{2}$ m hohen und 10 m breiten Abhang etwa $0,125\text{ m}^3$ abgetragen. Nach einem starken, 1 Stunde andauernden Schauer war in einem 20 m hohen Abhang eine tiefe Rinne von 0,50 m Breite ausgespült worden und der dabei versetzte Sand bildete einen breiten Schuttkegel von etwa $\frac{3}{4}\text{ m}^3$ Inhalt.

Sehr sanfter Regen, Staubregen z. B., vermag eine Durchnässung des Dünensandes einzuleiten. Die obere Schicht muß bereits ein wenig feucht sein, sonst hilft aller Regen nichts für die Abhänge und kommt nur den Tälern zugute. Fängt der Regen aber langsam an, so wird die obere Schicht durchfeuchtet; während der mehrere Tage anhaltenden Septemberregen kommt es vielfach vor, daß die oberflächliche Schicht durchnäßt wird und eine oberflächliche Strömung anfängt.

Eine schmelzende Schneedecke ist aber das beste Mittel für die Durchnässung des Dünensandes.

Einen merkwürdigen Transport beobachtete ich am 1. Oktober 1911. Am 30. September 1911 hatte ein furchtbarer Nordweststurm getobt, der in Utrecht eine Schnelligkeit von 30 m pro Sekunde erreichte. Er war von starkem Regen begleitet und dieser dauerte während des ganzen Abends und eines Teiles der folgenden Nacht. Am nächsten Morgen wechselten Regen und Sonne miteinander ab. Um $1\frac{1}{2}$ Uhr nachmittags begab ich mich nach der Sandgrube der Elektrischen Bahn nach Zandvoort und war erstaunt, dort den Flugsand in lebhafter Bewegung zu sehen. Der Wind wurde stärker und es fielen große Regentropfen. Diese wurden direkt von Sand umhüllt, eigentlich mit Sand imprägniert. Es wurden Kügelchen gebildet, welche vom Winde gefaßt und fortgetrieben wurden, bis sie im Windschatten der Gleise und in unsern Fußtritten liegen blieben. In der Richtung, in welcher diese Kügelchen flogen, waren Sanddorn und Halme während der Nacht ganz vom feuchten Sand eingehüllt worden. Zwar waren die Umhüllungen der Sanddorne, ihrer Höhe wegen, und weil die Sträucher vom Winde geschüttelt wurden, schon teilweise wieder zerstört worden; die Halmpflanzen dagegen waren unter der Last niedergebogen worden. Es war eine sehr dicke Sandschicht auf die Vegetation geblasen worden, während es sehr stark regnete.

Im Monat Juli 1910 fiel plötzlich nach einer langen trockenen Periode ein, eine Stunde anhaltender furchtbarer Schauer. Das Wasser fiel so schnell, daß die Luft im Sand des Talbodens keine Zeit hatte, zu entweichen. Durch diese Luftschicht wurde dem Wasser der Eintritt in den Boden verhindert und bald standen alle Flächen und Kessel unter Wasser, selbst die hochgelegenen, nur mit Flechten, *Corynephorus canescens* und *Koehleria cristata* bewachsenen. Es strömte von den Abhängen und die trockenen Flechtenkrusten schwammen auf dem Wasser. Wo sich in diesen unter Wasser stehenden Tälern Sträucher befanden, wurden beim Wegsickern des Wassers die Flechten darin hinterlassen.

So konnte ich in vielen Fällen sehen, wie hoch das Wasser gestanden hatte und fand dafür auf einer ziemlich flachen grauen Düne 10 cm. Es bot einen merkwürdigen Anblick, die Dünenhügel zeitweise durch Wasserflächen voneinander getrennt zu sehen, aber noch merkwürdiger war es, dieses Wasser innerhalb weniger Minuten verschwinden zu sehen. Es müssen stellenweise Verbindungen zwischen dem überstehenden Wasser und der tiefliegenden feuchten Bodenschicht entstanden sein. Als ich nachher die obere Schicht auf ihre Feuchtigkeit untersuchte, konnte ich nur hier und da durchnäßte Stellen finden. Der größte Teil der Schicht war aber staubtrocken geblieben.

Wie diese Regengüsse die Samenverbreitung beeinflussen, werde ich an anderer Stelle beschreiben.

Daß nicht immer solche kräftige Agentien nötig sind, um den Sand in Bewegung zu bringen, sah ich öfter an gefrorenen exponierten Abhängen. Wenn diese auftauen, findet eine unaufhörliche Änderung der Oberfläche statt, vor allem, wenn der Abhang etwas steil ist. Werden die Teilchen naß, so wird ihre gegenseitige Reibung geringer und ihre Lage labiler und fortwährend sieht man Körnchen hinabrollen. Auch dieser unscheinbare Transport kann auf die Dauer wichtig werden.

§ 7. Das Grundwasser der Dünen.

(Fig. 5.)

Das Regenwasser sickert durch den Boden bis auf das Grundwasserniveau. Die Bodenmasse über diesem dient als Wasserspeicher und erreicht als solcher in den Dünen eine erhebliche Ausdehnung. Bei weiterer Zufuhr muß das Wasser aber abfließen. Es ist das Verdienst von BADON-GHYBEN (1889), PENNINK (1904), DE BRUYN (1904) und DUBOIS (1910), die hydrologischen Verhältnisse der holländischen Dünen in vieler Hinsicht klargelegt zu haben. Schon lange weiß man, daß das Polderwasser brackisch, selbst salzig ist, daß dagegen in den Dünen Süßwasser vorhanden ist. Wie diese merkwürdige Erscheinung zustande kommt, blieb unerklärt, bis die Wasserversorgungen der großen Städte genaue Untersuchungen notwendig machten.

Die besten Arbeiten haben die Wasserleitungen von Amsterdam und von Haarlem veranlaßt (PENNINK und DUBOIS). Durch systematisch ausgeführte Bohrungen hat sich gezeigt, daß Süßwasser in unseren Dünen bis \pm 130 m tief vorkommt und sich unter Zurückdrängung des Meerwassers im Diluvialsand angehäuft hat. Sobald diese Tiefe in den Bohrungen überschritten wird, findet man aber Salzwasser.

Warum dem so ist, hat zuerst BADON-GHYBEN (1889) theoretisch erläutert. Das Vorkommen des Süßwassers beruht auf dem hydrostatischen Gleichgewichtszustand von zwei sich nicht miteinander mischenden, in ihrem spezifischen Gewicht verschiedenen Flüssigkeiten in kommunizierenden Gefäßen (vgl. Fig. 5).

Ein derartiger Gleichgewichtszustand wird eintreten zwischen dem Meerwasser, das sich beim Sinken des Bodens und bei dem Aufbau des Strandwalles mit dem Sande gemischt hat und dem Regenwasser, das sich in den später auf dem Wall gebildeten Dünen aufspeicherte. Das Süßwasser ist leichter und schwimmt auf dem Meerwasser. Je mehr Wasser die Düne speichert, um so mehr wird die Berührungsfläche der beiden Flüssigkeiten hinabgedrückt werden. Man hat berechnet, daß das Süßwasser 42 Male tiefer unter das Meeresniveau absteigen muß, als es sich darüber erhebt. Dieses Ergebnis ist von HERZBERG (1901) auf Sylt in den Bohrungen bestätigt worden.

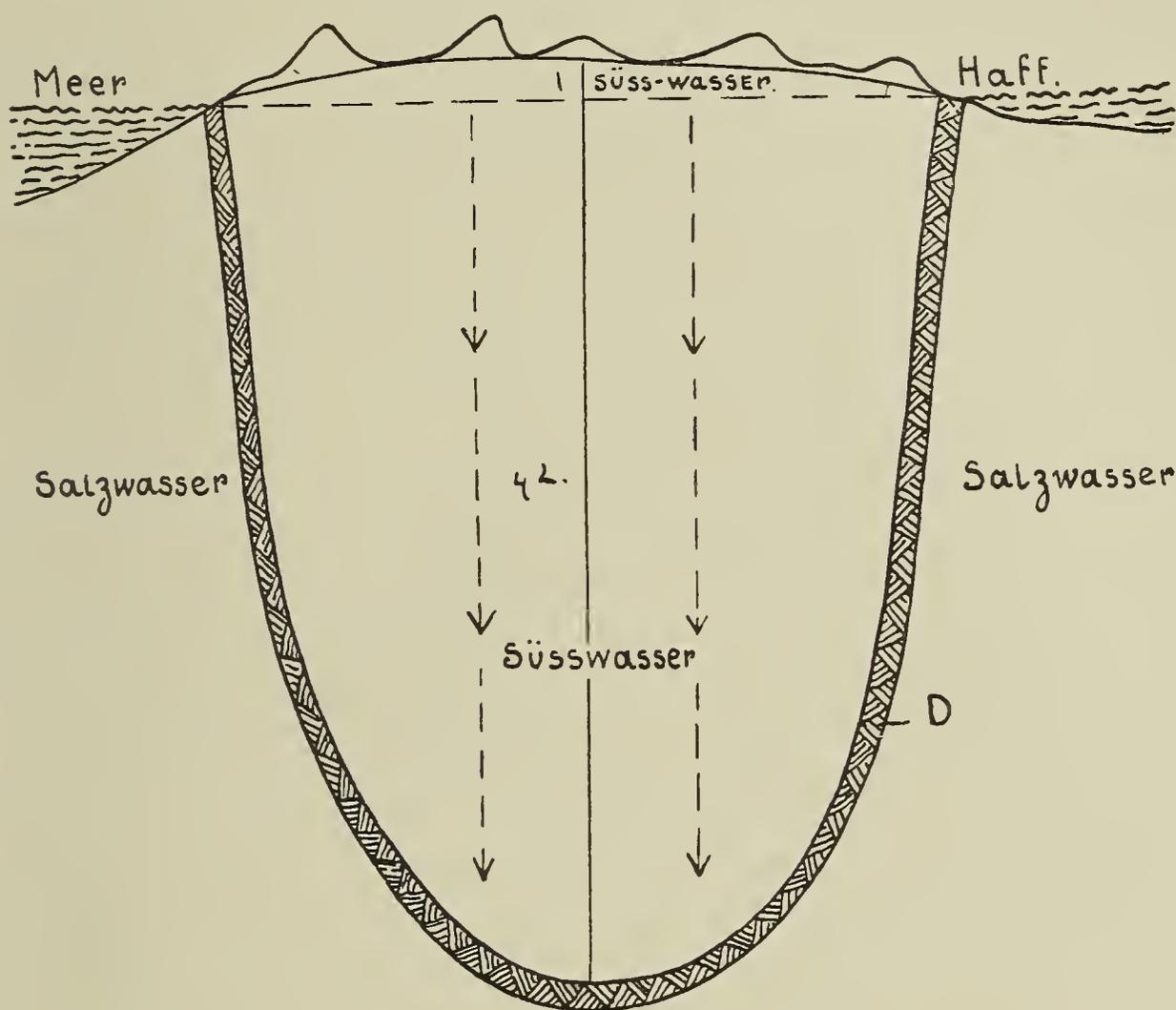


Fig. 5.

Schema zur Erläuterung des Prinzipes von Badon-Ghyben.

D. = Diffusionszone.

Diese mächtige Schicht süßen Wassers hat sich während der Bildung des Strandwalles angehäuft. Früher stand an der Innenseite der Nehrung das Wasser des Haffes in Meereshöhe und war das Dünenwasser somit nach allen Seiten durch Salzwasser umgeben, das überall den gleichen Druck ausübte.

Die Bewegung des Süßwassers ist hauptsächlich eine senkrechte; ein Abfließen nach der Seite findet kaum statt. Die betreffende Zone ist nur sehr schmal, weil der seitliche Abfluß durch den nur wenig Bewegung zulassenden Sand erheblich gehemmt wird.

Dieser theoretisch gedachte Zustand wird in Wirklichkeit jedoch von allerlei Faktoren beeinflusst. Nachdem die Polder

hinter den Dünen trocken gelegt waren, änderten sich diese Verhältnisse. Der Druck, welchen das Brackwasser dort ausgeübt hatte, verminderte sich. Eine unmittelbare Folge war ein Abfließen des Wassers nach dieser Seite. Es fließt (DUBOIS 1903, DE BRUYN 1904, PENNINK 1904) nur wenig durch die oberen alluvialen Schichten ab; das meiste geht durch die diluvialen Schichten. Ehe die Dünen so stark entwässert wurden, konnte sich selbstverständlich mehr Wasser aufspeichern und vielleicht auch höher ansammeln, wodurch ein Abfließen nach der Seite besser möglich wurde.

Hierfür sprechen sowohl die jetzt ausgetrockneten Wasserläufe, wie die bei Haarlem, Bloemendaal, Zandvoort, Haag usw., als auch das Fehlen von Bächlein am Strande, wie sie KOPS (1798) angab und wie ein solches nach mündlicher Mitteilung von Herrn Professor HUGO DE VRIES noch vor etwa 30 Jahren bei Ymuiden vorhanden war, dort, wo jetzt der große Kanal gegraben worden ist. Nach DUBOIS (1909) findet in den untiefen Poldern eine abwärts gerichtete, in den tiefen Poldern eine aufwärts gerichtete Bewegung statt. Nicht nur Süßwasser, sondern auch Salzwasser steigt da auf, aber diese seitlich gerichtete Bewegung ist nur sehr klein, 10 m pro Jahr (DE BRUYN 1904).

Die in den verschiedenen geologischen Zeitabschnitten abgesetzten Lehmبانke oder Lehm haltenden Sande üben wie die überall verbreiteten Torflinsen (s. Tafel XIV, Fig. 2) durch ihre geringe Durchlässigkeit einen Einfluß auf die Wasserbewegung aus. Dadurch wird die Anwendung des BADON-GHYBENSchen Prinzipes getrübt, doch bleibt es der Hauptsache nach jedoch richtig. Nach STARING (1856) ist bei der Trockenlegung der „Haarlemer See“ ein Weiher in den alten Dünen bei Heemstede ganz trocken gelegt worden, indem das Grundwasserniveau dieser Dünen bedeutend erniedrigt wurde. Dieselbe Erscheinung wird auch mehrfach durch die Sandgruben herbeigeführt, und gleichfalls muß die künstliche Wasserentnahme für die Städte das Gleichgewicht stören. Auch findet ein Abfließen nach der Meeresseite statt; jedoch nur bei niedriger Ebbe oder unter besonderen Bedingungen.

Nach WINTGENS (1911) verhalten sich die Quantitäten, welche dem Meere und dem Polder zufließen, wie $1:4\frac{2}{3}$. Aus den Ziffern im Profil, Taf. XIV, Fig. 2 (PENNINK 1904) ist zu sehen, daß der Chlorgehalt mit der Tiefe zunimmt, und daß die Lehmبانke darauf einen Einfluß ausüben. Diese بانke waren mit Salz gesättigt und die Wasserbewegung in ihnen ist nur 8,8 m pro 100 Jahre¹⁾, und vielleicht rührt es daher, daß sie ihren Salzgehalt so lange behalten. Das Wasser kann anderen Bahnen folgen, auf denen es sich leichter bewegt.

In demselben Profil von PENNINK sehen wir dicke Torflinsen, welche teilweise unter der alten, teilweise unter der neuen Dünenlandschaft liegen. Sie gehören den alten Dünen an, die nach Westen überschüttet worden sind. Ihr Oberflächenwasser

¹⁾ Watervoorziening van Amsterdam 1905. Bylage 12.

schwankt im Chlorgehalt zwischen 100 und 200 mg pro Liter, während das Sickerwasser der neuen Dünen zwischen 25 und 34 mg schwankt. Im Sommer ist das oberflächliche Wasser ziemlich stark Cl-haltig mit 20—40 mg pro Liter. Dieses ist die doppelte Menge des Gehalts des Regenwassers. Das Salz wurde durch die Nord-, Nordwest- und West-Winter- und Frühlingsstürme in die Atmosphäre gebracht, mit dem Niederschlag abgelagert und sammelte sich allmählich an, um sich im Sommer in dem Grundwasser kenntlich zu machen (PENNINK 1904).

Es ist schon einige Male erwähnt worden, wie groß der Einfluß dieser Torfbänke auf das Grundwasser ist. Ebenfalls beeinflussen Schwankungen des Luftdrucks und die Gezeiten den Stand des Süßwassers (PENNINK 1904), aber die frühere Meinung, daß die Grundwassermenge auch noch durch Kondensation des Wasserdampfes im Boden bereichert werden könne (VOLGER 1877), wurde von HANN (1880) widerlegt. Aus mehreren Messungen geht hervor, daß der Wasserstand am Strande bei Vogelenzang etwa 1 m, in den Mitteldünen aber etwa 4 m + AP ist (PENNINK 1904), und daß mit diesem Stand auch das Niveau der Flächen schwankt. Dasselbe finden wir in Dänemark und Gascogne (BRAUN 1911). DUBOIS (1909) hat bewiesen, daß die Höhe des Grundwasserniveaus nicht den Unebenheiten des Bodens folgt. Denn es zeigte sich bei einer Bohrung in einer etwa 30 m hohen Düne bei Brederode, daß das Grundwasserniveau in derselben Höhe lag wie im Tal. Nur die weniger porösen Schichten des Untergrundes bringen Abweichungen in dem Grundwasserstand und dadurch in der Höhenlage der verschiedenen Teile der Landschaft hervor.

Über den eventuellen Gehalt des Wassers an Nährstoffen habe ich in dem Abschnitt über „Kalkgehalt“ schon Näheres angegeben. Bei KOPS (1798) und GEVERS (1823) finden wir viele Angaben über den Wassergehalt der Dünentäler und über Bächlein, welche früher aus diesen dem Meere zuströmten, wie bei Wyk aan Zee und Ymuiden. Jetzt finden wir solche noch an vielen Stellen nach der Landseite hin, wo sie „Rel“, d. h. Bach oder Wasserlauf heißen. Viele Ebenen hatten keinen Abfluß und waren feucht, naß oder moorig, und blieben im Frühling sehr lange kalt. Jetzt werden fast alle diese Ebenen kultiviert, nachdem sie vorher drainiert worden sind.

Nach KOPS (1798) ist der Wassergehalt der Täler abhängig von der Höhe der angrenzenden Dünen. STARING (1856) sagt: „Es hat sich unter den alten Tälern eine harte Ortsteinschicht ausgebildet, welche das Durchsickern des Wassers zurückhält.“ Eine solche Schicht ist aber nach der jetzigen Ansicht nicht nötig, denn die Lage des Grundwasserniveaus gestattet, daß in feuchten Zeiten, z. B. in einem regenreichen Winter bei geringer Verdunstung, das Tal unter Wasser steht. Tatsächlich kommt diese Ortsteinschicht auch nur in den alten Dünen vor.

Wie groß der Einfluß dieses stehenden Wassers auf die Blütezeit ist, geht aus folgendem Beispiel hervor. In Dünentälern, welche im Winter unter Wasser stehen, blühen die Sträucher,

wie *Hippophae rhamnoides*, viel später als in den Tälern, welche im Winter trocken bleiben. *Hippophae* ist eine oberflächlich wurzelnde Pflanze und kann darum als ein gutes Kennzeichen dienen. Bis spät in den Frühling hinein übt das kalte Wasser diesen Einfluß aus und so fand ich bisweilen Unterschiede in der Blütezeit von mehr als einem Monat, indem die auf den exponierten Abhängen wachsenden *Hippophae* stets zuerst blühten. Dasselbe ist in den alten Dünen öfter in den Beständen von *Myrica gale* zu beobachten.

Die Kanäle für die städtischen Wasserleitungen werden meistens als sehr schädlich für die Flora betrachtet. PARREAU (1911) schließt jedoch aus seinen Beobachtungen bei Haag, daß die Wasserentziehung den Grundwasserstand nicht niedriger macht. Die Erniedrigung des Niveaus muß den Niederschlagsdefekten zugeschrieben werden, denn nur in ihrer unmittelbaren Nähe üben die Kanäle nach ihm einen Einfluß aus.

DUBOIS (1909) hat den Einfluß der Wasserleitungskanäle der Prise d'eau bei Haarlem untersucht. Er kommt zu dem Schluß, daß die Kanäle eine beträchtliche Erniedrigung des Grundwasserspiegels hervorgerufen haben, und zwar von etwa 1,50 m über eine Strecke von 1500 m Breite innerhalb 11 Jahren. Nach einem Urteil der Heidemaatschappy (1909) war der Einfluß der Wasserentziehung am stärksten in den Kesseln zu sehen, in dem die Kulturfelder sich allmählich einschränkten und die Wiesen bis auf 800 m Entfernung von der Sammelanlage jetzt wertlos sind.

Infolge der Austrocknung kann man nicht mehr so viele verschiedenartige Holzarten pflanzen und die Bestände werden dadurch jährlich schlechter. Wasserbedürftige Arten können dort nicht mehr wachsen und eine neue Ausbreitung der Bestände kann nur mit Coniferen geschehen. VUYCK (1898), dem wir vieles auf dem Gebiete der Hydrologie verdanken, findet den Einfluß der Kanäle auch in der Erniedrigung des Wasserniveaus und im darauffolgenden Verschwinden der Helophyten aus der Flora. Meines Erachtens wird die Flora jedoch am stärksten durch das Trockenlegen der Polder an der Ostseite und durch die tief unter dem Wasserniveau der Dünen gegrabenen Kanäle der Sandgruben beeinträchtigt, wie auch durch den Nordseekanal und den Ouden Ryn.

§ 8. Einfluß des Wassers auf die Wurzelbildung und auf die Tiefenlage der Rhizome.

Die obere Schicht des Flugsandes ist meistens sehr trocken. Im Herbst aber wird auch sie durchnäßt und es keimen dann in ihr die Repräsentanten der wintergrünen Flora und einige zweijährige Pflanzen, wie *Erodium cicutarium*. Meistens wird dann aber das Substrat mit den Samen von Wind und Wasser fortgetrieben. Für viele Samen ist der sie überschüttende Sand ein Hindernis, denn sie keimen nicht, wenn sie zu tief unter der Oberfläche liegen. Der Rücken der Vordüne, wo stets frischer Sand

anweht, ist beständig locker und beweglich. Die Samen können hier an der Oberfläche, der Trockenheit wegen, nicht keimen. Werden sie jedoch überschüttet, so wird der Sand feucht. An solchen Stellen fand ich junge Keimpflanzen von *Psamma arenaria*, welche sehr tief überschüttet waren und sich stark verlängert hatten. Am deutlichsten trat dies aber im Jahre 1910 bei Bergen hervor an Keimlingen von *Eryngium maritimum*, welche ihre zwei ersten Blätter trugen, etwa 4 Wochen alt waren und etwa 20 cm unter der Oberfläche gekeimt hatten. Das Hypocotyl hatte sich bis an die letztere verlängert, die Keimwurzeln waren mehr als 60 cm, einige sogar bis 1 m lang und schon stark in die Dicke gewachsen. Sie hatten sich aber nicht verzweigt. Ähnliches kommt bei der Keimung der Samen von Wüstenpflanzen vor (LINGSTON 1906). Über dem Sand erhoben sich nur die zwei winzigen Cotyledonen und die zwei ersten Blättchen. Die Überschüttung fuhr fort und die Cotyledonen kamen unter den Sand, während die Stiele der Blätter sich durch interkalares Wachstum stark verlängerten. Ich fand auch mehrere Exemplare, für die der Sandanflug zu schnell vor sich gegangen war, und welche dementsprechend ganz überschüttet worden waren. Ihre Blätter waren etioliert, aber ihre Endknospen noch völlig lebensfähig. Einige waren auch in der gewöhnlichen Weise gekeimt, und bei diesen hatten weder das Hypocotyl noch die Blattstiele sich verlängert und war die ganze Pflanze normal, wenn auch mit sehr langen Wurzeln.

Die meisten Pflanzen der Dünen bilden eine lange Hauptwurzel. Ist die obere Schicht im nächsten Sommer und Herbst gut durchnäßt, so treiben viele unter ihnen ihre Seitenwurzeln bis zu großen Distanzen. So habe ich einmal 1910 bei einigen *Oenotheren* die Länge der oberen, horizontalen Seitenwurzeln gemessen und fand solche von $3\frac{1}{2}$ m Länge. Die Pflanzen hatten jede bis 3—6 solcher Wurzeln, und diese trugen feine Seitenwurzeln zweiter und dritter Ordnung, mittels deren sie eine Oberfläche von 7 m und mehr im Durchschnitt ausnützen konnten. Die Bildung dergleicher Seitenwurzeln, unmittelbar nach schweren Regen, beobachtete ich auch bei *Reseda lutea*, *Daucus Carota*, *Cynoglossum officinale*, *Lychnis vespertina*, *Anthyllis vulneraria* und einigen anderen. In bezug auf Länge, Verästelung und oberflächlichen Lauf waren sie am schönsten in der *Oenothera Lamarckiana* ausgeprägt. Ein solches Wachstum ist nur bei weitem Stande und in lockerer Erde möglich.

Nach mehrtägigem Regenfall, welchem eine trockene Zeit folgte, habe ich die Dünenpflanzen mehrfach in bezug auf diese Erscheinung untersucht. Kein einziges Mal wurde ich getäuscht. Immer hatten sowohl Kräuter als holzige Pflanzen in den oberflächlichen Schichten neue Seitenwürzelchen getrieben.

Die Seitenwurzeln werden bei einigen Pflanzen schon sehr früh angelegt, wie z. B. bei *Daucus Carota*, *Anthriscus silvestris* und *Lychnis vespertina*. Hier findet man breit ausgezogene Wucherungen von Rindengewebe, aus deren Mitte später die Seitenwurzel

hervortritt. Bei *Lychnis* bleiben viele dieser Würzelchen unentwickelt (s. Taf. XVI, Fig. 2) und sind dann nur als dünne Fädchen von einigen Millimetern Länge sichtbar. Nur sehr wenige wachsen zu normalen Seitenwurzeln aus. Zwischen diesen beiden Kategorien sind Übergänge meistens nicht vorhanden. Bei *Daucus Carota* verhält sich die Sache aber anders. Hier sind auch die querlaufenden Wucherungen anwesend, aber jede von ihnen trägt mehrere kollateral oder serial gestellte Würzelchen. Bei *Echium vulgare* fand ich in der oberen Strecke fast nie Seitenwurzeln. Die Hauptwurzel geht senkrecht hinab und verzweigt sich auch in jener Tiefe, in der Wasser und Nahrung in genügender Menge vorhanden sind, nur spärlich. Diese Tiefe beträgt an mehreren Stellen mehr als 1 m. In den Kulturfeldern, deren Boden alljährlich gleich tief bearbeitet wird, bildet sich in dieser Tiefe nach einigen Jahren eine feste, weniger durchlässige Schicht infolge der Auslaugung der oberen Schicht und durch das Festtreten bei der Bearbeitung. Die Pflanzen, welche auf solchen Feldern wachsen und eine tiefgehende Pfahlwurzel haben, verzweigen sich erst dort. Dieses habe ich wiederholt bestätigen können. So fand ich auf einem verlassenen, aber vorher sehr lange (schon 40 Jahre) bebauten Acker folgende Pflanzen mit genau derselben Länge der unverästelten Pfahlwurzelstrecke: *Reseda lutea*, *R. Luteola*, *Echium vulgare*, *Anchusa officinalis*, *Lupinus polyphyllus*, *Pastinaca sativa*, *Daucus Carota*, *Ononis repens*. Die Tiefe des bearbeiteten Bodens betrug etwa 45 cm und alle Pfahlwurzeln zeigten bis zu dieser Tiefe keine Seitenwurzeln. DE VRIES (1901) hat einmal einen analogen Fall beobachtet. Nachdem er in seinem Versuchsgarten ein Beet sehr tief hatte ausgegraben und mit Sand ausfüllen lassen, waren die Wurzeln der darauf ausgesäten *Oenotheren* durch den Sand nahezu ohne Zweigbildung hindurchgewachsen und hatten sie sich erst in der guten unterliegenden Erde reichlich verzweigt.

Es gibt auch solche Arten, welche schräg nach unten gerichtete Seitenwurzeln absenden. Diese entstehen anfänglich auf der ganzen Länge, wachsen jedoch auf der mittleren Strecke nicht weiter aus. Wo der Boden von einer lebendigen Pflanzendecke geschützt ist, ist die obere Schicht immer etwas feucht und besteht sie aus einer Mischung von Sand und Humus und hat dadurch eine höhere Wasserkapazität. Auch haben Rhizoide und Wurzeln zumeist einen dichten Filz gebildet, welcher natürlich stark dazu beiträgt, das Regenwasser festzuhalten. Erst wenn nach starken Regengüssen diese obere Schicht durchnäßt und übersättigt ist, kann das Wasser durchsickern. Die nun folgende Strecke ist, wie schon erwähnt, sehr wasserarm; jedes Sandkorn ist von einer dünnen Wasserschicht überzogen, in der es dem durchsickernden Wasser leicht wird, seinen Weg hinab zu finden. Erst in größerer, lokal verschiedener Tiefe folgt darauf eine Sandschicht mit 6 bis 11 % Wasser, aus welcher die Pflanzen wieder Wasser aufnehmen können (VUYCK 1898). In der zwischenliegenden Schicht ist die Aufnahme schwierig und entwickeln sich daher die Seitenwurzeln

nur selten. Sehr schöne Beispiele dazu fand ich bei *Anthyllis Vulneraria* und einigen anderen Rosettenpflanzen der grauen Dünen.

Fehlt dem Boden dagegen die schützende Decke, so ist die obere Schicht trocken; ihre Dicke wechselt mit der Lokalität und mit den klimatischen Verhältnissen. Hierunter liegt dann unmittelbar die 6—11 % Wasser haltende Schicht, welche sich in gewöhnlichen Jahren im Sommer nur 5—15 cm unter der Oberfläche befindet. In dem heißen Sommer 1911 war sie aber erst in einer Tiefe von 1 $\frac{1}{2}$ —2 m anzutreffen und oft liegt sie noch tiefer, aber in feuchten Ebenen doch meist auf etwa 1 m Tiefe.

Die auf dem Flugsande auftretenden perennierenden Gewächse sind meistens Gräser oder Seggen, auch Kompositen mit langen Rhizomen, wie *Cirsium arvense* und *Sonchus arvensis*. Wenn diese sich auf einer Ebene ansiedeln, steigen ihre Wurzelstöcke bis zu derjenigen Tiefe herab, wo der lockere Boden noch genügend Wasser enthält. Dort entwickeln sie dann ein dichtes Geflecht von Ausläufern und Wurzeln, das für Regenwasser fast undurchdringlich ist. Mehrmals fand ich im Herbst, wenn der Regen den Boden überall durchnäßt hatte, an Stellen, wo *Triticum repens*, *Carex arenaria*, *Calamagrostis Epigeios* und *Cirsium arvense* zusammen auftraten, die obere Schicht feucht, aber die unter dem Rhizomgeflecht liegende ganz staubtrocken. Proben derselben ergaben bei 120° getrocknet keinen nennenswerten Verlust an Wasser.

In den großen Flächen, welche nur wenig über dem Grundwasserniveau liegen, fehlt eine solche unterliegende trockene Schicht. Hier hält auch im Falle der Bildung ähnlicher Filze das kapillar aufsteigende Wasser den Boden feucht. Im Sommer ist hier die Oberfläche am Tag trocken infolge der Verdunstung, während in der Nacht das Wasser aufsteigt. Trägt ein solcher Boden keine Vegetation, so findet während der Nacht keine oder nur eine geringe Verdunstung statt und ist der Boden am Morgen wieder feucht. Diese Eigenschaft des Bodens ist in der Praxis wohl bekannt; man sagt, daß der Boden „opgeeft“ = aufgibt.

§ 9. Das Licht.

Wie von SACHS (1865), STAHL (1883) und WIESNER (1893, 1895) nachgewiesen wurde, ist die Lichtintensität ein wichtiger Faktor für die Verbreitung der Pflanzen und hat sie auch auf ihre Gestalt und ihren anatomischen Bau einen großen Einfluß. Diese Intensität wechselt nach Jahreszeit, Breite, Höhe, atmosphärischer Feuchtigkeit und Bewölkung. Ferner wissen wir, daß das Licht durch seine chemische Einwirkung auf das Chlorophyll die Assimilation des Kohlenstoffdioxyds hervorruft, und daß dieser Prozeß mit der Lichtintensität bis zu einem für jede Art bestimmten Optimum zunimmt, oberhalb dessen die stärkere Beleuchtung schädlich wirkt (STAHL 1894).

Stark beleuchtete Pflanzen haben eine höhere Temperatur, als die umgebende Luft, und beschattete Pflanzen werden durch

die Ausstrahlung kälter als diese. Die Steigerung der Temperatur fördert die Transpiration, welche letztere durch die Pflanze mittels allerhand Vorrichtungen reguliert werden kann. STAHL (1894), VOLKENS (1887), TSCHIRCH (1881, 1882), WIESNER (1893, 1895), KERNER VON MARILAUN (1887) und WARMING (1902) haben gezeigt, wie die Stellung der pflanzlichen Organe von der Beleuchtung abhängig ist und wie dieses sich z. B. in der Blattmosaik äußert. Auch der Habitus der Pflanzen wird vom Lichte stark beeinflußt, denn die stark exponierten Pflanzen sind immer viel gedrungener im Bau. Ferner gibt es Arten, welche mit wenig Licht vortrefflich gedeihen (heliophobe Pflanzen) und andere, welche nur mit vielem Licht leben können, die heliophilen Arten (WIESNER 1907).

Bei der Besprechung der Assimilationszeit der Dünenpflanzen werde ich Gelegenheit haben, näher darauf einzugehen. Hier aber will ich kurz einige Beispiele über die Reaktion auf den Lichtreiz mitteilen. In einem Eichengestrüpp war der Boden bedeckt mit *Glechoma Hederaceum*. Die Stengel waren hellgrün, die Blätter dunkelgrün und glänzend, groß und langgestielt; alle Blätter waren dem Lichte zugewandt, und es gab fast keine blühenden Sprossen. Näherte ich mich den Pflanzen von der Nordseite, so sah ich nur die Unterseite der Blätter. Exemplare von demselben Stock, welche ich an die volle Sonne verpflanzt hatte, zeigten im nächsten Jahre einen ganz andern Habitus. Hier waren nur sehr kurze Ausläufer getrieben worden, und diese waren dick und rot gefärbt. Die blühenden Sprosse, deren sehr viele gebildet worden waren, waren kurz und dick und ihre Blattscheiben waren dem Stengel fest angedrückt. Die ganze Pflanze war dicht behaart und matt.

In einem sonst sehr feuchten Dünental gab es in diesem trockenen Jahre (1911) fast kein Wasser, und demzufolge hatten allerlei Sumpfpflanzen sich nur mäßig oder gar nicht entwickelt. An einer Stelle fand ich ein *Phragmitetum*, gemischt mit *Ranunculus Flammula*, *Caltha palustris*, *Mentha aquatica* usw. und eine Bodenbedeckung von *Hydrocotyle vulgaris* und Moosen. Infolge der Trockenheit war das Schilfrohr schon früh abgestorben und waren die übrigen Pflanzen sehr klein geblieben. Dementsprechend war der Lichtgenuß für *Hydrocotyle* ein viel größerer geworden und waren alle Blattscheiben, welche sonst nahezu wagrecht stehen, senkrecht gestellt. Unmittelbar unter dem schildförmigen Blatt trägt der Blattstiel einige farblose Schuppen, welche die Biegungszone anweisen und hier wechselt der Winkel zwischen der Scheibe und dem Blattstiel zwischen 0° und 30° .

Epipactis latifolia, *Mayanthemum bifolium*, *Polygonatum officinale* und dergleichen Pflanzen, welche sowohl im Schatten, wie an der vollen Sonne gedeihen, zeigen auf den exponierten Standorten einen gedrungeneren Habitus mit sehr kleinen Blättern, deren Stellung oft eine solche ist, daß sie einander beschatten oder daß die Lichtstrahlen an ihnen entlang fallen. Viele, wie *Polygonatum*, kehren ihre Unterseite dem Lichte zu. Regelmäßig,

auch im Schatten, drehen die Blätter von *Allium ursinum* ihre Unterseite nach oben. Dieselbe eigentümliche Drehung fand ich bei *Brachypodium sylvaticum*, sowohl im Walde als im Lichte. Wenn man sich einer Gruppe dieser Gräser von der Sonnenseite her nähert, fallen die weißen Nerven der Unterseiten der Blätter stark auf. Wie diese Drehung zustande kommt, werde ich gelegentlich der anatomischen Behandlung der Dünenpflanzen zu besprechen haben. Wo die Oberseite der Blätter bei *Polygonatum* nicht genügend geschützt war, wurde das Chlorophyll im Palisadenparenchym vernichtet und waren gelbe Streifen und Flecken sichtbar.

Die Anzahl der Pflanzen mit opponierter oder dekussierter Blattstellung ist in den Dünen verhältnismäßig groß (MASSART 1908). Wo solche Pflanzen im Lichte wachsen, werden die Internodien kurz und decken die Blätter einander, während im Schatten die Stengel viel länger und die Blätter größer sind.

Die Transpiration steigert sich mit der Beleuchtung und der Temperatur. An den exponierten Abhängen, wo nur wenig Wasser anwesend ist, können demgemäß nur solche Arten wachsen, welche Vorrichtungen haben, um die Transpiration herabzusetzen. Unter diesen nenne ich zuerst den Einrollungsmechanismus der Gräser (DUVAL-JOUVE 1875, TSCHIRCH 1882, VOLKENS 1887). Die bekanntesten Beispiele sind: *Agropyrum junceum*, *A. pungens*, *Ammophila arenaria*, *Corynephorus canescens*, *Koehleria cristata albescens*, *Festuca rubra arenaria*, *F. duriuscula*, *F. duriuscula glauca*, *F. ovina*. Die annualen, hivernalen *Gramineae*, wie *Bromus tectorum*, *B. sterilis* und *Phleum arenarium*, wie die Bewohner der Sümpfe und feuchten Täler: *Glyceria aquatica*, *Gl. fluitans*, *Phragmites communis* u. a. entbehren diesen Mechanismus und finden sich dementsprechend nur in der nassen Jahreszeit oder an Stellen mit stehendem Wasser.

Kleine oder fast fehlende Blätter bedingen eine geringe Transpiration. Solche Pflanzen können auf heißen, trockenen Böden leben. In den neuen Dünen finden wir nur wenige Vertreter dieser Gruppe. *Asparagus officinalis*, *A. prostratus*, *Corispermum Marshalli* und *Salsola Kali* sind die hier anzuführenden Beispiele. Auf den alten Dünen sind es vor allem: *Cytisus scoparius*, *Empetrum nigrum*, *Calluna vulgaris*, *Erica tetralix*, *Genista anglica*, *G. tinctoria* und *Ulex europaeus*, welche diesem Typus angehören. Auch die anatomische Struktur der Blätter wird stark durch das Licht beeinflusst. Im allgemeinen sei hier mitgeteilt, daß der isolaterale Blatttypus ziemlich selten vorkommt, daß dagegen mehrere Pflanzen mit dorsiventralem Typus in der Rosette, wie *Echium vulgare* und *Anchusa officinalis* am Stengel isolaterale Blätter tragen, wenn sie auf dem nackten Sande wachsen, dagegen dorsiventrale Blätter, wenn der Boden ringsum mit Pflanzen bedeckt ist. Der nackte, helle Sandboden wirft das Licht zurück und ruft diese Änderung der Blätter zum Vorschein, wie GILTAY (1886) bei *Euphorbia Paralias* gefunden hat. Daß dem so ist, zeigt sich deutlich, wenn ein tiefer angesetztes Blatt ein höher

angesetztes gegen die zurückgeworfenen Lichtstrahlen deckt, indem dann der beschattete Teil dorsiventral, der nicht beschattete isolateral ist, wie ich dieses bei *Echium* und *Anchusa* gesehen habe. Der isolaterale Typus ist am schönsten ausgeprägt bei *Iris pseudacorus*, *Juncus*-Arten, *Allium vineale*, deren aufrecht stehende Blätter beiderseits dem Lichte ausgesetzt sind. (Über diese anatomischen Verhältnisse werde ich in einem später zu publizierenden Aufsätze ausführlich berichten.)

Die Intensität der Wirkung des Lichtes ist natürlich in erster Linie von der Zeit abhängig, während welcher die Sonne scheint. Deshalb habe ich, soviel mir möglich war, diese Zeiten mit Jordans Sonnenautograph (Photografic Sunshine Recorder) gemessen. Im allgemeinen gibt dieser Apparat, wenn auch mit kleinen Fehlern, eine Übersicht über die Zeiten, während welcher der Sonnenschein kräftig ist und die Pflanzen die direkte Bestrahlung genießen und Energie speichern können.

In untenstehender Tabelle gebe ich einige der auf dem höchsten Dünengipfel der „Ebbinge“ bei Zandvoort von mir gefundenen Zahlen. Selbstverständlich muß der Apparat so aufgestellt werden, daß er niemals im Schatten steht.

Datum 1910	Sonnen- schein in Std.								
7. 5.	510	5. 6.	1410	24. 6.	400	31. 8.	510	19. 9.	720
8. 5.	920	6. 6.	1635	25. 6.	520	1. 9.	420	20. 9.	640
9. 5.	445	7. 6.	1050	26. 6.	440	2. 9.	140	21. 9.	645
10. 5.	200	8. 6.	850	27. 6.	—	3. 9.	630	22. 9.	530
11. 5.	040	9. 6.	940	28. 6.	220	4. 9.	520	23. 9.	130
12. 5.	1140	10. 6.	—	29. 6.	400	5. 9.	—	24. 9.	—
13. 5.	915	11. 6.	045	30. 6.	540	6. 9.	010	25. 9.	650
14. 5.	830	12. 6.	450	1. 7.	500	7. 9.	110	26. 9.	600
15. 5.	230	13. 6.	—	2. 7.	910	8. 9.	520	27. 9.	200
16. 5.	500	14. 6.	010	3. 7.	610	9. 9.	320	28. 9.	1200
17. 5.	440	15. 6.	055	4. 7.	010	10. 9.	—	29. 9.	935
18. 5.	250	16. 6.	015	5. 7.	050	11. 9.	105	30. 9.	550
19. 5.	220	17. 6.	600	6. 7.	020	12. 9.	040	1. 10.	1145
20. 5.	1550	18. 6.	1645	7. 7.	010	13. 9.	—	2. 10.	300
21. 5.	1555	19. 6.	1000	8. 7.	250	14. 9.	530	3. 10.	510
22. 5.	1600	20. 6.	1648	9. 7.	—	15. 9.	430	4. 10.	310
23. 5.	141	21. 6.	1600	10. 7.	1630	16. 9.	1020	5. 10.	440
3. 6.	850	22. 6.	240	29. 8.	340	17. 9.	120	6. 10.	—
4. 6.	1000	23. 6.	—	30. 8.	440	18. 9.	020	7. 10.	510

Ich habe diese Zahlen in einer graphischen Tabelle übersichtlich dargestellt (vgl. S. 359, Fig. 6). Es gibt in den Beobachtungszeiten große Lücken, während welcher ich weit von der Observationsstelle auf Exkursionen war und den Apparat nicht genügend bedienen konnte. Im Monat Mai waren Tage mit etwa

16 Stunden Sonnenschein keine Seltenheit, während der ganzen Beobachtungszeit von 17 Tagen gab es deren 4, ferner 4 mit 5—10 Stunden, während 9 Tage nur $\frac{1}{2}$ —5 Stunden Sonnenschein ergaben. Vom 3. Juni bis 10. Juli, also von 38 Tagen, waren 7 ohne und 6 mit etwa 16 Stunden Sonnenschein.

Ferner gab es 10 Tage, während welcher die Sonne zwischen 5 und 10 Stunden pro Tag unbedeckt war und 15, wo dieses nur während $\frac{1}{2}$ —5 Stunden der Fall war. Vom 29. August bis 7. Oktober gab es 5 Tage ohne Sonnenschein, 3 Tage mit mehr als 10 Stunden, 14 Tage mit 5—10 Stunden und 18 Tage mit weniger als 5 Stunden Sonnenschein. Vom 7. bis 23. Mai gab es im Mittel etwa $7\frac{1}{2}$ Stunden pro Tag; vom 3. bis 30. Juni etwa 7 Stunden und im September nur ungefähr 4 Stunden mit Sonnenschein pro Tag.

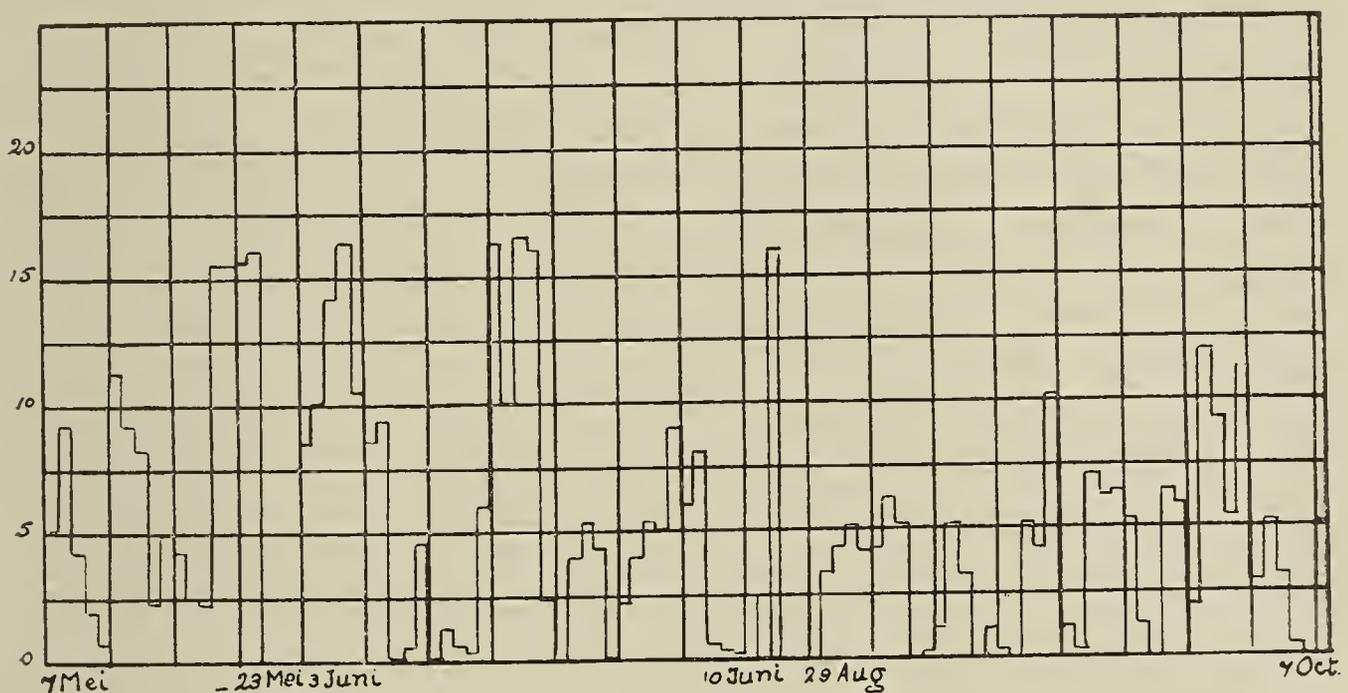


Fig. 6.

Angabe des Sonnenscheins in Stunden pro Tag auf den Dünen der „Ebbinge“ bei Zandvoort im Sommer 1910.

In den Dünen ist Schatten selten, da nur wenig Holz anwesend ist und die jüngsten Dünen dessen ganz entbehren. Ich war leider nicht in der Lage, genaue Beobachtungen über die Intensität zu machen, konnte jedoch feststellen, daß die exponierten Abhänge eine ganz andere Flora tragen als die von der Sonne abgewandten. Es ist selbstverständlich, daß hierbei ferner die Erwärmung des Bodens, die Bodenfeuchtigkeit und die Struktur des Bodens in Betracht kommen.

In den Dünen finden wir da, wo es keinen Baumwuchs und dadurch auch keinen Schatten gibt, allerhand Pflanzen an den Nordwestabhängen konzentriert. Die auffallendsten Beispiele liefern *Polypodium vulgare* und *Botrychium Lunaria*. Die erstere bedeckt diese Abhänge nach meinen Erfahrungen bei Haag, Noordwyk, Zandvoort, Wyk aan Zee und Bergen in dichten Rasen und ist dort die herrschende Pflanze. So fand ich am 12. Oktober 1910 nördlich von Noordwyk unmittelbar hinter der

geschlossenen Vordüne eine Reihe von Strichdünen, welche voneinander durch Südwest bis Nordost verlaufende Windstraßen getrennt waren. Sie waren etwa 10 m hoch und hatten ausgesprochene Nordwest- und Südostseiten. Die letztere war kahl und nur spärlich besetzt mit *Hippophae rhamnoides*, *Rubus caesius*, *Ammophila arenaria* und *Festuca rubra arenaria*, während einige unter ihnen kleine Bestände von *Rosa pimpinellifolia* aufwiesen. Die Nordwestabhänge dagegen waren in ihrem unteren Teil so dicht bewachsen mit *Polypodium vulgare*, daß nur wenige andere Pflanzen wie *Ononis repens*, *Rhinanthus minor*, *Polygala vulgaris* und *Calamagrostis Epigeios* dazwischen Platz fanden. Der Kamm war dicht bewachsen mit *Ammophila arenaria* und *Elymus arenarius*.

Weiter fand ich an diesen Abhängen stets *Dicranum Scoparium*, welche Moosart hier dichte Polster bildet, während sie an den exponierten Abhängen nie zu finden ist. Meistens fand ich auch Keimpflanzen von Bäumen und Sträuchern an solchen Abhängen oder in den Tälern. Sobald durch den Baumwuchs Schatten entsteht, wie solches mehr landeinwärts der Fall ist, finden wir die *Polypodien* am Fuß der Bäume, während *Botrychium Lunaria* in den dichten *Salicetis* auftritt. Die Heide, *Calluna vulgaris*, bedeckt die großen Dünenflächen von Noordwykerhout, Loosduinen, Bergen, Schoorl, Callantsoog und Helder. Wie bekannt (GRAEBNER 1901), bedarf *Calluna vulgaris* einer feuchten Atmosphäre. Sie ist, wie *Erica tetralix* und andere Mitglieder der durch sie charakterisierten Vegetation, eine an ein ozeanisches Klima gebundene Pflanze. Hierdurch ist es begreiflich, daß sie nicht auf den Südost-, wohl aber auf den Nordwestabhängen und in den feuchten Tälern vorkommt. Am schönsten finden wir dies in den Schoorler Dünen ausgeprägt. Hier sind die bis 40 m hohen Nordwestabhänge bis an ihre Gipfel dicht besetzt mit *Calluna vulgaris*, zwischen welcher *Betula verrucosa*, *Sorbus aucuparia*, *Berberis vulgaris* vorkommen. Auf dem Boden breitet sich eine Decke von *Hypnum purum* und allerhand Lichenen aus. Ferner gibt es hier *Galium verum*, *Ammophila arenaria*, *Hieracium umbellatum*, *Rubus caesius*, *Agrostis alba* und *Festuca ovina*.

Der Boden des Dünenkessels war mit einem üppigen Callunetum besetzt, das nach der Seite des Südsüdostabhanges lockerer wurde. Auf dem Boden wuchsen *Cladonia rangiferina* und *Galium verum*. Der Südsüdostabhang selbst hatte aber keine Bodenbedeckung und war nur spärlich bewachsen mit *Corynephorus canescens*, *Viola canescens*, *Jasione montana* und *Hieracium umbellatum*. Die *Viola canina* zeigte hier einen stark xerophytischen Charakter mit kleinen, glänzenden, dicken Blättern, welche mehrfach dunkelrot gefärbt waren.

Dieser Abhang wurde fast vollständig festgehalten durch *Viola canina lancifolia* und *Koehleria cristata albescens*, welche der Überschüttung sehr gut widerstehen. Auf Taf. XVI Fig. 1 ist ein unterirdischer Sproß von *Viola* abgebildet, welcher während vier Vegetationsperioden überschüttet worden war, und auf Taf. XV ein solcher von *Koehleria cristata*, der 5 mal überschüttet wurde.

Im Jahre 1909 pflanzte ich einige Exemplare von *Glechoma hederaceum* an der vollen Sonne auf 2 m Entfernung eines Bestandes von Eichenschlagholz. Kontrollpflanzen pflanzte ich in dem Eichengestrüpp. Der Rand des Bestandes war nach Osten gekehrt und hatte also Morgen- und Mittagssonne bis etwa 4 Uhr nachmittags; dann erst erreichte der Schatten meine Versuchspflanzen. Während des Sommers machten beide Pflanzen Ausläufer, welche bei den Schattenpflanzen keine bestimmte Richtung hatten, bei den Sonnenpflanzen dagegen alle in derselben Richtung nach dem Eichengestrüpp hin wuchsen. Der Einfluß des Gestrüppes machte sich also noch eine Strecke weit geltend, höchstwahrscheinlich durch verringerte Lichtintensität und größere Feuchtigkeit.

§ 10. Änderung des Klimas durch örtliche Bedingungen.

Wie das oben beschriebene ozeanische Klima durch allerhand lokale Bedingungen geändert wird und daher Pflanzen, welche in geringer Entfernung voneinander stehen, sehr verschiedenen klimatischen Einflüssen ausgesetzt sein können, mögen die jetzt folgenden Beobachtungen erläutern (vgl. Fig. 7, S. 362).

Am 11. September 1911 habe ich an einem hellen Tage jede Viertelstunde zwischen 8 Uhr morgens und 6 $\frac{1}{2}$ Uhr abends die Temperaturen gemessen, welche ein bewachsener Nordabhang, ein bewachsener Südabhang, der bewachsene Gipfel derselben Düne und die Luft in 1,50 m Höhe über dem Gipfel aufwiesen. Der Himmel war während dieses ganzen Tages unbedeckt, der Wind war südöstlich und beide Abhänge waren an ihrer Oberfläche völlig trocken. Der Gipfel war mit *Ammophila arenaria* und *Festuca rubra arenaria* bewachsen. Auf dem Südabhange standen *Rosa Pimpinellifolia*, *Salix repens*, *Corynephorus canescens*, *Koehleria cristata albescens*, *Ammophila* usw. Auf dem Nordabhang dagegen war der Boden mit Lichenen bedeckt; dort wuchsen *Ammophila arenaria*, *Cerastium arvense*, viel *Salix repens*, *Hippophae rhamnoides* usw. Diese floristischen Angaben sind aber nicht charakteristisch, da dieser Gipfel im vorigen Jahre noch „lebendig“ war, indem es dort eine Windmulde gab, welche vergraben wurde. Dabei waren alle *Salix*, *Rosa* und *Hippophae* soviel wie möglich geschont, und war Helm angepflanzt worden, während ringsum eine Bedeckung mit Plaggen aus der Lichenendecke der grauen Düne gelegt wurde. Der Helm wuchs überall gut, am besten am Südabhang, wo die Lichenendecke ganz ausgetrocknet und vom Winde und Regen fortgeführt worden war. Hier siedelte sich auch das Gras der neuen Sande: *Festuca rubra arenaria* an, mit *Corynephorus* und *Koehleria* usw., und zwischen diesen habe ich die Temperaturen aufgenommen. Unter und zwischen den Büschlein von *Rosa* und *Salix* wären selbstverständlich die Temperaturen durch den Schatten und den Windschutz ganz andere gewesen. Am Nordabhang aber lag das Thermometer zwischen *Cerastium* und *Viola tricolor*.

Tabelle

Zu dem Diagramm Fig. 8 auf S. 364.

Datum	Witterungsverhältnisse			Maximum			Sonnenuntergang			Datum	Minimum			Witterungsverhältnisse		
	Sonne	Regen	Wind	Lufttemp. auf 1,50 m	Sand	Gras	Lufttemp. auf 1,50 m	Sand	Gras		1910	Lufttemp. auf 1,50 m	Sand	Gras	Sonne	Regen
9.	+	-	NW	19 ^{1/2}	27	31	13 ^{1/2}	14	14	9.	10 ^{1/2}	11 ^{1/2}	6 ^{1/2}	-	+	NW-NO
10.	-	-	NW	18	22	24	13	13	15	10.	9 ^{1/2}	9	7	-	-	O
11.	+	-	NW	18	24 ^{1/2}	30	10 ^{1/2}	11	10	12.	6	6	2 ^{1/2}	+	-	SO
12.	+	+	NW	17	23 ^{1/2}	26 ^{1/2}	11 ^{1/2}	11	11	13.	6	6	3	-	+	
14.	+	-	ONO	16 ^{1/2}	20 ^{1/2}	31	12	13	14	15.	10	8	9 ^{3/4}	-	+	
17.	+	-	O	17 ^{1/2}	24	31 ^{1/2}	12	12	12 ^{1/2}	18.	7	7	4 ^{1/2}	-	+	
19.	+	+	SW	17	26	30	12	12	11 ^{1/2}	20.	4 ^{3/4}	4 ^{1/2}	4 ^{1/2}	-	+	
20.	+	+	N	15	25	27	8	7 ^{1/2}	7	21.	7	4 ^{3/4}	1 ^{1/2}	-	+	
21.	+	+	NW	14 ^{1/2}	14 ^{1/2}	22	9	9 ^{1/2}	9 ^{1/2}	22.	1 ^{1/2}	1 ^{1/2}	2	-	+	
22.	+	+	NW	17	21 ^{1/2}	30	11	11 ^{1/2}	12	23.	9 ^{1/2}	7 ^{1/2}	6	-	+	
23.	+	+	NW	17	25	30	11 ^{1/2}	11 ^{1/2}	13	24.	9 ^{1/2}	8 ^{1/2}	8 ^{1/2}	-	+	
24.	+	-	SW	15	18 ^{1/2}	22	12	14	14	25.	8	6 ^{1/2}	3 ^{1/2}	-	+	
25.	+	-	NO	17 ^{1/2}	30	34	9	9 ^{1/2}	7	26.	3 ^{1/2}	3	1 ^{1/2}	-	+	
27.	+	-	NO	17	22	26	12	12	12	28.	5 ^{1/2}	7	5 ^{1/2}	-	+	
29.	+	+	SO	23 ^{1/2}	28 ^{1/2}	31 ^{1/2}	14	14 ^{1/2}	16	30.	13	12 ^{1/2}	8 ^{1/2}	-	+	
30.	+	-	SW	16 ^{1/2}	19 ^{1/2}	25	9	8 ^{1/2}	7 ^{1/2}	1.	3 ^{1/2}	4	1 ^{1/2}	-	-	
3.	+	+	W	17 ^{1/2}	17 ^{1/2}	21 ^{1/2}	11 ^{1/2}	11	11	4.	11	9	9 ^{1/2}	-	+	
4.	+	-	W	16	18	24 ^{1/2}	12 ^{1/2}	12	12 ^{1/2}	5.	12	12	12 ^{1/2}	-	-	
5.	+	-		16 ^{1/2}	22	25	13	14	15 ^{1/2}	6.	12	12	13	-	+	

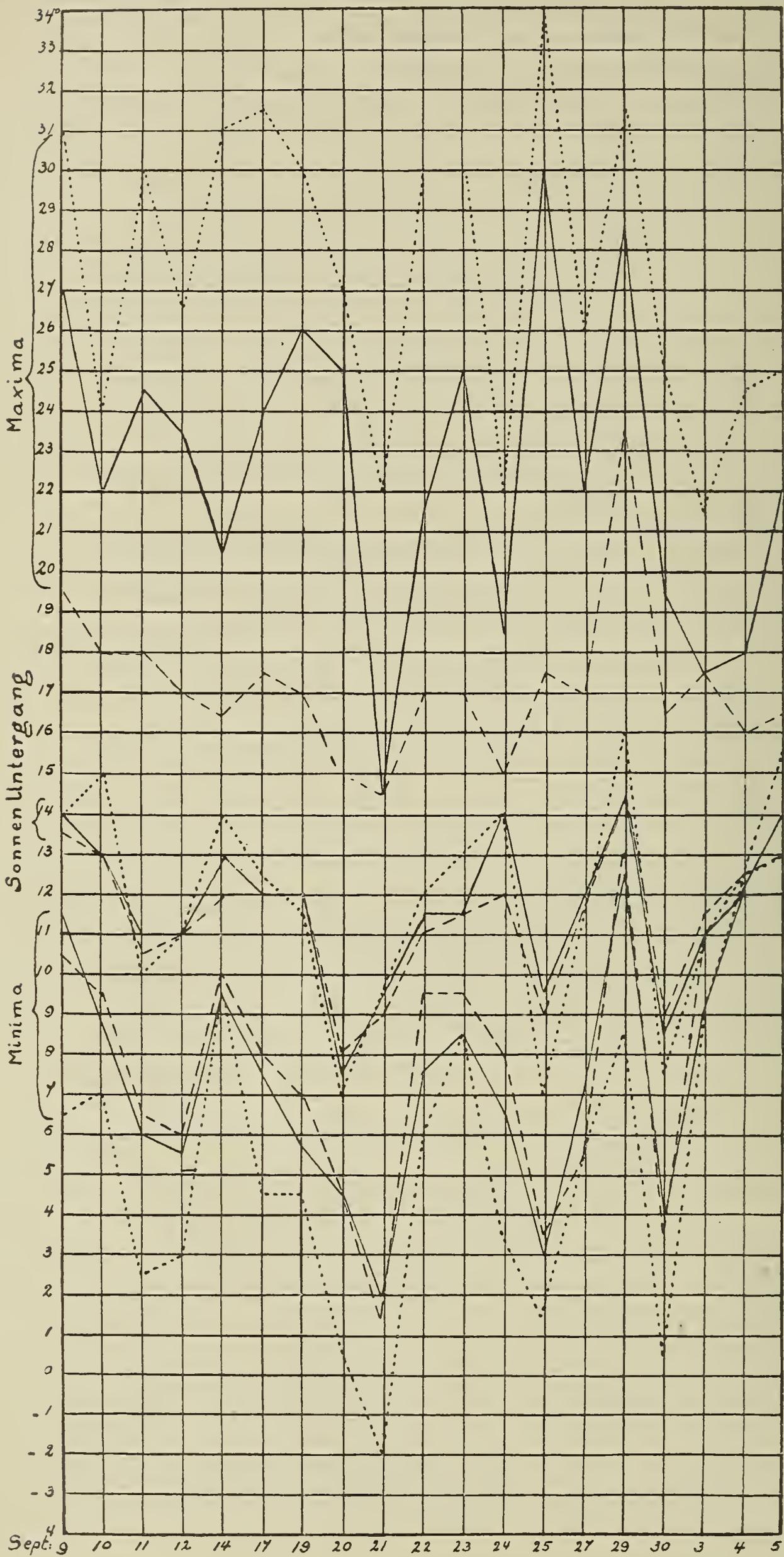


Fig. 8.

Die Temperatur in den Dünen im September.

----- Temperatur der Luft auf 1,50 m Höhe.

Die drei letzten Zahlen unterhalb des Diagramms deuten die Tage im Oktober 1910 an.

etwa 2 Uhr, wenn Windstille eintrat. Dann schloß sie sich beinahe der Kurve des Südabhanges an. Die Lufttemperatur weist nur eine sehr geringe Schwankung auf. Das Auftreten des Windes um $11\frac{3}{4}$ Uhr läßt sich in allen vier Kurven beobachten. Im großen und ganzen lehrt dieses Diagramm, daß die Temperaturen des Nord- und des Südabhanges am Tag sehr weit auseinander liegen, daß der Wind die Bodentemperatur stark beeinflußt und daß alle Temperaturen abends und morgens konvergieren.

Die Luft empfängt ihre Wärme von der durch die Sonne bestrahlten Erde. Wenn am Nachmittag die Strahlen schräg einfallen, wird die Wärmezufuhr geringer, um bei Sonnenuntergang aufzuhören. Am Nachmittag strahlt die Erde stets Wärme aus und bei der verminderten Wärmezufuhr durch die Sonne muß es einen Augenblick geben, in welchem die Temperaturunterschiede von Luft und Erde sich ausgleichen. Für die Dünengegend fand ich aus meinen Beobachtungen, daß dieser Augenblick wenigstens für die Monate Februar, April und September ungefähr mit dem Sonnenuntergang zusammenfällt.

In einem Falle zeigten Luft, nackter Boden und Rasen dieselbe Temperatur. Bei einer anderen Reihe von Beobachtungen waren die Zahlen für die Luft und die bewachsenen Nord- und Südabhänge gleich hoch. Ein anderes Mal zeigten Luft, tote Grasdecke und unbedeckter Boden diesen Ausgleich. Dabei war es merkwürdig, daß diese Erscheinung wenig oder gar nicht von den Witterungsverhältnissen abhängt, wie aus den beigegebenen Tabellen leicht ersichtlich ist. Diesen Zeitpunkt, auf welchem die Temperaturen von Luft, Sand und Rasen untereinander etwa gleich sind, wurde von mir benutzt in einem Diagramm, in das ich auch die Maximaltemperaturen des Tages und die Minimaltemperaturen der darauffolgenden Nacht eintrug. Die Minimaltemperaturen der Nacht sind auf den Daten des vorhergehenden Tages angegeben (Fig. 8). Hieraus ist zu sehen, wie durchaus verschieden diese drei Temperaturen sich verhalten. Den größten Schwankungen ist der Rasen ausgesetzt, denn während der Nacht kühlt er sich am meisten ab und am Tage zeigt er immer die höchsten Maxima. Die Luft weist die kleinsten Schwankungen auf, während ihre Minimaltemperaturen einen fast gleichen Verlauf wie diejenigen des Bodens haben. Die Maximaltemperaturen des Bodens dagegen stimmen im ganzen mit denen des Rasens überein. Die Maximaltemperaturen der Luft schwanken im allgemeinen zwischen $14\frac{1}{2}^{\circ}$ und $19\frac{1}{2}^{\circ}$ C; nur am 29. September 1910 wurde $23\frac{1}{2}^{\circ}$ C beobachtet.

An den 19 aufeinanderfolgenden Tagen waren bei Sonnenuntergang die Temperaturen fast gleich, und die Kurven liegen hier somit dicht aneinander. Wann am Tag die Maxima und Minima erreicht werden, wissen wir nicht, doch geben unsere Beobachtungen zur Beantwortung dieser Fragen wenigstens einen Anhaltspunkt.

Eine zweite Reihe von Beobachtungen habe ich im Diagramm Fig. 9 und in den Ziffern der Tabelle auf S. 366 wiedergegeben.

Datum	Witterungsverhältnisse		Maximum		Sonnenuntergang		Datum	Minimum		
	Sonne	Regen	Wind	Temperatur der Luft auf 1,50 m	S. Abh. N. Abh.	Temperatur der Luft auf 1,50 m		S. Abh. N. Abh.	Temperatur der Luft auf 1,50 m	
1910							1910			
2. 4.	+	—	NO	12	33	16	3. 4.	—3	—4	—4 ^{1/2}
3. 4.	+	—	NO	15	39	17	4. 4.	+3	2 ^{1/2}	1 ^{1/2}
4. 4.	—	+	S	13	19 ^{1/2}	11	5. 4.	2	1 ^{1/2}	1 ^{1/2}
5. 4.	—	—	SW	15	24	12 ^{1/2}	6. 4.	4 ^{1/2}	2 ^{1/2}	1 ^{1/2}
6. 4.	—	—	NO	14	30	16	7. 4.	5	5 ^{1/2}	4
7. 4.	—	—	N	12 ^{1/2}	21	14	8. 4.	4 ^{1/2}	3 ^{1/2}	3 ^{1/2}
8. 4.	—	—	NW	14	22	14 ^{1/2}	9. 4.	1	—1 ^{1/2}	—
9. 4.	—	—	WNW	8	16	12 ^{1/2}	10. 4.	0	—2	—2
10. 4.	—	—	NW	12	23	17	11. 4.	—2 ^{1/2}	—4	0
11. 4.	+	—	S	15	29	18	12. 4.	0	—1 ^{1/2}	—1
12. 4.	+	—	SW	15	29	15	13. 4.	8	6 ^{1/2}	—

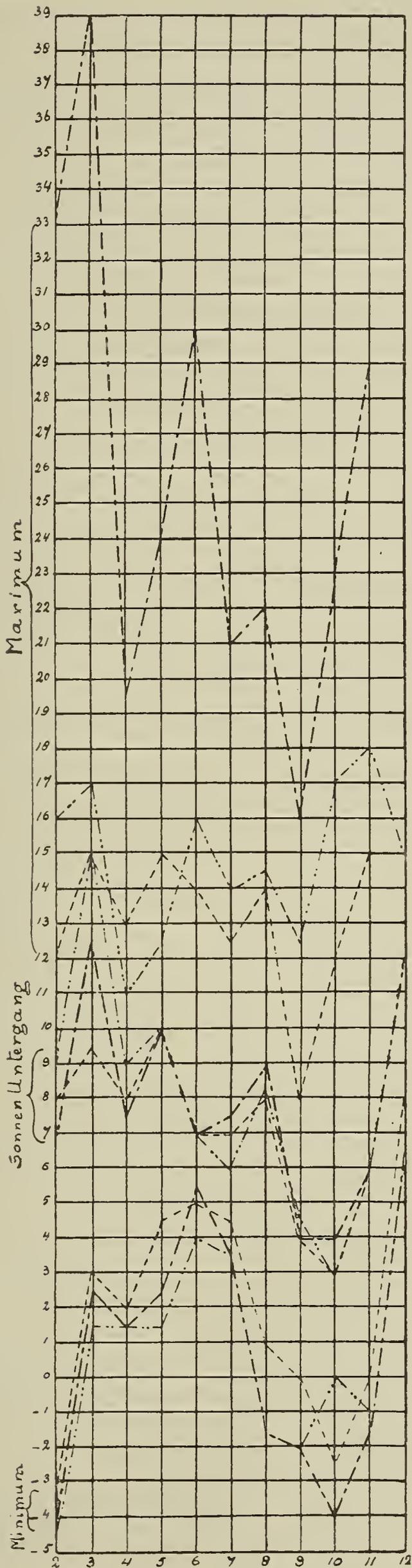


Fig. 9.

Die Temperatur in den Dünen im April.

..... Lufttemperatur auf 1,50 m. - · - · - · - Temperatur des Südabhanges. - - - - - Temperatur des Nordabhanges.

Die Zahlen unterhalb des Diagramms deuten die Tage im April an.

Hygrometer	Datum	Beobachtungszeit	Lufttemp. Höhe 1,50 m	Bodentemp. Süd-Abhang zwisch. Helm	Bodentemp. Nord-Abhang zwisch. Helm	Witterungsverhältnisse
45 45 52 ¹ / ₂	2 4.	Minimum	- ¹ / ₂	+ ¹ / ₂	- ¹ / ₂	Wind NE; helles Wetter; Sonnenschein. <i>Salix repens</i> auf den S-Abhängen blühend.
		Maximum	+12	+33	+16	
		Sonnenunterg.	+8	+7	+9	
60 80	3 4.	Minimum	-3	-4	-4 ¹ / ₂	Wind NE; nachts viel Tau; morgens Reif, nie unter den Bäumen.
		9 Uhr	+7	+5	+7	
		12 Uhr	+15	+36	+15	
40 55	4 4.	6 ³⁰ Sonnenunterg.	+9 ¹ / ₂	+12 ¹ / ₂	+15	Wind S; morgens Regen; Himmel bewölkt, nach 1 ³⁰ Sonne.
		Maximum	+15	+39	+17	
		Minimum	+3	+2 ¹ / ₂	+1 ¹ / ₂	
50 65 65	5 4.	12 Uhr	+13	+18 ¹ / ₂	+19	Wind SW; nachts Regen; Sonne; Wind kräftig, austrocknend.
		± 6 ³⁰ Sonnenunterg.	+8	+7 ¹ / ₂	+9	
		Maximum	+13	+19 ¹ / ₂	+19	
85 57 ¹ / ₂ 75	6 4.	Minimum	+2	+1 ¹ / ₂	+1 ¹ / ₂	Wind NE kräftig; morgens Nebel, später Sonne.
		12 Uhr	+14	+23 ¹ / ₂	+12 ¹ / ₂	
		± 6 ³⁰ Sonnenunterg.	+10	+10	+10	
82 ¹ / ₂ 65 75	7 4.	Maximum	+15	+24	+12 ¹ / ₂	Wind N; von 8 ³⁰ —9 ¹⁵ Regen, dann trocken; Himmel bewölkt; nachts Regen von 12 ³⁰ —3 Uhr.
		Minimum	+4 ¹ / ₂	+2 ¹ / ₂	+1 ¹ / ₂	
		9 Uhr	+11 ¹ / ₂	+13 ¹ / ₂	+11	
57 ¹ / ₂ 72 ¹ / ₂ 85	8 4.	12 Uhr	+13	+22	+12 ¹ / ₂	Wind NW; Boden naß, fest; Himmel bewölkt; Sonne. Viel <i>Viola tricolor</i> ; <i>Saxifraga tridactylites</i> ; <i>Cerastium arvense</i> , <i>Cer. semidecandrum</i> und <i>Cardamine hirsuta</i> in voller Blüte; am Abend kein Tau, starker Wind.
		5 Uhr	+8	+9	+8 ¹ / ₂	
		Maximum	+14	+22	+14 ¹ / ₂	
45 72 ¹ / ₂	9 4.	Minimum	+1	-1 ¹ / ₂	Blätter und Sand aufgeweht	Wind WNW; kräftig; Himmel bewölkt; Abend ohne Tau.
		9 Uhr	+7	+8 ¹ / ₂	+5	
		12 Uhr	+7	+9	+5	
35 25 55	10 4.	± 6 ⁵⁰ Sonnenunterg.	+4	+4	+4 ¹ / ₂	Wind NW; mäßig; kein Tau; dann und wann Sonnenschein.
		Maximum	+8	+16	+12 ¹ / ₂	
		Minimum	0	-2	-2	
47 ¹ / ₂ 47 67 ¹ / ₂	11 4.	9 Uhr	+6 ¹ / ₂	+7	+7	Wind S; kräftig; austrocknend; nach 11 Uhr fast windstill, sonnig; Eis in den Eimern ± ¹ / ₂ cm dick.
		± 6 ⁵⁰ Uhr	+3	+4	+3	
		Maximum	+12	+23	+17	
47 ¹ / ₂ 47 67 ¹ / ₂	12 4.	Minimum	-2 ¹ / ₂	-4	+0	Nachts Frost; morgens Wind SW; Himmel klar; am Horizont dunkler Nebel; nach 12 Bewölkung.
		9 Uhr	+11	+10 ¹ / ₂	+11	
		12 Uhr	+15	+25	+13	
		± 6 ⁵⁰ Uhr	+6	+6	+6	
		Maximum	+15	+29	+18	
		Minimum	-1 ¹ / ₂	-1 ¹ / ₂	-1	
		9 Uhr	+8	+5	+5	
		12 Uhr	+13	+15	+13	
		± 6 ⁵⁰ Uhr	+12	+12	+12	
		Maximum	+15	+29	+15	

Hier zeigten vom 2. bis 12. April 1910 bei Sonnenuntergang die Luft in einer Höhe von 1,50 m und die bewachsene Oberfläche eines Südabhanges und eines Nordabhanges ungefähr dieselben Temperaturen. Auch die Minima zeigen einen ähnlichen Verlauf. Bei den Maximaltemperaturen weist der Südabhang die größten Abweichungen auf, während Luft und Nordabhang zusammengehen. Meistens fallen dabei die Maxima nach 12 Uhr mittags; wiederholt fand ich sie jedoch schon vor 12 Uhr, wenn es z. B. nach Mittag regnete oder der Himmel stark bewölkt war. Die Minima fallen nach meiner Erfahrung gewöhnlich gegen Sonnenaufgang, indem dann das Maximum der Ausstrahlung erreicht ist und die neue Wärmezufuhr anfängt. Wechselt jedoch während der Nacht der Wind oder gibt es viel Regen, so wird diese Zeit verschoben.

Weiter stellte sich aus verschiedenen Messungen heraus, daß auf den Gipfeln die Minimaltemperaturen nicht so niedrig sind als in den Tälern, wo die kalte Luft sich sammelt. Sind Teile dieser Täler mit Holz bewachsen, so ist im Sommer ihre Nachttemperatur höher als jene der nicht bewachsenen Teile. Am Tage werden die meisten von Südwest nach Nordost verlaufenden Täler stärker erwärmt als die Gipfel, während der Birken- oder Eichenbestand durch seinen Schatten niedrigere Temperaturen bedingt:

10. September 1910	Gipfel der Düne	Tal an seinem Fuß	Birkenbestand im Tal
Minimaltemperatur	+ 6 ¹ / ₂	+ 2 ³ / ₄	+ 7
9 Uhr vormittags	+21	+23	+15
11 „ „	+32	+38	+21
12 „ mittags	+37	+52	+32
4 „ nachmittags	+24	+23	+17

Durch die späten Nachtfröste erfriert häufig das junge Eichenlaub in den Tälern, während es auf den Gipfeln unverletzt bleibt. Dieses findet seine Erklärung wohl darin, daß die kalte Luft, welche sich in den Kesseln während der Nacht angesammelt hat, dort hängen bleibt und so die Pflanzen länger beeinflußt. Auf den Gipfeln ist die Luft durch die Sonne schon erwärmt, aber in das Tal dringt die Sonnenwärme erst später vor. Ähnlich verhalten sich die „Frostlöcher“ der großen Waldbestände, in denen die kalte Luft hängen bleibt und es fast unmöglich macht, eine solche Stelle neu zu bewalden.

Es ist eine altbekannte Tatsache, daß der Wind die Bodentemperatur beeinflußt. Erstens führt er stets frische Luft am Boden entlang, zweitens entnimmt er dem Boden das oberflächliche Wasser. Die sorgfältigen Untersuchungen von KRAUS (1911) haben dieses bestätigt. Aus dem Diagramm auf S. 362 ist der Einfluß des Windes auf alle Temperaturen gut bemerkbar. Um diesen Einfluß zu kontrollieren, legte ich am Südsüdostabhang von „Ebbingeduin“ ein Thermometer zwischen kleinen Kräutern,

eines an ähnlicher Stelle am Nordnordwestabhang und stellte ein drittes auf 1,50 m Höhe auf dem Gipfel auf. Einige der erhaltenen Auskünfte seien hier gegeben.

Am 2. April 1910 war bei Nordostwind:

	SSE-Abhang	NNW-Abhang	Luft 1,50 m
Minimaltemperatur:	+ $\frac{1}{2}^{\circ}$	- $\frac{1}{2}^{\circ}$	- $\frac{1}{2}^{\circ}$

An den dem mäßigen Winde offen liegenden Stellen war die Temperatur somit am niedrigsten.

Am 11. April 1910 bei südlichem Winde fand ich dagegen:

	SSE-Abhang	NNW-Abhang	Luft 1,50 m
Minimaltemperatur:	- 4°	0°	- $2\frac{1}{2}^{\circ}$

Es war in der Nacht klares Wetter und der Wind konnte den Nordnordwestabhang nicht so beeinflussen wie den Süd-südostabhang. Am Morgen wurde der Wind kräftiger und obwohl es sehr sonnig war, zeigten um 9 Uhr alle Thermometer dieselben Werte. In derselben Folge wie oben fand ich es um 11 Uhr. Nach 11 Uhr legte der Wind sich und wurde der Unterschied zwischen Nord- und Südabhang deutlich; die Maxima waren 29° , 18° und 15° .

§ 11. Einfluß des Wassers auf die Temperatur des Bodens.

RAMANN (1911) sagt: „Der Einfluß des Wassers auf die Bodentemperatur ist sehr groß....., wasserreiche Böden erreichen bei gleicher Wärmezufuhr weniger hohe Temperaturgrade als wasserarme Böden.“

Daß das Wasser von so großer Bedeutung ist für die Temperaturen des Dünenbodens, werde ich im folgenden beweisen. Das Wasser der Dünensande Hollands stammt nur von den atmosphärischen Niederschlägen her und wird vom Boden kapillar festgehalten. Aufgespeichert, liefert es das Grundwasser und das hieraus kapillar aufsteigende Wasser hält den Boden in beträchtlicher Höhe feucht (nach RAMANN bis etwa 40 cm hoch). Der Grad der Feuchtigkeit hängt von dem Material des Bodens ab und wird sowohl durch seine Porosität bedingt, welche selbst wieder von der Korngröße des Sandes abhängig ist, als durch die Beimischung von Humus oder Feinerde, welche die Porosität stark herabsetzen, während sie die Kapillarität erhöhen. Das Porenvolum der Dünensande ist 35 % (DUBOIS 1909, VUYCK 1898, PENNINK 1904) und die Korngröße liegt im allgemeinen zwischen $\frac{1}{2}$ und $\frac{1}{4}$ mm.

Eine Beimischung von Humus findet auf dichtbewachsenen, wenig exponierten Abhängen und in den Niederungen statt. Am Nordabhang ist sie viel größer als am Südabhang, wo sie durch starke Beleuchtung, Erwärmung, Wassermangel und spärliche Bewachsung fast unterbleibt, während der etwa gebildete Humus durch den Regen mit dem oberflächlichen losen Sande nach unten geschoben wird.

Es gibt also drei Faktoren, welche den Südabhang trockener machen als den Nordabhang: 1. Beleuchtung und Erwärmung durch die Sonne; 2. fast vollständigen Mangel an Humus; 3. spärliche Bewachsung.

Die feuchteren Nordabhänge können infolge ihres Wassergehaltes nicht schnell erwärmt werden, behalten jedoch diese Wärme, wegen der hohen Wärmekapazität des Wassers, lange bei. Die oberflächliche trockene Sandschicht der Südabhänge, welche schnell in Temperatur zunimmt, ist mit Luft gemischt, welche somit die Temperatur des Sandes hat. Hört die Erwärmung durch die Sonne auf, so gibt der Quarzsand bald seine Wärme ab. Die zwischen den Körnern vorhandene Luft ist beweglich, steigt auf und wird durch kältere ersetzt, was die Abkühlung erheblich schneller macht. Die nach Süden exponierten Abhänge werden also größeren Schwankungen ihrer oberflächlichen Temperaturen unterliegen als die nach Norden exponierten.

Ich habe meine Versuche so angestellt, daß ich die oberflächlichen Temperaturen eines bewachsenen Nord- und Südabhanges, welche demselben Dünenrücken angehörten, miteinander verglichen habe. Die Beobachtungsstellen waren beiderseits 3 m vom Kamm gelegen. In der jetzt folgenden Tabelle habe ich neben den Minimis und Maximis der beiden Abhänge auch die Differenzen dieser Zahlen gegeben und diese in zwei nebeneinander stehenden Spalten zusammengebracht.

Datum 1910	NNW-Abhang			SSE-Abhang			Witterung		
	Maximum	Minimum	Differenz	Differenz	Maximum	Minimum	Sonne	Regen	Wind
2. 4.	+16	-2	16½	32½	+33	+½	+	-	NE
3. 4.	+17	-4½	21½	43	+39	-4	+	-	NE
4. 4.	+19	+1½	17½	17	+19½	+2½	{ + - nach 130	{ + vor 12 + nachts	S
5. 4.	+12½	+1½	11	22½	+24	+1½	+	-	SW
6. 4.	+16	+1½	14½	27½	+30	+2½	+	-	NE
7. 4.	+14	+4	10	15½	+21	+5½	+ -	{ morgens 830-915 1230-3 nachts	N
8. 4.	+14½	+3½	11	18½	+22	+3½	+ -	-	NW
9. 4.	+12½	-	?	17½	+16	-1½	-	-	WNW
10. 4.	+17	-2	19	25	+23	-2	+ -	-	NW
11. 4.	+18	0	18	33	+29	-4	+	-	S
12. 4.	+15	-1	16	30½	+29	-1½	+	-	SW

Der größte Unterschied am Südsüdostabhang war am 3. April 1910 43° C, am Nordnordwestabhang nur 21½° C. Weiter waren die Unterschiede am Südsüdostabhang fast immer

doppelt so groß wie die am Nordnordwestabhänge. Wie stark der Regenfall diese Zahlen beeinflussen kann, geht aus den folgenden Beispielen hervor.

Am 4. April 1910 hatte es am Vormittag geregnet und nach 1,30 Uhr gab es Sonnenschein, abwechselnd mit Bewölkung. Auf der nassen Oberfläche des Südsüdostabhanges war die Einwirkung der öfter bedeckten Sonne fast ohne Bedeutung: beide Abhänge zeigten ungefähr dasselbe Maximum von 17 und $17\frac{1}{2}^{\circ}$ C. Am 5. April 1910 hatte es während der Nacht stark geregnet und zeigten demzufolge beide Abhänge gleiche Minima. Am Morgen früh schien die Sonne aber und wehte ein kräftiger Südwestwind. Beide zusammen trockneten schnell den Sand am exponierten Abhänge aus. Demzufolge erreichte dieser ein Maximum von 24° C, während der Nordnordwestabhang nur $12\frac{1}{2}^{\circ}$ C zeigte und die Luft ein Maximum von 14° C erreichte. Der Nordnordwestabhang blieb nicht nur naß, aber empfing auch durch seine Lage nur wenig Sonnenwärme. Den größten Teil seiner Wärme mußte er der Luft entnehmen.

Ein schlagendes Beispiel lieferte die folgende Beobachtungsreihe, in welcher ich die Temperaturen der Luft in einer Höhe von 1,50 m oberhalb eines Rasens und oberhalb eines nackten Sandbodens, welche nur 4 m voneinander entfernt waren, miteinander verglichen habe. Am 4. Oktober 1910 wehte ein kräftiger Westwind und gab es abwechselnd Sonnenschein und Bewölkung. Um 2,45 Uhr trat mit mildem Regen Windstille ein. Die Zahlen dieses Tages waren:

	Luft 1,50 m	Rasen	Nackter Sandboden
Maximaltemperatur . . .	16° C	$24\frac{1}{2}^{\circ}$ C	18° C
5 ³⁰ Sonnenuntergang . . .	$12\frac{1}{2}^{\circ}$ „	$12\frac{1}{2}^{\circ}$ „	12° „
Minimaltemperatur . . .	$12\frac{1}{2}^{\circ}$ „	$12\frac{1}{2}^{\circ}$ „	12° „

Die Maxima des Tages lagen somit zwischen 12 Uhr und 2,45 Uhr. Um 5,33 Uhr beim Sonnenuntergang zeigten die drei Thermometer ungefähr dieselbe Temperatur. Der Regen fiel auch abends und während der Nacht. Die Folge war, daß die Minimaltemperaturen dieselben Ziffern ergaben wie beim Sonnenuntergang. Daß auch der Rasen keiner weiteren Abkühlung unterlag, findet wohl seine Erklärung in der mit Wasserdampf gesättigten, fast unbewegten Atmosphäre, welche fast keine Transpiration und damit auch fast keine Abkühlung zuließ.

Fällt der Regen bei Nordwestwind, was sehr selten und meistens nur von kurzer Dauer ist, so übt er nur auf kurze Zeit einen Einfluß aus, weil dieser Niederschlag durch den meist trockenen Nordwest-Luftstrom fast sofort wieder absorbiert wird. Das folgende Beispiel möge diesen Fall näher erläutern.

Am 20. September 1910 wehte ein Nordwestwind und war es bei heller Sonne kalt und sehr trocken; von 8—9 Uhr fiel plötzlich Regen, welcher jedoch durch den kräftigen Wind und den Sonnenschein sofort trocknete. Um 3 und 4 Uhr fielen wieder kurz nacheinander heftige Regengüsse, deren kaltes Wasser die Temperatur stark herabsetzte. Um 5,50 Uhr bei Sonnenuntergang waren die drei Temperaturen annähernd dieselben. Während der Nacht blieb es trocken, wurde der Wind kräftiger und wurden für diese Jahreszeit auffallend niedrige Temperaturen erreicht. Jene des Rasens sank am tiefsten herab, wegen der starken Transpiration, die in der trockenen bewegten Luft vor sich gehen mußte.

	Luft	Sand	Rasen
20. September 1910:			
9 Uhr	11° C	12° C	9½° C
12 „	13½° „	19° „	23° „
5 „	9½° „	10½° „	10° „
550 „	8° „	7½° „	7° „
21. September:			
Minimaltemperatur . . .	4¾° „	4½° „	1½° „

Am nächsten Tag, 21. September, blieb der Wind Nordwest, war es trocken und zeigte das Hygrometer um 9 Uhr morgens sogar 27½ %. Es war launisches Wetter mit wiederholten kurzen Regengüssen. Um 3 Uhr nachmittags trat Windstille ein bei starker Sonne. Um 5,45 Uhr bei Sonnenuntergang waren die Temperaturen untereinander ungefähr gleich und um 11 Uhr abends waren die Minimaltemperaturen der vorigen Nacht bei vollem Mondschein und Tau schon erreicht. Die Abkühlung ging weiter und die Minima der Nacht waren außerordentlich niedrig.

	Luft	Sand	Rasen
21. September 1910:			
Minimaltemperatur	4¾° C	4½° C	1½° C
9 Uhr	14° „	11° „	19° „
12 „	11½° „	13° „	15° „
Maximaltemperatur	14½° „	14½° „	22° „
5 Uhr	10° „	10½° „	10° „
545 „ Sonnenuntergang . . .	9° „	9½° „	9½° „
11 „ nachts	5° „	4½° „	1½° „
22. September:			
Minimaltemperatur	1½° „	2° „	—2°!! „

Infolge der bis 3 Uhr stark bewegten Luft, der wiederholten Regengüsse und des unterbrochenen Sonnenscheins gehen die Temperaturen über Tag nur sehr wenig auseinander. Im Rasen

fallen sie wieder am tiefsten hinab, indem dieser sogar 2° C Frost aufweist. Wir sehen hier, daß ein Nordwestwind bei klarem Himmel nach Sonnenschein am Tag eine starke Abkühlung, auf dem Rasen selbst Frost hervorruft, während am 4. Oktober, nachdem etwa die gleichen Maxima erreicht waren, bei Westwind und Regen die Minimaltemperaturen sehr hoch waren. Demnach muß der Wassergehalt des Bodens einen sehr großen Einfluß auf die Vegetation ausüben und zusammen mit anderen Faktoren die Verteilung der Pflanzentypen in den Dünen beherrschen. Auf den Dünengipfeln und Abhängen findet man dementsprechend Xerophyten, in den nassen Tälern aber Hygro- und Mesophyten. Auch die verschiedene Bewachsung von Nord- und Südabhang wird vor allem durch das Wasser bestimmt.

Abschnitt IV.

Die Flora der holländischen Dünen.

§ 1. Einfluß der toten Bedeckung auf Boden und Pflanzenwelt.

Der Einfluß einer toten Bodenbedeckung ist in erster Linie abhängig von der Art des deckenden Materials. Je lockerer die Decke, desto größer ist ihr Einfluß. Nach WARMING (1909) wird durch sie 1. die Verdunstung des Bodens stark herabgesetzt, Wasser aufgenommen und die Bodenfeuchtigkeit erhöht; 2. die direkte Bestrahlung durch die Sonne erheblich geschwächt und 3. werden die Temperaturschwankungen des bedeckten Bodens kleiner.

Als Material solcher toten Decken kommen in den Dünen in Betracht: Schnee, Blätter, Gras und Sand. Den ersteren kann ich hier außer Betracht lassen, weil er im Westen der Niederlande sehr selten ist und meist nur kurze Zeit liegen bleibt. Höchstens bricht er die Stämme oder Äste der durch sein Gewicht hinabgebogenen Kiefern und Birken. Viel wichtiger ist die Blätterdecke. Diese findet sich nur in den Dünenkesseln, dort, wo sich ein Eichen- oder ein Birkenbestand entwickelt hat. Ihr Einfluß ist aber in dem Birkengehölz ein ganz anderer als im Eichengehölz. Die Birkenblätter sind sehr zart und zerfallen demgemäß schnell. Die groben Eichenblätter dagegen bleiben sehr lange am Boden liegen, oft auch noch während des nächsten Sommers. Demzufolge häuft sich hier eine dicke lockere Blatterschicht an, während das Licht meistens stark herabgesetzt, die Temperatur dadurch niedrig und die Zersetzung träge ist. Denn die Sonne dringt fast nicht hinein und gleichfalls erreicht der Niederschlag im Sommer der dichten Belaubung wegen fast nie den Boden.

Bei den Birkenbeständen verhält sich die Sache ganz anders. Sie sind immer locker, denn das Laub ist nicht dicht und die Blätterdecke ist nur dünn und von kurzer Dauer. Die Lichtmenge ist eine viel größere, denn die Sonne scheint überall hinein und bestrahlt den Boden, während auch der Regen freien Zutritt hat. Es findet dadurch eine reichliche Humusbildung statt und die

Zahl der den Boden bedeckenden Pflanzen ist groß, was bei den Eichenbeständen nicht der Fall ist. Diese sind wenigstens im Innern sehr arm an Pflanzen. Sobald in den Dünenkesseln so viele Bäume anwesend sind, daß sich eine solche Blattdecke bilden kann, werden die herrschenden Bedingungen durchaus verschieden von denen der eigentlichen Dünen. Es gibt Humus, Schatten, Windschutz usw. Ich habe aber über den Einfluß dieser Decke keine weiteren Untersuchungen gemacht.

Von größerem Interesse ist die Grasdecke, welche im Winter und auch in heißen Sommern auf den bewachsenen Abhängen der Grasdünen und in den trockenen Tälern zu finden ist. Sie besteht aus abgestorbenen Stengeln und Blättern von Arten von *Agropyrum* und *Triticum*, von *Avena flavescens* und *Festuca rubra arenaria*, in großen Mengen aber aus *Calamagrostis Epigeios*. Die Temperatur einer solchen Decke habe ich mit der des unterliegenden Bodens und mit der Lufttemperatur in 1,50 m Höhe verglichen.

In dieser Tabelle (S. 376) habe ich neben jenen Zahlen auch die Witterungsverhältnisse und die Hygrometerzahlen für die Luftschicht am Boden gegeben. Während der Beobachtungszeit gab es Regen, Sonne, Schnee, Sturm, Frost und sehr verschiedene Windrichtungen. Das Hygrometer zeigte fast jeden Tag hohe Werte am Morgen und am Abend, am Mittag dagegen niedrigere. Dieses beweist, daß das Sättigungsdefizit der Luft am Tag am größten, nachts dagegen am kleinsten war. Am 18. Februar hatte es während der Nacht geregnet und gelangte bei Südwestwind durch die Sonnenbestrahlung eine genügende Menge Wasserdampf in die Luft. Das Hygrometer gab bei voller Sonne 85 %. Weiter fand ich, daß der unterliegende Boden die kleinsten Temperaturschwankungen aufwies. Es bewegte sich ihre Temperatur zwischen 0° und 8° C. Diese Ziffern nähern sich denen der Luft, welche jedoch etwas tiefer sinken und zwischen -2° und $+8^{\circ}$ C schwanken.

Die Oberfläche der Decke und diejenige des nackten Bodens zeigen viel größere Differenzen; die erstere zeigte am 12. Februar als niedrigste Temperatur -6° C, als höchste wahrgenommene $+12^{\circ}$ C, während die Zahlen des nackten Bodens bezw. $-7\frac{1}{2}^{\circ}$ C und $+16^{\circ}$ C waren. Letztere Werte schwankten also am stärksten, weniger jene für die Grasdecke, erheblich weniger jene für die atmosphärische Luft, am wenigsten die des bedeckten Bodens. Die Größe der Differenzen ist bezw.: $23\frac{1}{2}^{\circ}$, 18° , 10° und 8° C. Während der Zeit vom 9. bis 14. Februar 1910 konnte ich diese vier Temperaturen miteinander vergleichen und notierte für den nackten Sandboden 4 mal, für die Grasdecke 3 mal, für die Luft 1 mal und für den bedeckten Boden kein einziges Mal Frostziffern.

Sehr schön tritt in diesen Ziffern die schützende Funktion der Decke zutage. Am 12. Februar um 1,30 Uhr nachmittags zeigten Luft und bedeckter Boden eine gleiche Temperatur von $+8^{\circ}$ C, während die Decke $+12^{\circ}$, der nackte Boden $+16^{\circ}$ aufwiesen. Um 5 Uhr beim Sonnenuntergang waren alle Tem-

Datum	Zeit der Aufnahme	Lufttemp. 1,50 m	Grasdecke Oberfläche	Bedeckter Boden	Hygrometer am Boden	Sonne	Regen	Wind	Nackter Boden	
9. 2.	8 ³⁰ Uhr	+4	+3	+1	79	—	—	NNW	+2 ¹ / ₂	
	12 „	+7	+11	+4 ¹ / ₂	54	—	—	—	+12	
10. 2.	8 ³⁰ „	+1	+1 ¹ / ₂	+1	82 ¹ / ₂	—	—	—	+2	
	12 „	+8	+10 ¹ / ₂	+5	55	—	—	—	+12	
11. 2.	Minimum	0	—3	+1	—	+(1 ³⁰)	} feuchter Schnee	SO	—4	
	9 Uhr	0	0	+1	90	—		Sturm	0	
12. 2.	Minimum	+1	+ ¹ / ₂	+2	—	—	—	SO	—1	
	10 Uhr	+8	+10	+6	50	—	—	„	+12	
	1 ³⁰ „	+8	+12	+8	60	+	—	„	+16	
	5 „	+5	+4	+5	90	—	—	„	+4 ¹ / ₂	Sonnen- untergang.
	5 ¹⁰ „	+2	0	+4	80	klar	—	„	+1	
	11 „	+1	—5	+3	—	klar	—	„	—5	
13. 2.	Minimum	—2	—6	+1	—	—	—	„	—7 ¹ / ₂	
	9 ³⁰ Uhr	+5	+2	+1 ¹ / ₂	80	—	—	„	+4	
	1 ³⁰ „	+5	+6	+5	65	±	—	„	+8	
	5 „	+4 ¹ / ₂	+4	+4	78	klar	—	„	+4	Sonnen- untergang.
14. 2.	Minimum	—2	—3	0	—	—	—	„		
	8 ³⁰ Uhr	0	+1	0	70	Sonne	—	„		
	12 „	+5	+9 ¹ / ₂	+3	48	±	—	„		
	4 ³⁰ „	+3	+2	+2	65	—	—	„		
15. 2.	Minimum	0	—3	+1	—	—	Schnee	„		} Von morgens 7 Uhr Schnee mit vielem Wind. Von 12—2 ³⁰ Regen, dann Sonne und Windstille.
	8 Uhr	0	0	+1	90	—	Regen	„		
	4 ³⁰ „	+3	+3	+3	90	+	—	„		
16. 2.	Minimum	0	—1	+1	—	—	+	W		
	8 ³⁰ Uhr	+5	+2 ¹ / ₂	+2	60	+	—	„		
	12 „	+9 ¹ / ₂	+12	+5	54	+	—	„		
	4 „	+4	+2 ¹ / ₂	+4	80	—	+	„		
17. 2.	Minimum	—	+1	+3	—	—	—	SW		
	8 Uhr	—	+7	+5	80	—	+	Sturm		
	4 „	—	+8	+7	75	—	—	„		
18. 2.	Minimum	—	+6 ¹ / ₂	+6	—	—	+	SW		
	9 Uhr	—	+9	+8	80	—	—	„		
	2 ³⁰ „	—	+8 ¹ / ₂	+8 ¹ / ₂	85	±	—	„		
	6 „	—	+6 ¹ / ₂	+7 ¹ / ₂	85	—	—	„		

peraturen fast gleich $\pm 5^{\circ}$ C; die Grasdecke zeigte aber die niedrigste. Um 5,30 Uhr abends sanken alle sehr schnell und war die Decke schon 0° C, während der bedeckte Boden noch $+ 4^{\circ}$ zeigte. Nachts 11 Uhr war der nackte Sand schon bis $- 5^{\circ}$, die Decke bis $- 5^{\circ}$ und die Luft bis $+ 1^{\circ}$ hinabgesunken; der unterliegende Boden zeigte $+ 3^{\circ}$. Die Minimaltemperaturen der Nacht waren: Nackter Boden $- 7\frac{1}{2}^{\circ}$, Grasdecke $- 6^{\circ}$, Luft $- 2^{\circ}$ und bedeckter Boden $+ 1^{\circ}$ C. Die Schwankungen seit Sonnenuntergang waren 12° , 10° , 7° und 4° C.

Unter der Grasdecke fanden sich allerhand Rosettenpflanzen, denen dieser Schutz zugute kam.

Nur starke oder langedauernde Regengüsse können durch diese Decke hindurchdringen und bis zum Boden gelangen. Kleinere Mengen dagegen müssen rasch verdunsten, weil sie auf einer großen Oberfläche ausgebreitet werden.

In dem Sommer von 1911 waren viele Gräser vertrocknet. Ihr abgestorbenes Laub bildete für den Boden einen Schutz gegen die direkte Bestrahlung und Erwärmung. Schon mit der Hand konnte ich einen großen Unterschied in den Temperaturen zwischen dem beschatteten und dem unbedeckten Boden bemerken. Auch der Wind hatte nur einen geringen Einfluß. Aber weil in diesem Jahre die Austrocknung so besonders groß war, lieferten die von mir angestellten vergleichenden Untersuchungen über den Wassergehalt des Bodens keine Resultate.

Daß der Boden unter der Bedeckung feucht bleibt, gilt nicht nur im Winter. Wenn im Sommer auf den Kulturfeldern in den Dünen Bohnenstroh oder Unkraut auf Haufen gebracht wird, ist die Oberfläche der Felder meistens staubtrocken. Solche Haufen halten aber die Verdunstung des Bodens zurück und unter ihnen kann das kapillar aufsteigende Grundwasser den Sand wieder befeuchten. Man sieht dieses, wenn der Haufen entfernt wird, denn dann ist die Oberfläche des unterliegenden Sandes in der Regel naß. Auch wenn Sand von Winden transportiert und angehäuft wird, findet dasselbe statt. Meistens ist der verwehte Sand trocken; aber wenn er einige Zeit liegen bleibt, wird er durch das kapillar aufsteigende Wasser ganz durchfeuchtet und bildet in hydrologischer Hinsicht ein Ganzes mit dem unterliegenden Boden. Am schönsten ist dieses auf dem Strande zu beobachten, wo der frische Sand, welcher zu neuen Dünchen angehäuft wird, noch nicht mit Feinerde vermischt ist. REINKE (1903) hat schon darauf hingewiesen, daß der Strand für die Bildung solcher Dünchen feucht sein muß.

Wie der überschüttete Sand als Wasserspeicherer einzelne Komponenten der bestehenden Flora begünstigt, habe ich einige Male wahrnehmen können. So z. B., als ich am 15. Juli 1911 ein großes *Pteridietum aquilini* in der Nähe von Paardekerkhof bei Noordwykerhout besuchte. Dieses hatte sich auf einem fast ebenen Boden in den alten, kalkarmen Dünen angesiedelt. Der Adlerfarn, *Pteridium aquilinum*, ist als kalkfliehende Pflanze bekannt (BRAUN 1911) und war mir gar häufig als Anzeichen

der alten kalkfreien Dünenlandschaft von großem Werte. In diesem Pteridietum hatten sich der Mangel an Regen und die große Wärme in dieser Pflanzendecke kenntlich gemacht. Wo an der Grenze nur wenige Farne in lockerem Verband standen, waren sie klein geblieben (30—50 cm hoch) und ihre unteren Wedel zeigten verbrannte Ränder, während die oberen sich nicht entwickelt hatten. Der Dünenboden war hier staubtrocken.

Wo der Bestand ein dichter war, waren die Blätter gut entwickelt und die Pflanzen 1 m hoch. Hier hatten sie nicht nur einander geschützt, sondern es war der Boden mit einer 10 cm dicken Farnlaubschicht bedeckt, welche seine Verdunstung jedenfalls stark vermindert hatte. Die Rhizome des Adlerfarns liegen hier 1 m tief und viele Exemplare hatten erst nach den Regengüssen des Juni ausgetrieben. Im Schutz der älteren hatten diese sich schön entwickelt und sie nahmen sich als hellgrüne Flecken im dunklen, einfarbigen Laub aus. Diese Ebene wurde von Westen her von frischem, kalkhaltigem Sand (mit 3,25 % CaCO_3) überschüttet und überall, wo dieses der Fall war, hatten die Farne, ohne irgendwelchen Schutz von anderen Pflanzen, sich stark, bis 2 m hoch, entwickelt und waren ihre Blätter freudiggrün und völlig entfaltet. Offenbar wirkte hier der überschüttete Sand wie eine schützende Decke. Unmittelbar daneben waren die Pteridiumpflanzen von dem kalkliebenden Sanddorn, *Hippophae rhamnoides*, geschützt und wuchsen sie bis 3 m hoch auf, eine Höhe, welche sie sonst nur im dichten Gestrüpp in der Nähe des Wassers erreichen, wie z. B. in Bentveld und in Keukenhof bei Lisse. Somit bietet hier der aufgeschüttete Sand den Pflanzen dieselben Vorteile wie eine reichliche Zufuhr von Wasser.

Von den im Pteridietum wachsenden Pflanzen war *Pteridium* selbst die einzige, welche die Überschüttung ertragen konnte. Seine Rhizome wachsen aber, soweit ich das untersuchen konnte, nicht mit dem überschütteten Sand empor, sondern bleiben in der kalkfreien unteren Sandschicht. Dementsprechend entwickeln die überschütteten Pflanzen sich später als die übrigen. Aus diesem Beispiel ist deutlich zu sehen, wie gering der Gehalt an Kalk ist, welcher das Kohlensäure enthaltende Regenwasser aus dem Dünen sand löst, denn sonst hätte *Pteridium* darauf gewiß reagiert. Jedoch kann es auch sein, daß es nur die physikalischen Verhältnisse waren, welche die Verbreitung des *Pteridiums* veranlaßten. Der Sand der alten Dünen ist durch seinen Gehalt an Feinerde dichter und dadurch viel wasserhaltiger als der frische Sand der neuen Dünen.

Entgegengesetzt wie *Pteridium* verhält sich der Sanddorn. An der holländischen Küste finden wir ihn nur auf den neuen Dünen, aber sobald die Bodenbedeckung an den Abhängen eine dichte wird, verschwindet er, wie auch MASSART (1908) von *Festuca rubra* hervorhebt.

Einen zweiten Fall, in welchem die günstige Wirkung der Überschüttung deutlich zutage trat, beobachtete ich am 8. August 1911 im Dünenal Botgat, nördlich von Callantsoog. Dieses Tal

wird im Westen von neuen Dünen begrenzt, welche stets neuen Sand von der Vordüne empfangen und in das Tal hineinwehen lassen. Im Tal gibt es hier und da Pfützen mit *Chara* und mit vielem *Phragmites communis*, welche jedoch nicht blühte, weder in den Pfützen noch sonst in dem Tal. Überall zeigte sich die Verkümmerng durch die Trockenheit. Wo das Schilfrohr am Dünenfuß stand, wuchs es kräftig empor und auf der unteren Hälfte des Abhanges war es sogar in voller Blüte. Neben der schützenden Funktion des Sandes ist hier natürlich auch der höhere Nährstoffgehalt des neuen Sandes in Rechnung zu bringen.

Übersicht der Entwicklung von Pteridium unter verschiedenen Faktoren.

Faktoren	Entwicklung	Höhe m
Lockerer Stand Lichenendecke Trockener Boden 0,20 m tief Starke Verdunstung des Bodens Kein Schutz	verbrannt	0,30—0,50
Dichter Stand 10 cm Blattdecke Etwas feuchter Boden 0,20 m tief Bodenbeschattung, weniger Verdunstung Gegenseitiger Schutz	gut entwickelt	± 1,00
Dichter Stand Sanddecke 0,30 m Feuchter Boden 0,50 m tief Erheblich weniger Verdunstung Gegenseitiger Schutz	besser entwickelt	± 2,00
Dichter Stand Dickere Sanddecke 0,50 m tief Feuchter Boden 0,70 m tief Verdunstung wie oben Schutz durch Sanddorn und durch gegenseitige Wirkung	besser entwickelt	± 3,00
Dichter Stand Keine Sanddecke Boden auf dem Grundwasserniveau Schutz durch sich selbst und vom Gestrüpp	wie oben	± 3,00

Der neue Dünenrücken verläuft hier Südsüdwest bis Nordnordost. Der Ostabhang liegt für die aufwachsenden Pflanzen darum so günstig, weil er die Leeseite der Düne ist und weil er nur während des halben Tages direkt von der Sonne bestrahlt wird. Auch ist die aufliegende Düne ein Wasserspeicherer, der stets Wasser nach den tieferen Teilen abfließen läßt. Es gab denn auch dem Dünenfuß entlang einen 1 m breiten Streifen, wo der Pflanzenwuchs viel kräftiger war als überall sonst im Tal. Hier standen *Mentha aquatica*, *Galium palustre*, *Samolus Valerandi* in sehr stark entwickelten Exemplaren, während die ganze Ebene nur Zwergformen der letzteren Pflanze, und zwar in Tausenden von Exemplaren aufwies und *Galium* und *Mentha* sich in den Pfützen zu dichten Rasen zusammengedrängt hatten.

An nicht exponierten Abhängen tritt das Wasser ziemlich dicht an die Oberfläche und ist es für die Pflanzen leicht zu erreichen, denn es findet fortwährend ein Nachsickern nach unten und auch nach der Seite statt. Daß die Menge dieses sich bewegenden Wassers nicht unbedeutend ist, kann man am besten dann beobachten, wenn in einem Dünenprofil eine Bank von gepreßtem Torf liegt. Eine solche ist ja sehr wenig durchlässig und das vom Regen herrührende Wasser sammelt sich auf ihr an und fließt an den tiefsten Stellen ab. So wird z. B. bei Overveen ein Bächlein in den Dünen gebildet, daß unmittelbar über der Torfplatte entspringt und auch sonst ist Ähnliches in manchen Sandgruben zu finden.

§ 2. Änderung des Dünenbodens durch Verwitterung.

Auf locker mit *Triticum* bewachsenen Dünen ist von Humusbildung noch recht wenig zu sehen; erstens weil die junge Düne so kalkreich ist und dadurch der Humus sehr leicht zersetzt wird und zweitens, weil der Boden noch sehr porös ist (30—35 %). Diese Porosität erlaubt dem Sauerstoff einzudringen und die Verwesung des Humus zu vervollständigen. Wenn eventuell Humus an der Oberfläche gebildet wird, beschleunigen auch die Sonnenbestrahlung und die höheren Temperaturen seine Zersetzung, während das Regenwasser den noch unzersetzten Humus nach unten mitführt, wo er in der kalkreichen Umgebung schnell zerfällt. Auch die Beweglichkeit der jungen Düne spielt hier eine wichtige Rolle, weil sie wiederholt von frischem Sand überdeckt wird und ihr eigener verwitterter Sand von Zeit zu Zeit abgetragen wird.

Doch findet nach und nach eine Anreicherung statt, welche das Auftreten von Flechten und Moosen ermöglicht, die mit ihren Rhizoiden den Sand festlegen. Sie leiten die graue Düne ein (WARMING 1896, MASSART 1908, REINKE 1903 u. a.) und es entsteht ein Ruhezustand, weil der Boden sich „setzt“ und die obere Schicht allmählich dichter wird. Durch diese Bedeckung unterliegt die Düne jetzt nicht mehr so hohen Temperatur- und Feuchtigkeitsschwankungen und wird dadurch für viele Pflanzen

besser zugänglich. Diese finden auch in dem feuchten Moosteppich ziemlich günstige Keimungsbedingungen.

Die Humusbildung kann nun weiter gehen und die Zersetzung des Rohhumus ist in diesen Dünen noch eine vollständige, weil Kalk und Kali in genügender Menge vorhanden sind, um den Rohhumus ferner zu oxydieren. Wenn dieses Stadium der Ruhe fortdauert, können wir uns denken, daß eine oberflächliche Auslaugung der oberen Bodenschicht eintritt, welche sich zuerst in Kalkarmut äußert. Die Düne wird zur Strauchdüne und der Humus häuft sich mehr und mehr an. Die obere Schicht verdichtet sich stark und es finden sich fast keine Tiere, wie Regenwürmer und Maulwürfe vor, welche sonst die übliche Mischung von Ober- und Untergrund veranlassen. Selbst die feuchten Niederungen haben in ihrem Humus keine Regenwürmer. Bei längerem Anhalten dieses Ruhezustandes und unter günstigen klimatischen Bedingungen, welche eine üppige Flora oder gar eine Bewaldung ermöglichen, wird endlich die Auslaugung soweit gehen, daß fast alle Nährsalze aus der ganzen Schicht über dem Grundwasserniveau verschwinden. Der Kalk hat sich dann im Niveau des Grundwasserspiegels angesammelt, nachdem er in den oberen Schichten des Sandes in den ersten Perioden für die Humuszersetzung gebraucht und später vom CO₂ haltigen Wasser gelöst und mitgeführt worden war. Daher wurden die Muschelschalentrümmer allmählich kleiner, bis sie selbst durch das Sickerwasser nach unten befördert werden konnten.

Wo die nach unten sich bewegende Wassermasse das kapillar aufsteigende Grundwasser begegnet, verringert sich ihre Schnelligkeit dermaßen, daß die kleinen, von der Oberfläche mitgeführten Teilchen abgesetzt werden können. Es verdichtet sich, wie ich schon oben angegeben habe, der Boden in diesem Niveau und später einwandernde gelöste oder mitgeführte Stoffe werden über dieser Schicht festgehalten, wodurch sich der Ortstein ausbildet. Solange das Wasserniveau nicht herabsinkt, bleibt dieser für Wasser ziemlich durchlässig; sobald jedoch Austrocknung eintritt, erhärtet er und es wird eine feste Bank gebildet, welche nachher fast undurchlässig ist. An der Oberfläche der Dünen bilden sich dann Tümpel, welche im Winter Wasser führen, im Sommer aber trocken sind. Dieses rührt daher, daß das Regenwasser im Winter und Herbst nicht abfließen kann, während im Sommer das vorrätige Wasser verdunstet oder von der Vegetation gebraucht wird, ohne daß Zufuhr vom Grundwasser aus erfolgen kann. Diese Erscheinung fand ich nur in den alten Dünen. Liegt in einer Dünengegend über dem Wasserniveau eine Torfbank, so übt diese auf die Wasserverhältnisse denselben Einfluß aus wie der Ortstein.

Mit Hilfe der bisher, sowohl im mineralogischen als im geologischen Abschnitt angeführten Tatsachen, fällt es nicht schwer, die Charaktere des Bodens der beiden Dünenlandschaften festzustellen. Denn wir wissen, daß der Sand für beide dieselbe Herkunft hat. Beide stammen aus der Nordsee deren Boden aus diluvialem Sande besteht, welcher größtenteils vom nordischen

Landeis herrührt, aber mit anderen diluvialen Bodenarten aus dem Gebiete von Rhein und Maas gemischt ist. Wir haben gesehen, daß die mineralogische Zusammensetzung der alten und neuen Sande nur geringe Unterschiede aufweist, und daß ihre Korngröße fast übereinstimmt, obgleich die obere Verwitterungsschicht der alten Düne feinkörniger ist und vom Ortstein bis an die Oberfläche vielen feinen Staub enthält. Die chemische Zusammensetzung des Bodens weicht nur an der Oberfläche ab, nicht in den tieferen Schichten und die Abweichung beschränkt sich fast gänzlich auf den Kalkgehalt.

In den neuen Dünen ist die Verwitterung noch nicht weit fortgeschritten. Sie sind etwa 1000—1500 Jahre alt und dennoch finden wir noch einen hohen Kalkgehalt in ihren oberflächlichen Schichten. Dieses rührt teilweise von der größeren Beweglichkeit der neuen Dünen her, welche durch ihre größere Höhe, ihre größere Porosität und die damit zusammenhängende größere Trockenheit hervorgerufen wird. In den alten Dünen, wo die Verwitterung so energisch tätig war und Jahrhunderte länger dauerte, ist der Kalk ausgelaugt worden und hat sich Ortstein gebildet, während die oberflächliche Schicht feinkörniger geworden ist und Humate sich angehäuft haben. Der feinere Staub und die dunkle Farbe haben die Wärme- und Wasserkapazität stark erhöht. Durch diese letztere Eigenschaft wurde alles Wasser energisch festgehalten und hat in trockenen Zeiten die eigentümliche Nivellierung der alten Dünen stattfinden können, wie wir sie z. B. in Loosduinen, Noordwykerhout und Helder kennen.

Die diluvialen kalkarmen Sande, welche auf dem Lande deponiert wurden, zeigen größere Unterschiede in der Korngröße als unsere Dünensande und dadurch eine kleinere Porosität. Durch nachträgliche Verwitterung ist hier eine Verdichtung der oberen Schicht und eine Auslaugung der tieferen erfolgt, mit Ausbildung von Ortstein und Anhäufung von feinem Material.

Die Sande unserer Heiden stammen aus derselben Zeit und haben dieselbe Herkunft wie die Dünen. Die frischen Dünensande unserer Küste sind jedoch erst vom Meere weiter zerkleinert, ihr Schlamm ist ausgespült worden und Wind und Wellen haben es zu einem Material von sehr gleichmäßiger Korngröße verarbeitet; während Muschelschalen und andere tierische Reste seinen Gehalt an kohlensaurem Kalk erhöht haben. Wenn dieser letztere nun durch Verwitterung ausgelaugt wird und der feine Staub durch die Zerkleinerung der Körner und die Bildung von Humaten zunimmt, wird der Boden, in bezug auf seine physikalischen und chemischen Eigenschaften wieder der oberflächlichen Schicht der Heidesande gleich. Daß auf solchen untereinander gleichen Böden dieselben Pflanzen auftreten, ist nicht zu verwundern.

§ 3. Versuch einer Erklärung der Entstehung der heutigen Flora.

Die oben beschriebenen Klima- und Bodenbedingungen von Niederland finden ihren Ausdruck in der heutigen Flora. Diese wird aber nicht durch ihre Mittelwerte bedingt, sondern durch

ihre Extreme, welche das nicht passende ausgemerzt haben und dieses regelmäßig gelegentlich wiederholen. Stets haben geänderte klimatische Bedingungen aus dem jedesmal vorhandenen Material dasjenige gewählt, was für sie paßte. Diese Auswahl durch Boden und Klima hat DE VRIES (1904) mit der Wirkung eines Siebes verglichen. Bestimmte Elemente der Flora wurden ausgesucht und unter diesen wurde wiederum gewissen Lebensformen die Gelegenheit geboten, sich stärker zu vermehren und die Herrschaft zu erlangen. Deshalb haben wir in einer gegebenen Flora meistens mit einem Rückstand der früheren und mit einem Einwandern neuer Elemente zu tun.

Die Flora von Holland ist ziemlich jung, denn wie im Abschnitt über die Geologie hervorgehoben wurde, ist sie postglazialen Datums. Für die fossile Flora haben wir nicht weiter zurückzugehen als bis zur letzten interglazialen Periode. Niederland besitzt in seinen Hochmooren die schönsten Daten, um über die Geschichte seiner Flora bis auf heute ins Klare zu kommen. Leider hat sich seither niemand palaeobotanisch mit diesen Archiven der Vergangenheit beschäftigt, bis Herr VAN BAREN einen Anfang damit machte. Über die Torfe der Dünengegend ist jedoch bis jetzt noch nicht publiziert worden. Und nur sie allein können uns etwas lehren über die aufeinander folgenden Floren des Dünengebietes.

Die palaeontologischen Funde können uns auch die Wanderung der Arten deutlich machen. SWELLENGREBEL (1905) hat versucht, diese zu skizzieren, ohne jedoch Beweise für seine Behauptungen anzuführen. Mehrere Arten, deren Fossilien in unseren Hochmooren aufgefunden worden sind, sind im Lauf der Zeiten aus der Flora verschwunden, wurden aber später vom Menschen wieder eingeführt, wie *Pinus silvestris* und *Picea alba*, und haben somit ihre heutige Verbreitung dem Menschen zu verdanken.

Aus den geologischen Funden haben wir schließen können, daß seit der Bildung der Nehrung einige trockene und feuchte Perioden miteinander abgewechselt haben. Wie sind die Temperaturverhältnisse dieser Perioden gewesen? Es ist überaus schwierig, oft sogar unmöglich, ohne Kenntnis der Fossilien in dieser Hinsicht etwas Bestimmtes zu sagen. Einige allgemeine Daten lassen sich jedoch hier anführen. So wird angenommen (PENCK 1905, BROCKMANN 1910), daß während der letzten Eiszeit das Klima ein extrem ozeanisches mit vielem Niederschlag war, und daß darauf eine Periode mit geringerem Niederschlag folgte, während welcher sich das Landeis zurückzog. In dieser Zeit müssen die großen Hochmoore im Osten des Landes entstanden sein.

Die „Moorbrücken“, welche im Osten des Landes in den Hochmooren gefunden worden sind, wurden zu einem großen Teil aus Pinusstämmen gemacht. Nun wurde, nach VAN BAREN (1910), dessen Schlüsse mit denen WEBERS übereinstimmen, *Pinus* viel in den unteren Schichten und vor allem in dem Waldtorf angetroffen, während sein Vorkommen viel seltener in dem darauffolgenden *Sphagnum*-Torf ist, weil hier nur Pollenkörner angetroffen wurden. Indem sogenannten Grenztorfe und später fehlen

die Kiefern ganz. Das ist eine trockene Periode gewesen, in der ein Zurückgang der Wälder stattfand und die Fichte einwanderte. Letztere zog sich dann beim Feuchterwerden des Klimas wieder zurück. Daraus können wir schließen, daß die xerotherme Periode, während welcher die Wälder zurückgingen, in historische Zeiten fällt.

Dasselbe gilt, wie wir wissen, von der Bildung der neuen Dünen und der Überschüttung und Verwehung der alten, welche meines Erachtens in einer trockenen Zeit vor sich gingen. Diesen Ereignissen ging eine feuchte Periode mit reichlichem Baumwuchs voran. In den alten überschütteten Tälern fand man beim Graben der Wasserleitungskanäle vielfach große Stämme (VAN EEDEN, STARING 1856). Nach MASSART 1908 war das Haff derzeit mit Heiden und Wäldern bedeckt und bestand die alte Dünenkette noch. Er nennt die folgenden von ihm gefundenen Pflanzen:

<i>Sphagnum</i> div. spec.	<i>Myrica</i> Gale
<i>Polytrichum</i> gracile	<i>Salix</i> repens
<i>Hypnum</i> cuspidatum	<i>Betula</i> alba
<i>Polystichum Thelypteris</i>	<i>Alnus</i> glutinosa
<i>Pinus</i> silvestris	<i>Quercus</i> pedunculata
<i>Scirpus</i> lacustris	<i>Calluna</i> vulgaris.

In Nordfrankreich fand DE BRAY (1873, zitiert von MASSART 1908) Moose, *Juncaceae*, *Typhaceae*, *Equisetaceae*, *Iris*-Samen, *Betula* alba, *Salix* alba, *Crataegus monogyna*, *Corylus Avellana*, *Buxus sempervirens*, *Juglans regia*, *Abies* sp. (?), *Quercus* und *Fraxinus excelsior*. Die von MASSART gefundenen Pflanzen weisen darauf hin, daß sie auf armen Moorböden gewachsen sind.

Durch die Untersuchungen von LORIÉ (1894) wissen wir, daß die Torfe des Haffes am Dünenfuß auskeilen, und also jünger sind als die Dünen. Ob aber die Torfe der östlichen Dünentäler älter oder jünger sind als der Hafftorf, ist noch eine offene Frage. Ich glaube jedoch, daß mit großer Wahrscheinlichkeit vorausgesetzt werden kann, daß die schmälern, nivellierten Täler sich früher mit Torf ausfüllten als das große Haff. In dem ersteren Falle können sie ihre eigene Flora beibehalten haben; im zweiten Falle kann die Haffflora in sie eingewandert sein. Jedenfalls hat ihre Vertorfung in der Ruheperiode der Dünen stark zugenommen. In dem durch die erste Ausbreitung der alten Dünen überschütteten Torfe fand ich: *Betula* spec., *Salix* spec., *Eriophorum*, *Menyanthes trifoliata*, *Phragmites communis* und *Carices*. Diese Flora deutet auf eine Moorbildung, wie wir sie jetzt noch im Osten des Landes finden können.

Nach dieser Ausbreitung kam eine sehr feuchte Periode. Die Vegetation aus den Tälern und aus dem Haffe konnte die Dünen erobern. Alle die Baumarten, welche wir jetzt noch an den Dünenabhängen finden: Birke, Weide, Eiche, Erle, bewaldeten damals die Dünen. Gleichzeitig fand eine starke Auslaugung des Bodens und eine Anhäufung von Humus statt. Die Neubildung von Dünen hatte aufgehört und an ihre Stelle war eine Abnahme getreten. Demzufolge gab es damals vielleicht nur

wenige oder keine weißen, oder Gräserdünen. Durch die Auslaugung des Kalkes konnte die schon auf dem Haffe vorkommende *Calluna* in die Dünen einwandern. Somit gab es damals nur Wald und Heide. Hierin findet vielleicht die Tatsache, daß die Römer von den Dünen nichts erwähnen, ihre Erklärung. Es war nur ein Wald mit unebenem Boden da, der durch seinen hohen Wasserstand fast unzugänglich war. Auf diesem armen Boden bildete sich allmählich viel Rohhumus, der dann die Entstehung von Ortstein veranlaßte, wodurch überall Pfützen in den Dünen entstanden, welche durch das aus dem Haffe herrührende *Sphagnum* bevölkert wurden.

Im Rapport der Heidemaatschappy von 1892 wird die Vermutung geäußert, daß die Meeresdünen in der Römerzeit nicht in der sie heute so scharf kennzeichnenden Form bestanden haben können, und auch VAN DER HULL (1838) meinte, daß in dieser Zeit von eigentlichen Dünen keine Rede sein könne.

Die Unebenheiten des Waldbodens waren voneinander durch Moore — höchstwahrscheinlich Hochmoore — getrennt und bildeten die Wohnstätten der germanischen Stämme. Sie machten nur den Eindruck von Hügeln und der Name Düne hatte auch im Keltischen nur diese Bedeutung (VUYCK 1898). Sie ist von den Römern latinisiert worden, wie z. B. in Lugdunum Batavorum (Leiden). Schon hieraus dürfen wir folgern, daß die Hügel damals schon da waren, wenn auch mit einem anderen Kleide als heute¹⁾.

Ein großer Teil dieser Landschaft ist später vernichtet worden und auch Belgien verlor seine alten Dünen. Vielleicht ist noch ein Rest in dem kalkarmen „Sable à Cardium“ anwesend, der in der Form von kleinen Dünen in der Ebene zerstreut liegt, sowie in den „Heetnollen“ von Nordholland.

¹⁾ Vergleiche CAESAR: de Bello Gallico III, cap. XXVIII, 2: Continentes silvas ac paludes habebant; Ibid VI, cap. V. 4: Perpetuis paludibus silvisque muniti und In silvas paludesque confugiunt.

Vergleiche weiter MASSART 1908, p. 183: Lorsque les Légions de César arrivèrent dans le pays des Ménapiens et des Marins, c'est à dire dans ce qui est maintenant la plaine maritime, elles ne rencontrèrent que des bois et des marais. Il ne fut pas facile d'y poursuivre et d'y réduire à l'obéissance les Ménapiens et les Marins..... STRABON nous a laissé quelques renseignements plus circonstanciés „Les Ménapiens habitent de petites îles dans les marais. Ils avaient là dans les pluies, des refuges assurés; mais en temps sec, on les y prenait aisément.

Es waren somit nur Wald und Moor da und darin wohnten auf Inseln (den bewaldeten Dünen) die Menapier. In den nassen Zeiten — Herbst und Winter vielleicht, wenn es viel regnet und wenig verdunstet — waren die tieferen Teile und die Niederungen, wie vor dem Trockenlegen der Dünen, ganz unter Wasser und konnten die Römer die Einwohner nicht fangen. Im Sommer und Spätfrühling dagegen, mit wenig Regen und viel Verdunstung, waren die Menapier bequem zu erreichen.

Etwa um 1860 waltete ein solcher Zustand auch noch in den Dünen von Bentveld bei Zandvoort ob. Es wurden damals dort sehr viele Wasservögel brütend gefunden und man suchte die Eier auf den Dünenhügeln, die aus dem Wasser hinausragten. — Es sind noch viele Einwohner da wie der Arbeiter D. BARNHOORN und der alte Wirt aus der Wirtschaft „de Haringbuis“, welche damals durch die Dünen auf Schlittschuhen nach Zandvoort liefen. Heutzutage findet man den geschilderten Zustand noch im „Zwanewater“ bei Callantsoog.

In dieser feuchten, warmen Zeit spielte wenigstens im Osten neben Erle, Birke und Pinus, die Eiche die Hauptrolle. Durch Abnahme der Feuchtigkeit wurde dann ein Zugrundegehen der *Sphagneta* eingeleitet. Die Moore deckten sich mit Heide, Wollgras, Lichenen und Renntierflechten. *Picea excelsa* trat auf und die Eichen und Erlen nahmen ab.

Diese trockene Zeit muß ein Herabsinken des Grundwasserstandes und ein Erhärten vieler Ortsteinbänke in den Dünen verursacht haben, demzufolge die Waldbäume sich nicht weiter behaupten konnten. Auch der Mensch half an dieser Vernichtung durch Fällen des Waldes mit. Nur die den physiologisch trockenen Standorten angepaßte Heideflora konnte sich in den im Winter unter Wasser stehenden, im Sommer aber trockenen Pfützen behaupten. Ob die Fichte je unsere Dünengegend erreichte, bleibt eine offene Frage.

Durch diese Entwaldung wurde der Boden stark ausgetrocknet und es begann ein Auswehen der obersten, feinen, staubreichen Schicht. Diese füllte die Niederungen aus und überschüttete stellenweise die Täler, wodurch ein Teil der Flora vernichtet wurde. Einige Pflanzen, wie *Iris Pseudacorus* und *Menyanthes trifoliata* haben sich, wie es scheint, behaupten können. Mit diesem Auswehen der älteren Dünen ging eine Überschüttung durch die jüngeren Hand in Hand. Diese kalkreichen Dünen konnten nun nur wenige Vertreter der alten Dünenflora aufnehmen. Es gibt Pflanzen in der heutigen Flora, welche auf beiden wachsen können, wie: *Achillea millefolium*, *Ammophila arenaria*, *Agrostis vulgaris*, *Arenaria serpyllifolia*, *Carex arenaria*, *Crepis virens*, *Draba verna*, *Erodium cicutarium*, *Galium verum*, *Hieracium Pilosella*, *Hypochoeris radicata*, *Jasione montana*, *Luzula campestris*, *Leontodon autumnalis*, *Myosotis hispida*, *Potentilla reptans*, *Rumex Acetosella*, *Salix repens*, *Sedum acre*, *Vicia angustifolia* usw. Weiter konnte dort, wo die Nehrung mit ihren neuen Dünen sich bei Dünkirchen anlehnte, die Kalkflora von Nordfrankreich einwandern. Dieses geschah im Mittelalter. Die ersten Zeiten großer Abnahme kommen wieder um \pm 1100 vor. Ob dieses wieder mit einem Feuchterwerden des Klimas zusammenhing, wissen wir nicht. Wohl wurde die Dünengegend wieder mehr bewaldet, wie aus historischen Berichten hervorgeht. Im Osten trat die Eiche wieder in den Vordergrund, *Picea excelsa*, wanderte zurück (v. BAREN 1910). Dann entstand die Zuiderzee und damit verschwand ein großer Teil des Hafftorfes. Die übriggebliebenen Teile wurden von Menschen mittels Deichen geschützt und der Boden in Kultur genommen. Die östlichen Dünenrücken wurden als Wohnstätten, die westlichen fast nur für Jagdzwecke benutzt.

In den schwach hügeligen alten Dünen hatte sich eine Ortsteinschicht ausgebildet, welche wenigstens im Winter stellenweise stehendes Wasser bedingte. Demzufolge war die Temperatur des Bodens eine sehr niedrige. Hier konnte nur die xerophytische Heideflora sich behaupten, aber fast keine Bäume (WARMING 1909). So ist die diluviale Flora der holländischen Dünen entstanden. Sie weist nur dort ihre vollständige Entwicklung auf, wo der

Mensch noch wenig eingegriffen hat. So finden wir sie am schönsten ausgeprägt im Swanenwater und bei Bergen, weniger bei Noordwykerhout, Haag und Helder.

Nach obigem können wir uns die Flora der alten Dünen, die sogenannte diluviale Flora allmählich auf natürlichem Wege entstanden denken. Noch heute kann man beobachten, wie die langen Niederungen der neuen Dünen bei Groote Keeten, Callantsoog und Helder durch die Heidevegetation erobert werden. Auf den humusreichen Stellen tritt überall *Erica tetralix* auf.

Hiermit habe ich versucht, den Entwicklungsgang der Flora der niederländischen Dünen zu erklären und die sogenannte „Diluvialflora“ vieler Autoren durch Änderung der klimatischen, und vor allem der edaphischen Bedingungen in ihrer natürlichen Entstehung zu begreifen.

Es ist hier nur die Rede von einer Aufeinanderfolge, wie sie an so vielen Orten auch jetzt noch vor sich geht. Der Boden ist immer veränderlich. Jeder Zustand ist die Vorstufe eines folgenden und mit den Bodenverhältnissen wechselt die Flora.

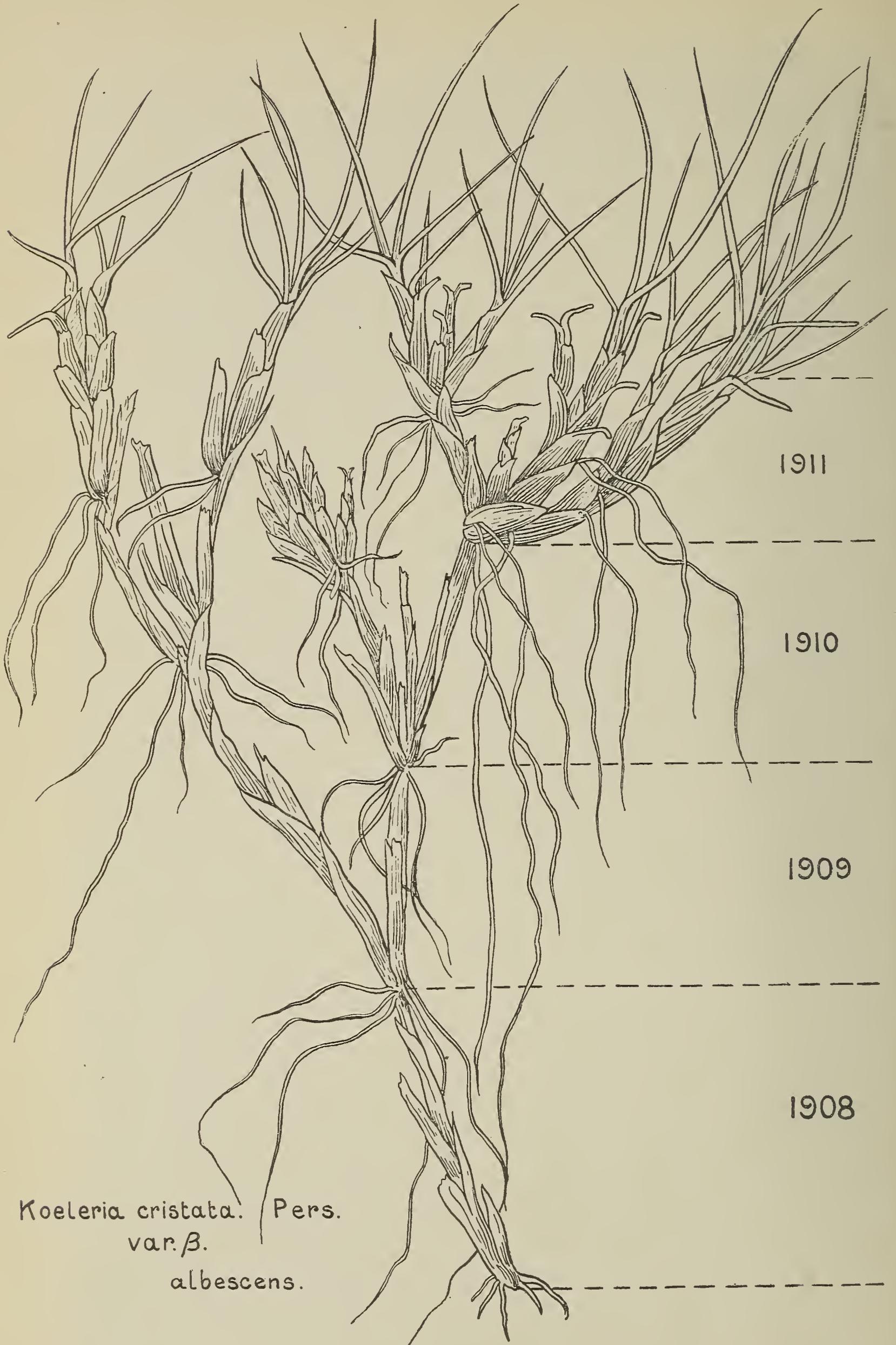
Literatur.

- Badon Ghyben, Nota in verband met de voorgenomen putboring naby Amsterdam. (Tydschr. v. h. Kon. Inst. van Ingenieurs 1888—1889.) 's Gravenhage 1889.
- Baren, J. van, Zur Frage nach der Entwicklung des postglazialen Klimas in den Niederlanden. (Sonderabdr. aus: Die Veränderungen des Klimas seit dem Maximum der letzten Eiszeit; ausgegeben von dem Exekutiv-Komitee des ersten Internationalen Geologen-Kongresses Stockholm 1910.)
- Beekman, A. A., Nederland als polderland. Zutphen 1886.
- Bemmelen, J. M. van, Verslagen van de Kon. Akad. van Wetensch. te Amsterdam. (Wis en Natuurkundige afd. 1909.)
- Blink, H., Nederland en zyne bewoners. Amsterdam 1892.
- De duinen van Nederland en de afname van de Nederlandsche kust. (Tydschr. v. d. Nederlandsche Heidemaatsch. 1895.)
- Blydenstein, A. J., en Brants, L. R., Rapport der Nederl. Heidemaatsch. aan de Regeering over het beplanten van de Nederl. zeeduinen met bosch. Zwolle 1892.
- Bosscha, J., Het Zand-diluvium van Nederland. Leiden 1879.
- Braun, G., Entwicklungsgeschichtliche Studien an europäischen Flachlandküsten und ihren Dünen. Berlin 1911.
- Broekmann-Jerosch, H., Die Änderungen des Klimas seit der letzten Vergletscherung in der Schweiz. (Wissen und Leben 1910.)
- Bruyn, H. E. de, Some consideration on the conclusions arrived at in the meeting of June 27, 1903, entitled: Some facts leading to trace out the motion and the origin of the underground water of our sea-provinces. (Verslagen der Koninkl. Akad. v. Wetenschappen te Amsterdam. Juni 1904.)
- Bruyn, H. E. de, Schotel, J., Kaptein, H. P., Rapport in zake de watervoorziening van Amsterdam. 1905.

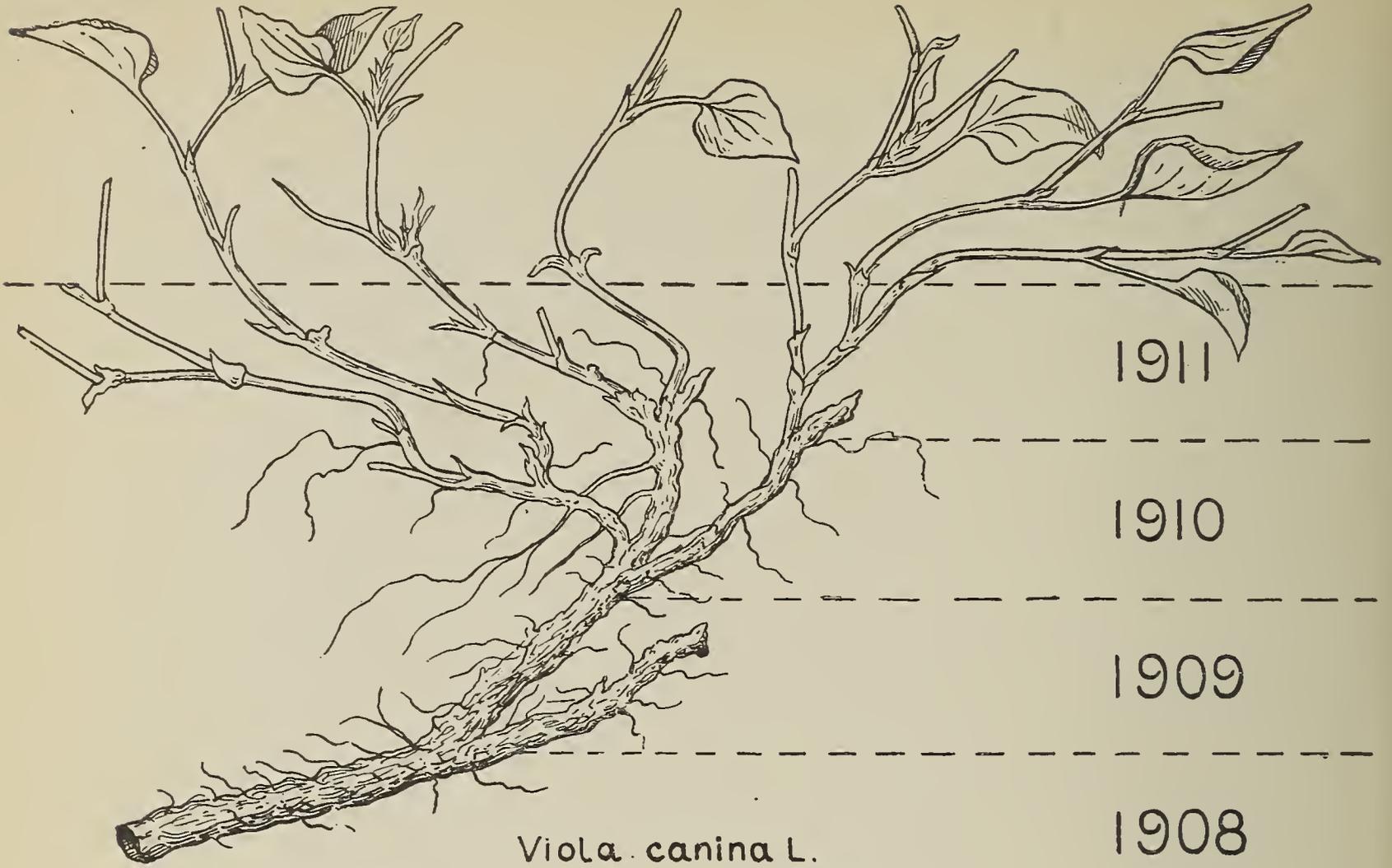
- Bruyne, C. de, Contributions à l'étude phytogéographique de la côte maritime belge. (Bulletin de la Soc. roy. belge de Géographie. 1906.)
- Candolle, A. P. de, Plantae in Dunis repertae in Hollandico meo itinere. (Handschrift, zitiert von L. Vuyck. 1898.)
- idem aus einer anderen Handschrift 1799. (Flore des dunes, zitiert von L. Vuyck. 1898.)
- Delesse, M., Lithologie du Fond des Mers. Paris 1871.
- Dubois, E., Some facts leading to trace out the motion and the origin of the underground water of our sea-provinces. (Versl. d. Kon. Akad. van Wetensch. te Amsterdam. 1903.)
- Over eene veeljarige schommeling van den grondwaterstand in de Hollandsche duinen. (Versl. d. Kon. Akad. van Wetensch. te Amsterdam. 1909.)
- Over het ontstaan van vlakten in het duin. (Tydschr. v. h. Kon. Nederl. Aardr. Gen. 2 de Serie dl. XXVI. 1909.)
- Over duinvalleyen, den vorm der Nederlandsche kustlyen en het ontstaan van laagveen, in verband met bodembewegingen. (Ibidem 1910. 2 e Serie dl. XXVII.)
- De Hollandsche duinen, grondwater en bodemdaling. (Ibid. 2 e Serie dl. XXVIII. 1911.)
- Over den vorm van het grondwatervlak in het duin. (Ibidem 2 e Serie dl. XXVIII. 1911.)
- De Prise d'eau der Haarlemsche Waterleiding. 1909.
- Duval Jouve J., Histotaxie des feuilles des Graminées. (Ann. d. Sc. natur Bot. 6 e Serie. Vol. I. 1875.)
- Eeden, F. W. van, Onkruid. Botanische wandelingen 2 dln. Haarlem 1886.
- In het hart van Kennemerland. (Album der Natuur. 1890.)
- Van Callantsoog tot Sint Pancras. (Album der Natuur. 1893.)
- Eydelein, M. A., en Sasse Azn, J., Opgravingen in het Klein-duin te Katwyk-Binnen. (Oudheidkundige mededeelingen van het Ryksmuseum van Oudheden te Leiden. Deel V. 1910.)
- Früh, J., Die Abbildung der vorherrschenden Winde durch die Pflanzenwelt. (Jahresber. d. geogr. ethn. Ges. in Zürich. 1901.)
- Gerhardt, P., Handbuch des deutschen Dünenbaues. Unter Mitwirkung von J. Abromeit, P. Bock, A. Jentsch. Berlin 1900.
- Gevers, D. F., Verhandeling over het toegankelijk maken van de valleyen langs de kust van Holland. (Verhandelingen van de Maatsch. ter bev. van den landbouw te Amsterdam Dl. XVIII. 1826.)
- Giltay, E., Anatomische Eigentümlichkeiten in Beziehung auf klimatische Umstände. (Nederl. Kruidk. Archief 2 e Serie No. IV. 1886.)
- Girschner, N., Der tönende Sand bei Kolberg. (Petermanns Mitteil. 1859. Heft 3.)
- Gräbner, P., Die Heide Norddeutschlands. Leipzig 1901.
- In „Dünenbuch“, Pflanzenleben auf den Dünen. Stuttgart 1910.
- Hann, J., Atlas der Meteorologie (Berghaus physikalischer Atlas. Abt. III. Gotha 1892).
- Herzberg, Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung. Bd. 44. 1901.
- Hull, W. v. d., Over den oorsprong en de Geschiedenis der Hollandsche duinen. Haarlem 1838.
- Kihlmann, A. O., Pflanzenbiologische Studien aus Russisch Lappland. (Act. Soc. faun. flor. Fenn. VI. 1890.)

- Kops, J., Tegenwoordige Staat der duinen in het voormalig gewest Holland. (Eerste deel van het rapport der Commissie van Superintendentie over het onderzoek der duinen van het voormalig gewest Holland. Leiden 1798.)
- Le Francq van Berckhey, J., Antwoord op de Pryspraak van de Hollandsche Maatsch. v. Wetensch. te Haarlem omtrent duinbeplanting. (Verh. d. Holl. My van Wetensch. Haarlem XIX, 2, 1774.)
- Lehmann, P., Wanderungen und Studien in Deutschlands größten binnelandischem Dünengebiet. (Jahresber. d. geogr. Gesellsch. in Greifswald. X. 1906.)
- Leiningen, W., Graf zu, Bleichsand und Ortstein. (Abh. d. naturh. Ges. Nürnberg. XIX. 1911.)
- Lorié, J., Les dunes intérieures et les tourbières basses et les oscillations du sol. (Archives du Musée Teyler. Serie II Tome III. 1890.)
- Binnenduinen en bodembewegingen. (Tydschr. v. h. Kon. Ned. Aadr. Gen. 1893.)
- De stormvloed van December 1894 en het vraagstuk der schelpenvisschery langs onze kust. (Ibid. Serie II Bd. XIV. 1897.)
- De zandonderzoekingen der laatste jaren. (Ibid. Serie II. Bd. XIV. 1897.)
- Rapport in zake de Watervoorziening van Amsterdam. Bylage XV. 1905.
- Beschouwingen over het Nederlandsch Diluvium. (Tydschr. v. h. Kon. Ned. Aadr. Genootschap. 1887.)
- Wat eenige diepe putboringen ons geleerd hebben. (Ibid. 1891.)
- Massart, J., Essai de géographie botanique des districts littoraux et alluviaux de la Belgique. (Recueil de l'Institut botanique Léo Errera tome VII. 1908.)
- Miller, N. H. J., The amounts of nitrogen as ammonia and as nitric acid and of chlorine in rainwater, collected at Rothamsted. (Journal of Agricultural Science. Vol. I. Part 3. Cambridge 1905.)
- Molengraaff, G. A. F., Verslagen der Koninkl. Akad. v. Wetensch. (Wis en Natuurk. Afd. 1909.)
- Müller, P. E., Zur Theorie der Ortsteinbildung. (Englers Jahrb. XXVII. Beibl. b 3. 1899.)
- Noll, F., Experimentelle Untersuchungen über Windbeschädigung an Pflanzen. (Sitzungsber. der Niederrh. Gesellsch. für Natur- und Heilkunde. 1907.)
- Olsson Seffer, P., Relation of soil and Vegetation on sandy sea-shores. (Bot. gazette XXIX. 1909.)
- Pareau, A. H., Wat de Haagsche Waterleiding ons leert aangaande den hydrologischen toestand der duinen. den Haag 1911.
- Penck, A., Die Entwicklung Europas seit der Tertiärzeit. Résultats scientifiques du Congrès international de Botanique de Vienne en 1905. Jena 1906.
- Pennink, J. M. K., De Prise d'eau der Amsterdamsche Waterleiding. (Tydschr. v. h. Kon. Inst. v. Ingenieurs. 1903/1904.)
- Over de beweging van het grondwater. (Ibidem 1905.)
- Ramaer, J. C., De daling van den bodem van Nederland ten opzichte van den gemiddelden zeewaterspiegel in verband met de waarnemingen betreffende het Amsterdamsch peil. 1907/1908. (Tydschr. v. h. Kon. Inst. v. Ingenieurs.)
- Ramann, E., Bodenkunde. Berlin 1911.

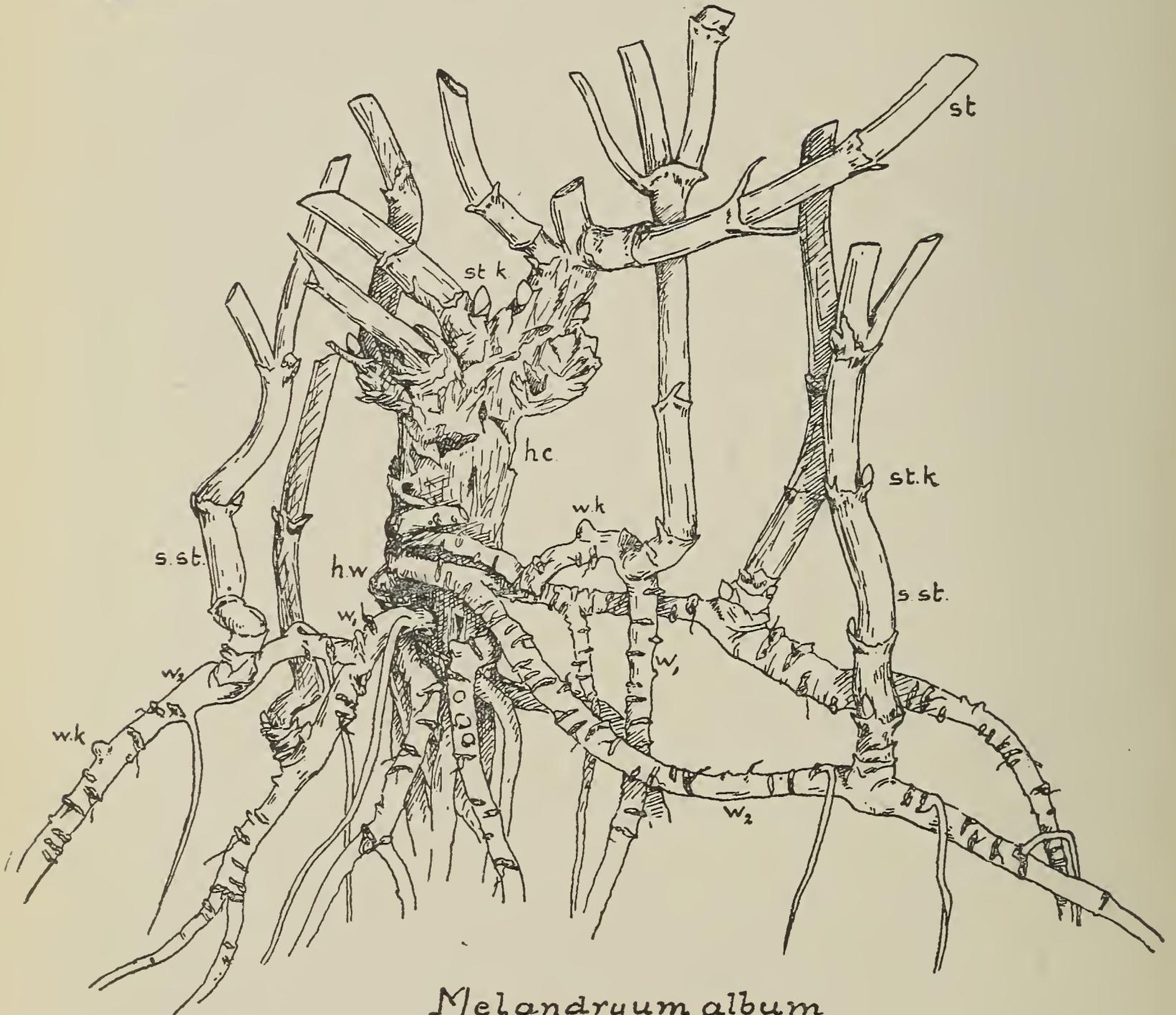
- Raunkiaer, C., Types biologiques pour la géographie botanique. (Bull. Acad. d. Sci. Danemark. 1905.)
- De Danske Blomsterplanters Naturhistorie: Første Bind Enkimbladede. Kjöbenhavn 1895—1899.
- Reinke, J., Botanisch-geologische Streifzüge an den Küsten des Herzogtums Schleswig. (Wissensch. Meeresunt. Neue Folge. Bd. VIII. Ergänzungsheft. Abt. Kiel. Kiel und Leipzig 1903.)
- Retgers, J. W., De samenstelling van het duinzand van Nederland. (Verh. v. d. Kon. Akad. v. Wetensch. Amsterdam. Bd. XXIX. 1891.)
- Über die mineralogische und chemische Zusammensetzung der Dünensande Hollands etc. (Neue Jahrb. für Min., Geol. und Palaeont. Stuttgart. 1895.)
- Romyn, G., Tydschr. v. d. Nederl. Heidemaatsch. 1895.
- Sachs, J. v., Handbuch der Experimentalphysiologie der Pflanzen. 1865.
- Sasse, Azn J., Siehe Evelein und Sasse. 1910.
- Schroeder van der Kolk, J. C. L., Eene mogelyke oorzaak der ongelyke vruchtbaarheid in duinen en geestgronden. (Tydschr. d. Heidemaatsch. 1895.)
- De schelpen en de afname onzer kust. (Tydschr. d. Nederl. Heidemaatsch. 1896.)
- Bydrage tot de Karteering onzer zandgronden I en II. Amsterdam 1895—1897.
- Solger, F., Studien über norddeutsche Inlanddünen. (Forschungen zur deutschen Landes- und Volkskunde. Bd. XIX. Heft 1. Stuttgart 1910.)
- Geologie der Dünen. Aus „Dünenbuch“ (Werden und Wandern der Dünen, Pflanzen- und Tierleben auf den Dünen und Dünenbau von F. Solger; P. Gräbner; J. Thienemann; P. Speiser und F. W. O. Schulze).
- Stahl, E., Über den Einfluß des sonnigen und schattigen Standortes auf die Ausbildung der Laubblätter. (Jenaische Zeitschr. für Naturw. Bd. XVI. 1883.)
- Einige Versuche über Transpiration und Assimilation. (Bot. Zeitung. Jahrg. 52. Heft VI, VII. 1894.)
- Staring, W. C. H., Het dalen van den bodem van Nederland. (Versl. en meded. v. d. Koninkl. Akad. v. Wetenschappen te Amsterdam. 1855.)
- De bodem van Nederland. Haarlem 1856—1860.
- Windvormingen. (Album der Natuur. 1861.)
- Swellingrebel, N., Über niederländische Dünenpflanzen. (Beihefte zum bot. Centralbl. Bd. XVIII. 1905.)
- Tschirch, A., Über einige Beziehungen des anatomischen Baues der Assimilationsorgane auf Klima und Standort mit spezieller Berücksichtigung des Spaltöffnungsapparates. Linnaea XLIII. 1881.
- Beiträge zu der Anatomie und dem Einrollungsmechanismus einiger Grasblätter. (Pringsh. Jahrb. XIII. 1882.)
- Verbeek, Reinier, D., Artesisch duinwater voor Amsterdam en 's Gravenhage. Haarlem 1905.
- Diluviaalwater in onze duinen? de Economist. Jan. en Febr. 1910.
- Volken's, G., Zur Kenntnis der Beziehungen zwischen Standort und anatomischem Bau der Vegetationsorgane. (Jahrb. Kgl. bot. Garten. Berlin III. 1884.)
- Die Flora der ägyptisch-arabischen Wüste. Berlin 1887.
- Vries, Hugo de, Die Mutationstheorie. 1901—1903.
- Plantbreeding. London 1907.



Koeleria cristata. Pers.
var. β .
albescens.



Viola canina L.



Melandryum album

- Vries, Hugo de, Een duinwandeling. (Album der Natuur. 1904.)
— De duinen langs het meer van Michigan. (Album der Natuur. 1907.)
— Duinflora. Onze Tuinen. No. 51. 1910.
Vuyck, L., De plantengroei der duinen. Leiden 1898.
Warming, E., P. E. Muller, nicht E. Ramann hat die Entstehung des Ortsteins entdeckt. (Englers Jahrb. XXI. Beibl. 53. 1896.)
— Lehrbuch der oekologischen Pflanzengeographie. Deutsche Ausgabe. 2. Auflage. Berlin 1902.
— Dansk Plantevaekst I. Strandvegetation. Kjöbenhavn 1906.
— Dansk Plantevaekst II. Klitterne. Kjöbenhavn 1909.
— Oecology of Plants. Oxford 1909.
Waterschoot van der Gracht, W. A. J. M. v., Jaarverslag der Ryksopsporing van delfstoffen. 1910.
Wiesner, J., Photometrische Untersuchungen auf pflanzenphysiologischem Gebiete. (Sitzungsber. der Akad. d. Wissensch. in Wien. Mathem. naturw. Klasse. Bd. 102. 1893.)
— Untersuchungen über den Lichtgenuß der Pflanzen mit Rücksicht auf die Vegetation von Wien, Kairo und Buitenzorg (Java). (Ibidem. Bd. 104. 1895.)
— Der Lichtgenuß der Pflanzen. Leipzig. 1907.
Wintgens, P., Beitrag zu der Hydrologie von Nordholland. (Diss. aus Freiberg. 1911. Kerkrade.)

Erklärung der Tafeln.

Tafel XIV.

- Fig. 1. Karte der Meeresküste von Holland mit Angabe der alten und der neuen Dünen.
„ 2. Geo-hydrologisches Profil der Nordsee bei \pm MP 70 bis Haarlemmermeer bei Heemstede. Nach J. M. K. Pennink, „De Prise d'eau der Amsterdamsche Waterleiding“ 1904. Zusammengestellt aus den Profilen 1, 2 und 3 von Tafel XVII. Schw. d. Sch. = Schwierig durchlässige Schichten.

Tafel XV.

- Fig. 1. *Koeleria cristata*. Wachstum des unterirdischen Stengels unter dem Einflusse der Überschüttung mit Sand während der Jahre 1908—1911. Vgl. S. 100.

Tafel XVI.

- Fig. 1. *Viola canina*. Wachstum des unterirdischen Stengels während der Überschüttung mit Sand in den Jahren 1908—1911.
„ 2. *Melandryum album*. Unterirdischer Stengel mit seinen Verzweigungen.

st = Stengel	hw = Hauptwurzel
st.k = Stengelknospe	wk = Wurzelknospe
h.st = Hauptstengel	w ₁ = Seitenwurzel
h.c. = Hypocotyl	w ₂ = Seitenwurzel.
