

Oekologische Studien über Vegetation der Ōta Dünen.

Von

Yoshiji YOSHII, *Rigakushi.*

Mit 2 Tafeln und 8 Textfiguren.

I. Einleitung.

In mehreren Ländern existieren Dünen in einer grösseren Ausdehnung, wodurch eine bedeutende Erdfläche in unfruchtbarem Zustande verbleibt. Unter denselben sind die Wanderdünen am schlimmsten, weil ihre bewegliche Sandmasse nicht selten den benachbarten Ackerländern und Wohnungen grossen Schaden zufügt. Ziel und Zweck des Dünenbaues liegt daher einerseits in der Nutzbarmachung der Dünen selbst, anderseits in der Beseitigung der zerstörenden Wirkung des Dünenandes. Von diesem Gesichtspunkte aus hat man von früherer Zeit auf die sandbindenden Eigenschaften der auf den Dünen vorkommenden Pflanzen die Aufmerksamkeit gelenkt und versucht, die letzteren gerade im Dünenbau zu verwenden. Das Studium der Dünenpflanzen bildet somit in physiologischer wie biologischer Richtung einen wichtigen und interessanten Teil der Dünenforschung.

In Betreff der Arbeiten über Dünenforschung kommt in erster

Linie GERHALDTS Buch,¹⁾ welches über eine ausführliche Monographie des Dünenbaues handelt, in Betracht. Besonders stellt der darin enthaltene, von ABROMETT bearbeitete Abschnitt, eine eingehende Schilderung der biologischen und anatomischen Verhältnisse der Dünenpflanzen dar. Dieses Buch kann in seiner Gesamtheit als eine ganz hervorragende Leistung betrachtet werden, doch ist es derzeit, wenigstens seine botanischen Teile, bei den klassischen Untersuchungen einzureihen. Die besten, uns bekannt gewordenen Beobachtungen, die von botanischer Seite über Dünenbildung vorliegen, haben wir WARMING²⁾ zu verdanken. Er hat seit 40 Jahren in zahlreichen Abhandlungen die Verbreitung der auf dänischen Dünen vorkommenden Pflanzen und deren oekologische Beziehungen sehr anschaulich geschildert. In der Entwicklungsgeschichte der Dünen gibt REINKE³⁾ eine genaue Darstellung der Neubildung von Dünen. Nach seiner Beobachtung entsteht die entwicklungsfähige Anlage einer Düne auf den nassen, salzreichen Sandfeldern durch Zusammenwirken des Sandes und des Windes mit *Triticum junceum*, und sobald diese *Triticum*-Düne hoch geworden ist, so wird das *Triticum* durch die nicht halophytische *Psamma arenaria* abgelöst. Die dichten und höheren Hügel dieser Pflanze fangen mehr Flugsand und halten ihn fester als *Triticum*.

Andere botanische Angaben über Dünen und Dünenpflanzen erbringt eine Anzahl Forscher, namentlich: GILTAY, COWLES, BUCHNEAU, COCKAYNE, MASSART, OLSSON-SEFFER, SOLGER und JESWIET. Unter oben genannten Autoren behandelt COWLES⁴⁾ die geographi-

1) GERHALDT, J.: Handbuch des deutschen Dünenbaues unter Mitwirkung von ABROMETT, J., BOCK, P. und JENTSCH, A. Berlin, 1900.

2) WARMING, E.: Oecology of plants. Oxford, 1901.

3) REINKE, J.: Botanisch-geologische Streifzüge an den Küsten des Herzogtums Schleswig. Wiss. Meeresunters., Neue Folge, Kiel und Leipzig. 1903, Bd. VIII, S. 39-45.

4) COWLES, H. C.: The ecological relations of the vegetation on the sand dunes of Lake Michigan. Bot. Gaz. 1899, Vol. XXVII.

schen Beziehungen der Dünenpflanzen des Michigansees und die oekologischen Faktoren in ihrer Wirkung. Für die Dünenbildung schreibt er vor allem *Ammophila arundinacea* einen wichtigen Einfluss zu. In Werken über die Flora des nordwestlichen Deutschlands gibt BUCHNEAU¹⁾ die Einwirkung des Windes auf die Pflanzen an. MASSART²⁾ schildert vom phytogeographischen Standpunkte das Sandgebilde von Belgien und dessen Vegetation unter Berichtigung der klimatischen Faktoren. OLSSON-SEFFER³⁾ bespricht besonders die Wirkung hydromechanischer Faktoren auf das Pflanzenleben sandiger Küsten. Er hat Dünen vieler Länder selbst untersucht und machte vergleichende Darstellungen ihrer Vegetation. LIVINGSTONS⁴⁾ Untersuchungen über Wüstenpflanzen der Arizona erbringen auch wichtige Angaben für die Kenntnis der Dünenpflanzen, insofern es sich um die Einwirkung der Bodentrockenheit auf die Pflanzen handelt. JESWIET⁵⁾ weist klimatische Einflüsse auf holländische Dünen, insbesondere Dünenpflanzen, genauer nach.

Unsere Kenntnis über Dünenkunde wurde besonders durch diesbezügliche Forschung in Deutschland gefördert, wo Dünenuntersuchungen seit mehr als 100 Jahren ausgeführt worden sind. Obwohl viele Probleme über Dünen noch ungelöst bleiben, ist es notwendig, eingehend die Biologie der Dünenpflanzen zu studieren und die verschiedenen äusseren Faktoren, die auf die Dünenvegetation einwirken, genauer zu ermitteln.

1) BUCHNEAU, F.: Der Wind und die Flora der ostfriesischen Inseln. Abh. Naturw. Ver. Bremen. 1903, Bd. XVII.

2) MASSART, J.: Essai de géographie botanique des districts littoraux et alluviaux de la Belgique. Recueil. d. l'Inst. bot. Léo Errera. 1908, Bd. VII.

3) OLSSON-SEFFER, P.: Hydrodynamic factors influencing plant-life on sandy sea-shores. New phyt. 1909, Vol. VIII.

4) LIVINGSTON, B. E.: The relation of desert plants to soil moisture and to evaporation. Carnegie Inst. Washington. 1906, No. 1.

5) JESWIET, J.: Die Entwicklungsgeschichte der Flora der holländischen Dünen. Beih. z. bot. Cent. 1913, Bd. XXX.

In Japan finden sich Wanderdünen bedeutender Ausdehnung am Meeresstrand vor, besonders in den Provinzen Satzuma, Hitachi, Echigo, Izumo etc. An derartigen Stellen wurde der Dünenbau schon von alters her versucht, ohne aber zum nennenswerten Ergebnisse geführt zu haben.

Für den Dünenbau ist die Dünenforschung absolut unentbehrlich, besonders müssen wir gründliche Untersuchungen über die Lebensweise der Sandbindepflanzen und die möglichste Ausnutzung ihrer biologischen Eigenschaften ausführen. Obwohl wir aus den bisher in fremden Ländern gemachten Untersuchungen über Dünenpflanzen für unseren Fall wichtige Lehren ziehen können, ist doch der Eigentümlichkeit des Klimas und der Flora wegen ein besonderes Studium erforderlich. Mit der Absicht, einen Beitrag zur einheimischen Dünenforschung zu liefern, habe ich vorliegende Arbeit im Laufe des akademischen Jahres 1915–1916 im botanischen Institut zu Tokyo ausgeführt, um vor allem die sandbindende Eigenschaft der Dünenpflanzen, unter Berücksichtigung der Vermehrungsfähigkeit, zu untersuchen.

Meinem hochverehrten Lehrer Herrn Prof. Dr. MIYOSHI, der mich zur vorliegenden Arbeit anregte, sowie für seine vielfache Belehrung und Unterstützung, spreche ich an dieser Stelle meinen verbindlichsten Dank aus. Ebenso bin ich Herrn Prof. Dr. SHIBATA für seine freundlichen Ratschläge und Herrn Assistenten Dr. HIBINO für seine Beihilfe zu grossem Dank verbunden.

II. Allgemeine Eigenschaften der Dünenpflanzen.

Dünensand besteht grossenteils aus Quarz, doch kommen an den Küstendünen auch Kochsalz und Kalk in gemischtem Zustande vor.

Von den äusseren Einflüssen, die auf die Lebensweise der Dünenpflanzen einwirken, ist die Bodenfeuchtigkeit von grosser Wichtigkeit. Im allgemeinen ist der Wassergehalt des Sandes gering, und der Sand trocknet sehr schnell aus, während dessen obere Schichten von der Sonne stark erwärmt werden. Dadurch wird die Verdunstung aus den darunter liegenden Schichten gehemmt, und es bleibt infolgedessen wenige Dezimeter unter der Oberfläche immer kühl und feucht. Dieses Verhältnis ist zum richtigen Verständnis der Dünenpflanzen von grösster Bedeutung¹⁾.

Von den anderen äusseren Faktoren spielen die Wärme, der Wind, das Licht und die Niederschläge eine grosse Rolle.

Die Wichtigkeit des Wärmeeinflusses liegt vorzüglich in der grossen Erwärmungsfähigkeit des Sandes, jedoch übt nicht die hohe Temperatur solch grosse Wirkung auf die Dünenpflanzen aus, sondern insbesondere der bedeutende Temperaturwechsel am Tage und bei Nacht²⁾. Ausserdem hat die Wärme indirekte Bedeutung dadurch, dass das Sättigungsdefizit der Luft und die Transpiration der Pflanzen von ihrer Höhe abhängen.

Die Wirkung des Windes äussert sich in den Dünen, wo er über grosse Flächen ohne Hindernis hinwegwehen kann. Da die Dünen einen leicht ausgetrockneten Flugsand besitzen, so wirkt der mit Sandkörnern beladene Wind auf die Pflanzen schädigend ein. Der Hauptschaden aber ist der, dass die Blätter infolge allzustarker

1) Um solche eigentliche Erscheinung im Sande zu erklären, giebt es einige Ansichten; eine von alters her übernommene ist die Theorie der Kapillarität des Sandes. OLSSON-SEFFER (1909. l. c. p. 39) zeigte in seinen genaueren Versuchen, dass die durch Kapillarität erzeugte Wassersteigerung aus dem Grundwasser viel zu gering ist, um diese Erscheinung zu erklären, und führte sie auf die innere Taubildung im Sande zurück.

2) OLSSON-SEFFER zeigt im September einen Lufttemperaturwechsel auf einer Höhe von 25 cm. über dem Boden zwischen Tag und Nacht von 25.6°C.

Transpiration austrocknen und verdorren. Daher muss darauf Rücksicht genommen werden, dass die Dünenpflanzen gegen den Wind geschützt sind.

Ich will hier auf die anderen Faktoren nicht näher eingehen. Wie jedoch aus der Literatur ersichtlich ist, haben viele Forscher hervorgehoben und deutlich auseinandergesetzt, dass in den Dünen fast alle Bedingungen nur eine allzu gefährliche Verdunstung hervorrufen, und dass demgemäss sämtliche charakteristische Bauorgane der Dünenpflanzen eine Hemmung gegen diesen Übelstand bedeuten. Es unterliegt keinem Zweifel, dass die Meerstrandpflanzen insbesondere gegen Verdunstung spezifische Struktur haben, doch ist es sehr fraglich, ob dies bei allen Dünenpflanzen der Fall ist.

Bei der Dünenforschung zieht man in manchen Fällen nur die Stranddünen in Betracht, und deren Pflanzen werden ohne weiters als echte Dünenpflanzen angesehen. Demgemäss werden die Eigenschaften der auf den Stranddünen wachsenden Xerophyten¹⁾ oder Halophyten²⁾ für die der allgemeinen Dünenpflanzen gehalten. Fast alle Forscher sind sogar dahingekommen, darauf hinzuweisen, dass die Dünenpflanzen nichts anders als Xerophyten sind. Jedenfalls ist es aber nicht zulässig, diese beiden Pflanzentypen in einer gemeinschaftlichen Rubrik unterzubringen.

Es scheint mir, dass die allgemeinen Dünenpflanzen nicht

1) Hier zeigt der Begriff „Xerophyten“ xerophyte Anpassungen, z. B. wie JOST (Vorles. über Pflanzenphysiologie. 3. Aufl. Jena, 1913 S. 61.) definiert: „Die Pflanzen trockener Standorte, die Einschränkungen in der Transpiration aufweisen, nennt man Xerophyten“; siehe auch WARMING, E.: 1909, p. 235.

2) Halophyten sind natürlich eine Form der Xerophyten, und zwar definierte WARMING (l. c. p. 219): „This arrangement (the very close arrangement between Halophytes und Xerophytes) exists because salt in the soil renders it physiologically dry; a Halophyte, in fact is one form of Xerophyte.“

Querschnittsdicke der Blattgewebe.
in mm.

Gewebe	vom Meeresstrand	von den Öta Dünen
Epidermis (Oberfläche)	0.06	0.03
Pallisadenparenchym	0.24	0.14
Schwammparenchym	0.37	0.29
Epidermis (Rückseite)	0.04	0.03
Gesamt	0.71	0.49

immer halophytische oder xerophytische Eigenschaften besitzen¹⁾.

Um dies zu erfahren, verglich ich zuerst die Strukturen der Blätter derselben Arten (*Lactuca repens*), die sich sowohl am Strande, wie auf den inneren Dünen, befinden²⁾. Es tritt hierbei in Bezug auf die Blattstruktur sofort zu Tage, dass die Pflanzen der inneren Dünen nicht

bedeutend xerophytische Struktur, wie diejenigen der Stranddünen, besitzen.

Die bisher fast immer bei den Dünenpflanzen charakteristisch nachgewiesenen Strukturen sind meiner Ansicht nach eher auf die Strukturen der Halophyten oder zum mindesten auf diejenigen der Xerophyten zurückzuführen, und daher können wir nicht ein gemeinschaftliches Merkmal bei den Dünenpflanzen in ihren oberirdischen Organen finden. Die Dünenpflanzen, wie ich nachher erwähnen werde, dürfen jedoch auch in die Xerophyten eingereiht werden, wenn wir den Begriff nach KAMERLING annehmen. Er nennt nämlich solche Pflanzen Xerophyten, welche für ihre normale Lebensvorrichtungen verhältnismässig wenig Wasser brauchen, und

1) KEARNEY, T. H. (Are plants of sea beaches and dunes true halophytes? Bot. Gaz. 1904, Vol. XXXVII, p. 436.) veröffentlichte im Jahre 1904 zuerst, dass die Dünenpflanzen nicht immer Halophyten seien, und schloss seine Mitteilungen mit folgenden Worten „all these conditions (strong wind, intense light etc., such causes excessive transpiration) of the environment are common as well to the sandy beaches of great freshwater lakes, so that it is in no way remarkable, from an ecological point of view, that such typical sea coast plants, for example as *Ammophila arenaria*, *Calcili americana*, *Lathyrus maritimus* and *Euphorbia polygonifolia* are likewise found on the shore of Lake Michigan.“

2) Annäherndes Ergebnis wie auch bei *Calystegia Soldanella* wohl bestätigt.

welche infolgedessen sehr widerstandsfähig gegen Transpiration sind¹⁾. Wenn wir uns an diese Definition anschliessen sollen, müssen wir jedoch nicht nur die oberirdischen Organe, von denen KAMERLING spricht, sondern auch die unterirdischen in Betracht ziehen. Es soll hierbei nur erwähnt werden, dass die oberirdischen Teile, deren eigentümliche Bauart bisher als wichtiges Merkmal der Dünenpflanzen betrachtet wurde, im wesentlichen für das Kriterium von Dünenpflanzen wenig Wert haben, und dass deren Struktur vielmehr eine spezifische Eigenschaft der Xerophyten oder der Halophyten ist.

Wenn wir in oberirdischen Organen der allgemeinen Dünenpflanzen auch fast keine besonderen Merkmale vorfinden, so müssen wir doch solche in anderen Organen suchen.

Unter den vielen Eigenschaften ist besonders die Widerstandsfähigkeit gegen Sandüberstäubung und Trockenheit der Dünenpflanzen in Bezug auf ihre unterirdischen Organe als ein sehr wichtiges Merkmal der allgemeinen Dünenpflanzen hervorzuheben. Ich möchte darum solche Pflanzen Dünenpflanzen nennen, welche auf dem Sande aufwachsen und der Trockenheit und der Sandüberstäubung widerstehen können.

III. Geographische Verhältnisse der Ōta Dünen.

Wo der Toné Fluss in den Stillen Ozean fliesst, ragt eine Landspitze ins Meer hinein. Zwischen diesem Flusse und der Kashimasee²⁾ findet sich ein ausgedehntes sandiges Land vor, auf

1) KAMERLING, Z.: Welche Pflanzen sollen wir „Xerophyten“ nennen? Flora, 1914, Bd. 106, S. 444.

2) Ein Teil des Stillen Ozeans.

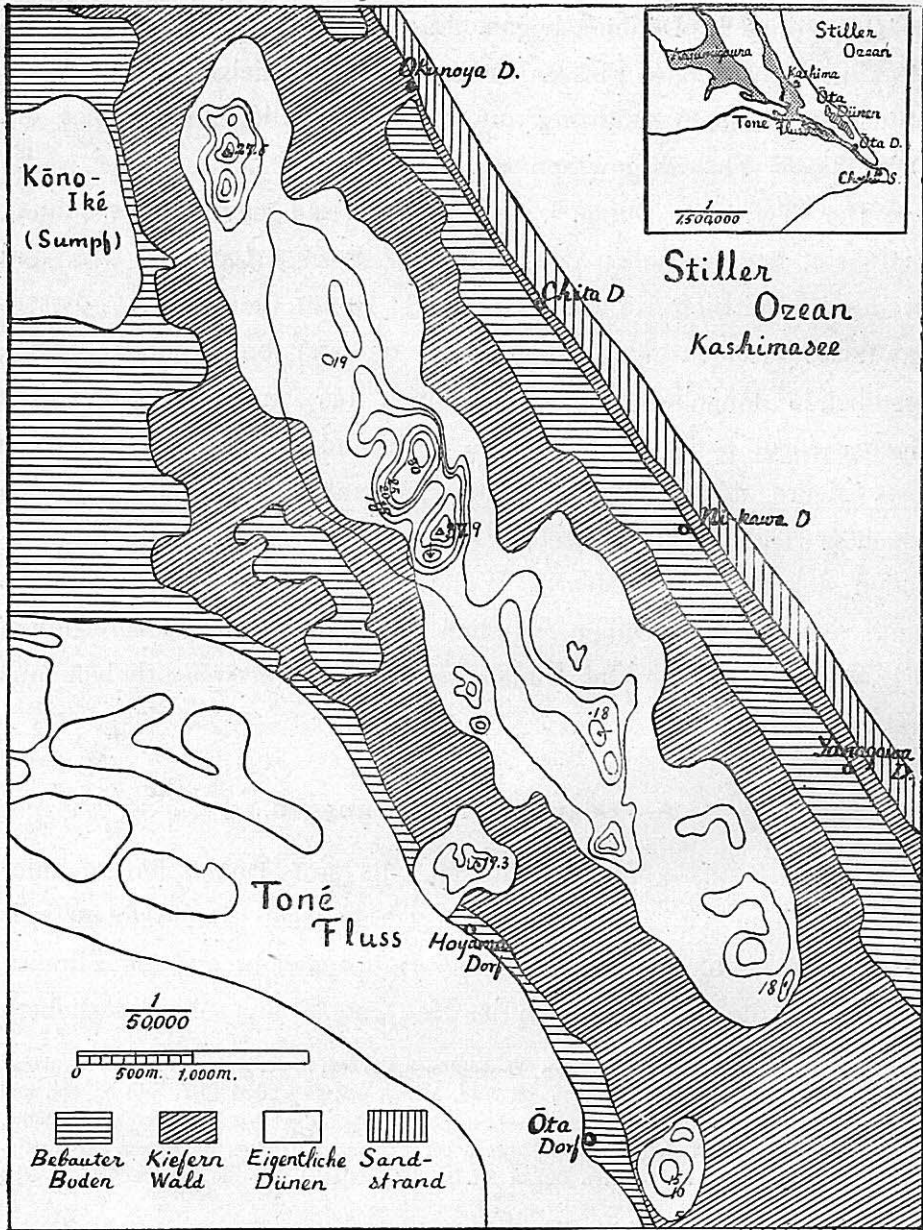


Fig. 1.—Karte der Ōta Dünen nach geographischer Verbreitung der Dünenpflanzen.

Höhenkurven in Metern.

Massstab. 1:50,000

welchem die Ōta Dünen¹⁾ liegen. Es ist wahrscheinlich, dass die Mündung des Toné Flusses früher noch nördlicher lag als jetzt; somit taucht die Vermutung auf, dass das vorliegende Gebiet ein Delta dieses Flusses gewesen sei.

Der Teil der Dünen²⁾, wo ich die vorliegende Untersuchung ausführte, liegt zwischen dem Kōnoiké³⁾ Sumpf und Dorf Ōta, und ist durchschnittlich 1.5 km. breit und 10 km. lang. Auf diesem Sandfelde erheben sich hier und da aus beweglichem Sande bestehende Hügelketten, deren Höhen bis zu 40 m. über dem Meeresspiegel reichen. Jede Seite des Landstriches ist vom Flusse resp. Meere durch Kiefernwälder getrennt, nur ein im Westen liegender Teil liegt unmittelbar am Flusse. Nach Osten hin befinden sich längs des Meeres Walldünen. Das Sandgebiet besteht somit aus zweierlei Dünen, nämlich Flussdünen⁴⁾ und Meeresdünen (Fig. 1 und 2). Die Ōta Dünen setzen sich im wesentlichen aus ersteren zusammen.

A. Edaphische Bedingungen.

Von den äusseren Bedingungen, die auf Dünenpflanzen einwirken, sehen einige Autoren die edaphischen Bedingungen als entscheidend an, andere legen das Hauptgewicht auf die klimatischen. Da die Sandkörner in der Hauptmasse aus schwer löslichem

1) Die Ōta Dünen sind die grössten Wanderdünen, die sich in der Nähe von Tokyo befinden; ich bin fünfmal dort gewesen, nämlich im Juni, August und Dezember 1915, und im Mai und August 1916, wo ich Beobachtungen und Versuche über die darauf wachsenden Pflanzen anstellte.

Ich hatte auch Gelegenheit, die Stranddünen bei Ichinomiya, Onjiku, Kugenuma und Kamakura zu betrachten, und aus letzteren Dünen wurde das Material für die Laboratriumversuche hauptsächlich gesammelt.

2) In der Geologie wird oft der Begriff „Dünen“ auf sichtbare, sandige Hügel beschränkt, ich verstehe hier jedoch unter Dünen das ganze sandige Feld.

3) Ein einziger grosser Sumpf im vorliegenden Sandfelde, dessen Umfang über 6 km. beträgt.

4) Der Begriff „Flussdünen“ und „Meeresdünen“ ist ein genetischer; bei Vornahme einer ortographischen Trennung ist es deshalb besser, von Binnendünen gegenüber äusseren Dünen zu sprechen.

Quarz bestehen, kann man sich nicht vorstellen, dass bei den Dünen die edaphischen Bedingungen eine so wichtige Rolle spielen sollen, wie die klimatischen.

1. Kalkgehalt.

Dass die Verbreitung der Dünenpflanzen vom Kalkgehalt des Bodens abhängig ist, hat JESWIEST¹⁾ berichtet. Dies ist aber bei den Öta Dünen nicht der Fall, da der dortige Sandboden arm an Kalk ist.

2. Kochsalzgehalt.

Der Kochsalzgehalt des Sandbodens in den besprochenen Dünen ist gering. Die Analyse von Grundwasser²⁾ zeigt einen Kochsalzgehalt von 4.96 mg. pro L. Man kann nicht annehmen, dass ein derartig geringer Kochsalzgehalt im Grundwasser eine nennenswerte Wirkung auf die Dünenpflanzen ausüben kann.

3. Korngrösse.

Die Erkenntnis der Korngrösse ist von grosser Wichtigkeit, da die Korngrösse des Dünenandes unmittelbar zu der Zerstreuung des Sandes in Beziehung steht, und die Sandkörner wegen ihres verschiedenen Wassergehaltes unmittelbar auf die Ver-

TABELLE I.
Korngrösse des Dünenandes.

Herkunft des Sandes	Tiefe in cm.	Korngrösse in mm. auf %			
		<0.1	0.1-0.3	0.3-0.5	0.5<
Muster A von dem Abhang einer niedrigen Erhöhung im Sandfelde	Oberfl.	4	62	24	10
	20	4	42	25	29
	50	6	51	22	21
	100	7	62	20	11
Muster B von dem Gipfel eines Hügels etwa 20 m. Höhe	Oberfl.	9	62	19	10
	20	8	62	20	10
	50	5	64	23	8

1) JESWIET, J.: 1913. I. c S. 271.

2) Das Wasser wurde aus einem Brunnen geschöpft, der in der Mitte des Dünenfeldes, 1 km. von dem Tone Fluss und 3 km. von der Kashimasee entfernt ist.

breitung der Dünenpflanzen einwirken können. Auf vorhergehender Tabelle I gebe ich die Grösse der an zwei Stellen entnommenen Sandkörner.

Wie aus dieser Tabelle ersichtlich ist, schwankt der grösste Teil der Sandkörner zwischen 0.3 und 0.1 mm. Durchmesser.

Das Muster A zeigt, dass sich auf der Oberfläche grösstenteils feinere Körner vorfinden. In der Tiefe von 20 cm. nehmen die gröberen Körner zu, aber dann nehmen sie wieder je nach der Tiefe ab, während die feineren zunehmen. Aus dem Muster B erkennen wir, dass der Höhenrand der Dünenkette ganz aus feinen Körnern besteht. Hieraus ersieht man, dass die feineren Sandkörner, von der ausgetrockneten Schicht her, gegen den Höhenrand geweht werden, während die gröberen nach und nach an den niederen Stellen zurückbleiben.

Die Farbe des Sandes in den Ōta Dünen ist bräunlichrot wegen des reichlichen Eisengehalts.

B. Klimatische Bedingungen.

Das klimatische Verhältnis der Ōta Dünen ist mit der nahe liegenden Stadt Chōshi annähernd gleich. Folgende Tabelle ist ein Auszug aus den meteorologischen Beobachtungen der Station Chōshi¹⁾.

TABELLE II.

Resultate der meteorologischen Beobachtungen für das
Lustrum 1906–1910 für Chōshi.

1) Die meteorologische Station Chōshi liegt an der Mündung des Tone Flusses, auf Lat. N 35°44', Long. E. 140° 0', im Südosten ca. 12 km. von den Ōta Dünen entfernt. Siehe Fig. 1. S. 9.

Monat	Atm. Temp. °C			Feuchtigkeit (Durchschnittl.) Mittlere	Regen in mm.	Zahl der Tage					Wind m/s	
	Monat Mittlere	Mittlere				Klar	Trüb	Sonnen- los	Sturm- Wind	Frost	Mittlere Geschw. i. 24h.	Richtung d. vor- herrsch. Windes
		Max.	Min.									
Jan.	5.6	9.3	1.8	70	117.7	7	10	7	15	13	6.8	S
Feb.	4.5	8.2	0.8	63	85.1	7	8	4	13	12	6.2	WNW
März	7.4	10.8	4.0	72	171.8	4	15	7	19	7	7.2	SE
April	12.7	15.8	9.4	78	125.6	4	13	6	15	1	7.2	SSW
Mai	16.2	19.1	13.3	82	119.4	3	14	5	14	0	6.7	SE
Juni	19.0	21.6	16.7	88	174.1	1	18	7	11	0	5.9	SW
Juli	22.1	24.7	20.1	90	151.0	2	16	6	10	0	6.1	SSW
Aug.	24.5	27.0	22.4	88	172.6	3	10	2	10	0	6.4	SSE
Sept.	21.4	23.6	19.3	84	225.9	1	16	9	15	0	7.2	NNE
Oct.	17.3	19.9	14.5	78	230.4	3	14	8	17	0	6.7	NNE
Nov.	12.5	15.9	8.8	72	110.0	6	9	6	14	3	6.0	SSE
Dez.	7.1	11.4	2.7	66	53.8	10	4	2	11	14	5.1	SSW
Jahres	14.3	17.3	11.2	77	1737.4	51	147	69	164	50	6.4	S

Da die Öta Dünen zwischen Meer und Fluss liegen, herrscht ein Küstenklima vor, das sich durch verhältnismässig kühlen Sommer, milden Winter und grosse Luftfeuchtigkeit kennzeichnet.

Die Niederschläge sind besonders im Herbst gross und der Winter ist in der Regel trocken. Während aller Jahreszeiten wehen vorherrschend Südwinde, welche im dürrenden Winter die Trockenheit erhöhen und den Sand als Staubwolken weit befördern. Es giebt öfters Frost im Winter, aber selten Schnee.

Das Wachsen der Dünenpflanzen kann erst gegen Ende März vor sich gehen, wenn die mittlere Tageswärme schon auf ungefähr 10°C zu steigen vermag. Schon Anfang April bedecken sich die *Carex*-Arten mit Blüten, aber die anderen Gräser und Kräuter blühen erst im Frühsommer, und gegen Ende Juni erreicht die

Blüte ihren Höhepunkt. Nach der Regenzeit¹⁾ im Frühsommer kann die Hitze in den Dünen bereits ziemlich stark werden, aber selbst im Hochsommer können viele Dünenpflanzen die Hitze gut ertragen. Diese Periode dauert zwei Monate, während welcher die Früchte mancher Dünenpflanzen schon reif werden und ihre Entwicklungsfähigkeit allmählich abnimmt. Hierauf folgen im September und October gewöhnlich Regenfälle, wobei sich niedrig liegende Landflächen mit Regenwasser anfüllen. Schliesslich tritt eine kalte Dürreperiode ein. Dadurch gehen alle oberirdischen Teile der Dünenpflanzen zu Grunde, und der Flugsand fängt sich zu bewegen an.

Da sämtliche klimatischen Verhältnisse immer grossen Einfluss auf die Eigentümlichkeit der Dünenvegetation ausüben, werden dieselben nachstehend einzeln und abgesondert kurz behandelt :

1. Wind.

In diesem ungeschützten Sandfelde wehen häufige und heftige Winde das ganze Jahr hindurch, aber wie man aus der Tab. II ersieht, herrschen hauptsächlich Südwinde vor, welche nicht nur am häufigsten, sondern im Winter zugleich auch am heftigsten wehen. Die Wirkung solcher Winde äussert sich dort in den einseitig wachsenden gedrehten Zweigen von vielen Sträuchern, besonders von *Juniperus rigida*. Gemäss der vorherrschenden Winde laufen viele langen Reihen gürtelartiger Dünenketten von Nordwest nach Südost. Deshalb befindet sich die Windseite der Dünen nach dem Toné Fluss zu. Diese Ausdehnung der Dünenkette ist für die Dünentopographie und demgemäss für die Verbreitung der Dünenpflanzen von grosser Wichtigkeit. Bekannterweise werden selbst von mittelstarkem Winde grosse Sandmengen in die Höhe

1) Die Regenzeit beginnt in Japan Anfang Juni und dauert ungefähr einen Monat lang.

gehoben und weiter befördert. Nach Sokolows¹⁾ Versuchen über das Verhältnis der Windstärke und Korngrösse, ist erstere in den Ōta Dünen vollkommen genug, ungefähr 70% der Sandkörner von einem Dünengipfel abzuwehen, wie aus Tab. I (S. 11) and II (S. 13) hervorgeht:

2. Regen und Bodenfeuchtigkeit.

Der monatliche Durchschnitt der Regenmenge in Chōshi für den Zeitraum von 10 Jahren ist wie folgt:

TABELLE III²⁾.

Regenmenge für das Lustrum 1901–1910 für Chōshi.

Jahre	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	Mai	Jun.	Juli	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dez.	Gesamt
1901	93	71	119	162	125	157	231	55	115	324	60	67	1579
1902	48	43	147	96	248	142	192	258	171	127	146	214	1832
1903	214	136	195	201	138	107	243	27	157	429	208	67	2117
1904	22	107	208	142	133	49	50	212	169	305	48	101	1516
1905	95	64	133	234	125	215	85	222	88	157	94	129	1641
1906	57	211	107	59	48	107	345	63	282	196	140	27	1725
1907	130	11	112	147	115	183	75	130	132	200	222	46	1508
1908	60	59	278	188	171	235	159	248	159	100	30	133	1920
1909	184	68	268	143	152	187	76	61	277	376	65	16	1597
1910	158	76	94	91	110	159	101	352	279	249	94	48	1938
Mittl.	106	85	166	146	136	154	156	164	183	193	110	85	1740

Die grösste Menge des Regens fällt in den Monaten September

1) Sokolows giebt folgende Tabelle für das Verhältnis zwischen Windstärke und Grösse der weggewehten Sandkörner:

Windstärke m/s	Korngrösse in mm.
4.5— 6.7	0.25
6.7— 8.4	0.50
9.8 — 11.4	1.00

(Zt. JESWIET, 1913, l. c. S. 332.)

2) Die Tabellen II und III entnahm ich aus den Jahresberichten der Zentrale des Meteorologischen Observatoriums zu Tokyo.

und October. Zu dieser Zeit sind die auf dem niedrigen Dünenfelde wachsenden Pflanzen, z. B. *Carex pumila*, ganz unter Wasser. Dagegen sind die Niederschläge von November bis Februar weniger, und die Bodenfeuchtigkeit ist daher in dieser Jahreszeit nicht ausreichend. Das ist eine Ursache, warum die Ōta Dünen im Winter beweglich werden. Ferner können wir aus obiger Tab. III sehen, dass die plötzliche Zunahme des Regens im März, zusammen mit der aufsteigenden Wärme, die Keimung oder Entfaltung der Dünenpflanzen fördert.

Betreffs der Bodenfeuchtigkeit ist es zuerst eine wichtige Frage, wie tief das Grundwasserniveau in den Dünen liegt. Nach gelegentlichen Beobachtungen, die ich bei einem Brunnen¹⁾ gemacht habe, war die jährliche Schwankung des Wasserniveaus zwischen 2–4 m. Tiefe. Obwohl die Wassersteigung durch Kapillarität gering ist²⁾, scheint es mir, dass ein derartig seichtes Grundwasserniveau als Wasserspeicher für die darauf liegende Sandmasse dienen kann.

Der Wassergehalt des Sandbodens in der trockenen Zeit³⁾, wie ich untersuchte, war folgendes :

Tiefe in cm.	Wassergehalt in %
Oberfl.	1.0
20	5.7
50	5.8
100	6.3

Aus dieser Tabelle sieht man, dass die Oberfläche des Bodens leicht ausgetrocknet ist, die darunter liegenden Schichten jedoch

1) Betreffs dieses Brunnens erklärte ich in der Fussnote auf S. 11.

2) WARMING (1909, l. c. p. 59. cf. auch S. 5 in vorliegender Arbeit) zeigte, dass das Vermögen des Sandes, aus dem Untergrunde Wasser aufzusaugen, in der Regel sehr gering ist, das Wasser in der Regel höchstens $\frac{1}{2}$ m. gehoben wird.

3) Am 23 Dez. 1915, nach einigen andauernd schönen Tagen. Am Abhange eines kleinen Hügels.

schon in der Tiefe von 20 cm., selbst in der trockenen Zeit, noch immer nass sind.

3. Wärme und Bodentemperatur.

Wie aus Tab. II. klar ersichtlich ist, sinkt die Temperatur im Februar am meisten, doch fällt die mittlere Temperatur nicht unter 4.5° C.

Da für das Pflanzenleben in den Dünen die Erwärmung des Bodens eine grosse Rolle spielt, machte ich diesbezügliche Beobachtungen, die ich hier folgen lasse: Am 14. August 1915, 10 Uhr vorm., war die Temperatur der Sandoberfläche 63° C, während die Lufttemperatur $\frac{1}{3}$ m. über dem Boden 42° C zeigte. Am 23. Dezember, 10 Uhr vorm., war die Bodentemperatur in verschiedenen Tiefen, bei einer Temperatur der Bodenoberfläche von 10° C, wie folgt:

20 cm. Tiefe	9.5° C.
50 „ „	10.5° C.
100 „ „	12° C.

Die durch Sonnenschein hervorgerufenen Temperaturveränderungen zeigten am 28. April 1916 folgende Schwankungen:

Nachmittags	Bodenoberfläche	In der Tiefe von 10 cm.
2 Uhr	41° C.	26° C.
4 „	31° C.	26° C.
5 „	30.5° C.	25.5° C.

Dieser Versuch zeigt, wie stark in den Dünen die Temperatur der Bodenoberfläche von der Sonnenbeleuchtung abhängig ist.

IV. Verbreitung der Dünenpflanzen auf den Ōta Dünen.

WARMING¹⁾ teilt die Dünen von Jütland in drei Vereinsklassen

1) WARMING, E.: 1909, l. c. p. 263-268. Vgl. auch SCHWELLENGEBEL, N.: Über niederländische Dünenpflanzen. Beih. z. bot. Cent. 1905, Bd. XVIII, S. 184.

ein: Sandstrand, worauf psammophile Halophyten vegetieren; weisse Dünen, worauf nur solche Pflanzen zu wachsen vermögen, welche eine Sandüberstäubung vertragen können und graue Dünen, worauf auch weniger widerstandsfähige Pflanzen gedeihen können. Wir können auch bei den Ōta Dünen (Fig. 1 und 2) ungefähr diese drei Arten wiederfinden. Die Walddünen längs der Kashimasee kommen den ersteren gleich, doch der grösste Teil der

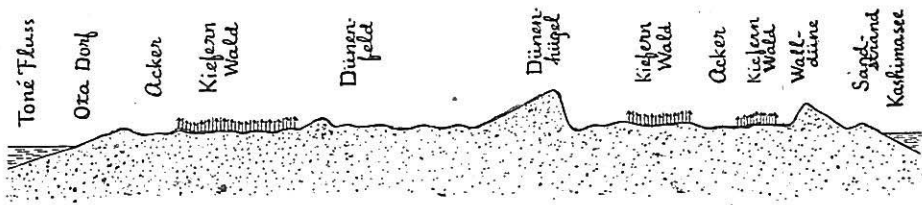


Fig. 2.—Querprofil der Ōta Dünen (etwas schematisch) Vgl. Fig. 1.

Ōta Dünen gehört zu den grauen Dünen, die eher als Dünenfeld oder Sandfeld anzusehen sind, und auf welchen bewegliche weisse Dünen hier und da zerstreut liegen. Dazu möchte ich noch eine vierte Klasse, nämlich Walddünen, hinzusetzen.

A. Geographische Verbreitung der Dünenflora.

1. Vegetation des Sandstrandes.

Längs dem Stillen Ozean laufen liniare Stranddünen, die durchschnittlich 300 oder 400 m. von der Küste entfernt sind. Zwischen den Dünen und dem Strand treten stellenweise niedrige Vordünen hervor (Taf. I, Fig. 4).

Auf der Sandfläche, welche von den Meereswellen bespült wird, mangelt es an Vegetation. Weiter zurück gelegen, sieht man zuerst psammophile Halophyten, dann folgen Psammophyten auf

dem von Wogen nicht mehr gespülten Sandstrand. Dort ist der Boden noch etwas salzhaltig, und es herrschen überaus heftige Winde vor; daher finden wir halophytische oder xerophytische Pflanzen, die mit Einrichtungen versehen sind, welche zur Hemmung grosser Verdunstung dienen. *Wedelia prostrata* kommt auf den seewärts abfallenden Abhängen der Vordünen vor, wo sich Sanderhöhlungen bilden. Diese Pflanze kriecht am Sandboden durch die mächtig entwickelten oberirdischen Ausläufer vorwärts. Sie ist eine in diesem Gebiete typische psammophile Halophyte. Merkwürdig ist es, dass sie sich nicht nach dem inneren Sandfelde verbreitet, obwohl sie in kultiviertem Zustande auch auf kochsalzfreiem Sandboden wohl gedeihen kann. Ferner kommen mehrjährige Kräuter mit kriechenden Rhizomen vor: *Carex macrocephala*, *C. pumila*, *Phellopterus littoralis* und *Lactuca repens*. Diese Kräuter, wie unten erwähnt, sind die Hauptpflanzen, die man stets in den betreffenden Dünen trifft. Die Formationen von *Vitex trifolia* var. *obata* und von *Tournefortia sibirica* sind in dieser Zone beschränkt. *Elymus arenarius*, *Atriplex tatarica*, stellenweise *Lippia nodiflora* und *Arabis Stelleri* var. *japonica* wachsen in diesem Gebiete. An den vom Meer entfernten, etwas befestigten Stellen finden wir *Lathylus maritimus*, *Calystegia Soldanella*, *Artemisia annua*, *Oenothera odorata*, *Viola Patrinii* var. *chinensis*, *Lotus corniculatus* etc., und besonders haben *Imperata arundinacea* den Boden fast ganz bedeckt.

2. Vegetation der Walddünen.

Diese Klasse findet sich an den beiden Rändern des Sandfeldes vor. Die grösseren Teile sind schon mit Kiefern (*Pinus Thunbergii*) bepflanzt und haben sich in schönen Wald verwandelt (Taf. I, Fig. 1). Viele Binnenlandpflanzen haben sich hier angesiedelt. Am häufigsten kommt unter diesen Walddünen *Imperata arundi-*

nacea vor, deren unterirdische Rhizome anderen Waldpflanzen durch Befestigung des Sandbodens als Gerüst dienen. Im Zusammenhang mit obigem Gras bemerken wir Moose. Es sind zweierlei Moose: *Racomitrium canescens* und *Polystrichum commune*. Während das erstere auf ausgetrockneten, beleuchteten Stellen wuchert, wächst das letztere auf den durch Kiefern beschatteten Plätzen. Diese Moose, besonders das erstere, sind für die Befestigung des Sandbodens von Wichtigkeit. Ein bedeutendes Gewächs in diesen Walddünen ist *Rosa Luciae*, die durch ihre mächtig entwickelten, kriechenden Stämme öfters den 20 m. breiten Boden bedeckt. *Oenothera odorata* gedeiht auch hier gut und andere im Sandfelde vorkommenden Pflanzen, wie z. B. *Juniperus rigida*, *Elæagnus fragrans*, *Calystegia Soldanella*, *Artemisia annua* etc. gesellen sich zu den oben beschriebenen Pflanzen. Als Vertreter vieler Ansiedler der Binnenlandspflanzen heben wir besonders *Panicum sanguinale* und *Erigeron linifolius* hervor.

3. Vegetation der weissen Dünen.

Da die eigentlichen Ōta Dünen als weisse Dünen und Dünenfeld bestehen, so wollen wir sie hier näher betrachten.

B. Topographische Verbreitung der Dünenflora.

Nach ihrer topographischen Verbreitung können wir die Dünenpflanzen auf weissen Dünen und Dünenfeld in drei Kategorien einteilen:

1. Pflanzen, die hauptsächlich am Gipfel des Sandhügels vorkommen. 2. Pflanzen, die auf niederem Felde wachsen. 3. Pflanzen, die auf dem übrigen flachen Felde vegetieren. Ich möchte hier nach diesen drei verschiedenen Kategorien sowohl die klimatischen Verhältnisse, wie die Flora jedes Vereins, beschreiben.

1. Der Gipfel des Sandhügels.

Wie ich schon erwähnte, laufen zerstreut von Süden nach Norden viele weisse Dünenketten in ausgedehntem Sandfelde. Der Gipfel dieser Dünen besteht aus Flugsand, der wegen der starken Isolation leicht ausgetrocknet und durch heftige Winde weggeblasen wird; daher ist die Vegetation der weissen Dünen sehr karg und arm. Stellenweise sind diese Sandhügel ohne jedwede Vegetation und bleiben kahl. Auf den Gipfeln gedeihen nur derartige Pflanzen, die starke Verdunstung und Sandüberstäubung ertragen und überdies durch Rhizome an jeder begünstigten Stelle spriessen können. *Carex macrocephala* ist die einzige Pflanze, die solche ungünstigen Bedingungen erfüllt. Sie ist daher als erster Ansiedler beweglicher Dünen anzusehen. Durch ihre verbreiteten Erdstengel stellt sie die bedeutendste Formation auf fast jedem Gipfel der Dünen dar (Taf. II, Fig. 8). Diese Formation wird allmählich durch *Phellopterus littoralis* verdrängt und auf verschiedene Stellen zerstreut. Die Windseite der Dünen entbehrt in der Regel jedweder Vegetation, aber die Leeseite ist mit *Carex macrocephala* und *Phellopterus littoralis* bewachsen und öfters findet sich sogar andere Vegetation vor.

2. Das niedere Feld.

Das zu der zweiten Kategorie gehörende, tiefer gelegene und feuchte Dünenfeld findet sich nicht nur zwischen den Kuppen jeder Düne als Sandmulde, sondern solche niederen Stellen kommen auch auf dem ausgedehnten Dünenfelde zerstreut vor; bei grossen Niederschlägen verwandeln sie sich in einen Teich oder in einen Fluss (Taf. I, Fig. 3); dabei bildet sich eine Humusschicht auf dem Sande, welche eine grosse Rolle als Nährboden spielt. Derartiger Boden erhält sich selbst im heissen Sommer längere Zeit feucht. Die an solchen Stellen wachsenden Pflanzen müssen daher sowohl eine trockene wie eine nasse Zeit ertragen können. *Carex pumila*

ist als typisches Gewächs hierfür anzusehen. Es vermehrt sich durch Rhizome und bildet eine verbreitete Formation (Taf. II, Fig. 7). *Ischæmum muticum*, *Phellopterus littoralis*, öfters *Calystegia Soldanella* und *Lactuca repens* können auch an diesen niederen Stellen gedeihen.

Wir haben auch hier stellenweise sog. Dünenkessel, deren Boden immer ganz durchnässt ist, und wo daher solche hydrophilen Pflanzen, wie *Utricularia affinis*, *Lycopus lucidus* var. *hirtus*, *Mitrasacme alsinoides*, *Pemphis acidula* etc. gut fortkommen.

3. Das flache Sandfeld.

Die Ōta Dünen stellen zum grössten Teil ausgedehnte Sandflächen dar. Deshalb finden sich hier die meisten Dünenpflanzen. *Ischæmum anthephoroides* und *Phellopterus littoralis* sind hier von grosser Bedeutung. Während die erstere Pflanze in Halmbüscheln dicht wächst, steht die letztere vereinzelt. Die Sandkörner fangen sich hinter den *Ischæmum*-pflanzen, deren jede einen kleinen Sandhügel bildet. Ich sah dieselben jedoch niemals grösser werden, um sie als Dünenanlage betrachten zu können¹⁾, doch dient dieses Gras als wichtige sandverbindende Pflanze. *Ischæmum anthephoroides* und *I. muticum* finden sich öfters auf niederem Felde, niemals aber auf dem Gipfel eines Hügels, während *Phellopterus littoralis* überall auf den Dünen verbreitet ist. Diesen Pflanzen folgen zwei kriechende Pflanzen *Lactuca repens* und *Calystegia Soldanella* (Taf. I, Fig. 2).

Am Rande des Sandfeldes, welches einen Übergang von welligem Dünenfelde zu befestigtem bildet, finden sich *Pinus Thunbergii* und *Juniperus rigida*, letztere ein der Sandüberstäubung gut widerstehender Strauch, ferner *Linaria japonica*, *Fimbristylis sericea* und *Artemisia annua* in Gemeinschaft mit den oben erwähnten

1) REINKE nennt solchen Sandhügel, welches ein niemals grösser werdender Hügel ist, „Sandpolster“; er unterschied „Sandpolster“ von „Horst“, welcher eine Anlage von Dünen bedeutet

Pflanzen. Diese verschiedenen Pflanzen zusammen bilden öfters einen niedrigen, befestigten Sandhügel.

Zwischen Dünenfeld und Walddünen liegt eine ganz befestigte Zone, wo die Pflanzen wenig Gefahr laufen, mit Sand überschüttet zu werden. *Juniperus rigida* und *Pinus Thunbergii* sind hier die bedeutendsten Pflanzen. Während die erstere sich durch kriechende Zweige ausdehnt, vermehrt sich die letztere durch viele Keimlinge. *Elæagnus fragrans* stellenweise *Salix purpurea* subsp. *eupurpurea* var. *sericea* sind weniger bedeutende Sträucher. Die auf den Walddünen überwiegende *Imperata arundinacea* und die ihr zugehörten Pflanzen gedeihen hier auch gut.

Im Anschluss an dieses Kapitel möchte ich auf auffallende Sandhügel im Sandfelde aufmerksam machen. Wie Fig. 5 und 6 (Taf. I) zeigen, stehen diese kugel- und halbkreisförmigen Sandhügel stellenweise im weit ausgedehnten Sandfelde. Sie lassen sich durch ihre Componenten in zwei ganz verschiedene Typen einteilen:

Der eine erhebt sich kugelförmig in der Mitte des Feldes und besteht aus dunkelgrünen Sträuchern von *Juniperus rigida*. Dieser Hügel ist ca 2 m. in Höhe und 2–3 m. in Breite und ist gewöhnlich nur mit *Juniperus rigida* bedeckt, selten aber mit *Calystegia Soldanella* und *Linaria japonica* an seinem Abhang bewachsen. Der andere halbkreisförmige Hügel wird durch *Elæagnus fragrans* gebildet und befindet sich meist auf etwas befestigtem Dünenfelde. Dieser Sandhügel ist grösser als der vorherige, und seine Breite erreicht 6 m. oder darüber, und die Höhe 2–3 m. Seine Componenten sind nicht so einfach wie die des *Juniperus*-Hügels, da *Elæagnus*-pflanzen durch seine dicht ausgewachsenen Sprösslinge zunächst einen schirmartigen Schutz gegen das Eindringen allzustarken Lichtes bildet. In solchem Busch gedeihen daher sogar

die Binnenlandgewächse, wie z. B. *Erigeron linifolius*, die trotz ihrer grossen Vermehrungsfähigkeit nie in beweglichen Dünen wachsen.

Ausser diesen Sträuchern sehen wir in diesem Dünenfelde drei Gewächse vereinzelt oder zusammen wachsen, namentlich *Pinus Thunbergii*, *Sarix purpurea* var. und *Alnus japonica*.

Zusammenfassung.

1. Nach der geographischen Verbreitung der Dünenpflanzen werden die Ōta Dünen in vier Vereinsklassen eingeteilt: Sandstrand, weisse Dünen, Sandfeld und Walddünen.

2. Der Sandstrand liegt längs der Kashimasee im Stillen Ozean. Die psammophilen Halophyten und Psammophyten sind hier vertreten. Von den ersteren ist *Wedelia prostrata* am auffallendsten, andere eigentümliche Pflanzen sind *Ischaemum anthephoroides*, *Phellopterus littoralis*, *Carex macrocephala*, *C. pumila* etc.

3. Die mit Kiefern (*Pinus Thunbergii*) bewachsenen Walddünen befinden sich in der Umgebung des Sandfeldes. Ein Teil dieses Waldes ist schon bebaut. Daher haben sich viele Binnenlandgewächse dort angesiedelt.

4. Weisse Dünen und Sandfelder (Dünenfelder) sind die wesentlichen Bestandteile der Ōta Dünen. Echte Psammophyten überwiegen hier.

5. Diese beiden Vereinsklassen sind auch in drei Kategorien einzuteilen, nämlich in die Gipfel der Dünenhügel, das niedrige Sandfeld und das flache Sandfeld.

6. *Carex macrocephala* bildet fast die einzige Formation auf dem Gipfel des Sandhügels, und zwar ist sie der erste Ansiedler auf den beweglichen Dünen. *Phellopterus littoralis* gesellt sich ihr stellenweise bei.

7. Auf niedriger, feuchter Fläche ist *Carex pumila* vor-

herrschend, *Ischæmum antheboroides*, *I. muticum* und *Phellopterus littoralis* sind nicht selten.

8. Die Ōta Dünen bestehen grösstenteils aus flachem Sandfelde. Hier kommen viele Psammophyten vor. *Phellopterus littoralis* und *Ischæmum antheboroides* sind zwei wichtige Pflanzen. *Lactuca repens* und *Calystegia Soldanella* kommen an nächster, und *Ischæmum muticum*, *Artemisia annua* und *Fimbristylis sericea* an dritter Stelle.

9. Die Sandhügel des Dünenfeldes sind von zweierlei Typen; der erste wird durch *Juniperus rigida* und der zweite durch *Elæagnus fragrans* gebildet. Beide sind in den Ōta Dünen vorherrschend.

V. Art und Weise der Vermehrung der Dünenpflanzen.

Mit Ausnahme einiger einjähriger Gewächse, können die Dünenpflanzen von Ōta durch Rhizome oder Wurzeln viele Jahre hindurch bestehen, wenn auch ihre oberirdischen Teile im Winter zu Grunde gehen. Diese Kenntnis ist wichtig, wenn man Versuche über die Vermehrungsweise der Dünenpflanzen anstellen will.

Im allgemeinen erfolgt die Vermehrung sowohl geschlechtlich als auch vegetativ. Die geschlechtliche Fortpflanzung scheint bei allen Dünenpflanzen zu erfolgen, weil selbst die zur Vermehrung durch Rhizome befähigten Dünenpflanzen im Sommer oder Frühherbste mit vollkommenen Früchten versehen sind. Obwohl alle Rhizompflanzen Früchte tragen, so sind letztere doch, meiner Beobachtung nach, entweder in nur geringerer Anzahl vorhanden (wie *Carex macrocephala* besonders *C. pumila*) oder sie kommen, im Vergleich mit den unter anderen Umständen wachsenden Pflanzen, in schlechterer Beschaffenheit vor (wie *Lactuca repens* und

Calystegia Soldanella).

In den Dünen vollenden die Früchte ihre Fruchtbildung im Sommer, streuen ihre Samen vor dem Eintritt des ausdörrenden Winters aus und keimen im nächsten Frühling. Im Frühling suchte ich nach ihren Keimlingen in verschiedenen Dünen, fand aber nur wenige Keimlinge der Rhizompflanzen und fast keine *Carex*-Keimlinge, sogar in *Carex*-Formation, obgleich viele Samen dort ausgestreut worden sein müssen. Es ist auch nennenswert, dass ich jungen, d. h. zwei oder drei jährigen *Carex*-Arten, weder auf den Ōta Dünen noch auf den Stranddünen, wo sie ihre günstige Stelle finden, begegnet bin. Wenn auch ein genaues Experiment noch nicht ausgeführt worden ist, so kann man doch aus obigen Beobachtungen annehmen, dass die beiden erwähnten *Carex*-Arten und *Ischæmum muticum* sich hauptsächlich auf ungeschlechtlichem Wege vermehren. Die Samen solcher Pflanzen können zwar auf dem Sandboden keimen, aber die Keimlinge wachsen in den Dünen doch nicht immer aus.

Unter den sich durch Samen vermehrenden Pflanzen ist *Phellopterus littoralis* bemerkenswert. Im Frühsommer schmücken sie ihre Krone mit vielen Blüten, und ihre Früchte verbreiten sich im Hochsommer in der Nähe der Mutterpflanze. Öfters wird ihre Inflorescenz nach der Befruchtung mit Sand bedeckt, und aus dem Herde der reifen Früchte kommen im nächsten Frühling zahlreiche Keimlinge hervor.

Zwecks weiterer Beobachtung über die Keimungsfähigkeit der Samen von Dünenpflanzen sähte ich verschiedene Samen, die ich im Sommer 1915 in den Ōta Dünen gesammelt hatte, aus. Am 24. September begann ich mit *Carex macrocephala* und *Phellopterus littoralis*, wobei ich die mit Sand gefüllten, besäten Töpfe im Freien aufstellte. Kein Same keimte vor Anfang April, doch

fingen sie dann alle gleichzeitig zu keimen an. Von 150 Samen von *Phellopterus* und 200 Samen von *Carex* erhielt ich 122 (80%) resp. 56 (28%) Keimlinge. Demgemäss haben die *Carex*-Samen im Sandboden zweifellos Keimfähigkeit, wenn sie auch im Vergleich mit *Phellopterus*-Samen schwach sind. Alsdann säte ich am 18. August frisch geerntete Samen von *Phellopterus littoralis*, *Lactuca repens* und *Calystegia Saldanella* und am 26. Dezember *Juniperus rigida* in den Ōta Dünen in verschiedenen Tiefen aus. Am Ende April keimten die Samen von *Phellopterus*, *Lactuca* und *Calystegia* in 1, 4 und 7 cm. Tiefe, aber nicht in 10 cm. Tiefe. *Juniperus*-Samen zeigten im Sommer 1916 noch keine Keimlinge.

Es ist ferner eine bedeutende Frage, ob die Samen bei der Vermehrung von entscheidender Wichtigkeit seien oder nicht. Zweifellos ist jedoch, dass sich wichtige Dünenpflanzen hauptsächlich nicht durch Samen vermehren. Dies rührt nicht von dem Verlust der Keimfähigkeit der Samen her, sondern ist grossenteils auf die Unmöglichkeit der Keimlinge, unter solch ungünstigen Umständen zu wachsen, zurückzuführen. Daher möchte ich im folgenden die vegetative Fortpflanzung der Dünenpflanzen, einschliesslich ihrer Formen, näher betrachten.

Im lockeren Sandboden wird das Wachstum der Rhizome weit weniger gehindert als in irgend einem anderen; deshalb kriechen sie leicht mit zugespitzten Endknospen im Sande umher, indem sie dort gleichzeitig ihre Wurzeln festigen. Bei *Lactuca repens* und *Calystegia Soldanella* stirbt allmählich der ältere Teil des Rhizoms ab, während letzteres in immer verjüngter Form neu aussprosst. Anders verhält es sich bei *Carex*-Arten und *Ischæmum muticum*. Bei diesen bleiben die älteren Teile der Rhizome noch längere Zeit, ja öfters noch viele Jahre, erhalten, und die auf jedem Knoten entwickelten Wurzeln dienen zur Festigung der weit ausgestreck-

ten Rhizome; daher finden wir bei diesen Pflanzen die weit verbreitetsten Rhizome.

Ich will hier die Eigenschaften der vegetativen Fortpflanzungsorgane und die Vermehrungsweise, sowie Vermehrungsgeschwindigkeit der zur Dünenbefestigung wichtigsten Pflanzen beschreiben. Alle Beobachtungen und Versuche wurden im Naturzustande, hauptsächlich auf den Ōta Dünen im Sommer, Winter 1915 und Frühling 1916 ausgeführt.

1. *Lactuca repens* BENTH.

Das Rhizom kriecht in der Tiefe von 5–15 cm. fort, und seine Länge schwankt im allgemeinen zwischen 1–1.5 m.; das längste geht nicht über 2 m., da die älteren Teile allmählich absterben und die jüngeren sich von der Mutterpflanze trennen. Das Rhizom verzweigt sich selten; gewöhnlich erstreckt es sich in horizontaler Richtung. Die Länge des Internodiums ist durchschnittlich 4.7 cm.¹⁾ An beiden Seiten des Blattstiels entspringen aus jedem Knoten zwei Wurzeln, die als Wassersauger und zur Befestigung dienen.

In Bezug auf Wachstumsgeschwindigkeit werde ich einige Beispiele zeigen:

Vers. 5. Ein 134 cm. langes Rhizom, dessen Internodien von der Spitze zum Grunde je folgende Längen betragen: 0.9, 4.2, 4.6, 6.0 cm. etc. An dem sechsten Knoten (von der Spitze) erst finden wir ein auf dem Boden hervorgetriebenes Blatt.

Vom Sommer bis zum Winter (August–Dezember) verlängerte es sich um 90 cm. (A). Aus dem fünften (B) und sechsten (C) Knoten (das Rhizom war an der Stelle zwischen dem vierten und fünften Knoten entzweigeschnitten worden) sprossen zwei Seitentriebe von 71 bzw. 79 cm. Länge in der Richtung der Mutterpflanze aus.

1) Sie wurde bei zehn ausgewachsenen Rhizomen gemessen.

Vom Winter bis zum Frühling (Dezember-April). Während der spitze Hauptteil (das Rhizom war 42 cm. von der Spitze entfernt abgeschnitten worden) sich um 26 cm. verlängerte, brachte der Grundteil einen neuen, 105 cm. langen Seitentrieb hervor. (B) und (C) verlängerten sich um 31 cm. bzw. 45 cm.; ausserdem sprossste am elften Knoten ein neuer Trieb von 20 cm. Länge heraus.

Andere Beispiele zeigten, dass ein Rhizom im Herbst zwei Seitensprossen in Länge von 78 cm. und 67 cm. ausgetrieben hatte, während diese beiden im Herbst sich um 38 cm. bzw. 31 cm. verlängerten.

Andere Versuche stimmten darin überein, dass die Verlängerung der Rhizome im Frühling (Jan. bis Apr.) fast die Hälfte oder zwei Drittel der Verlängerung im Herbst (Sept. bis Dez.) betrug.

2. *Calystegia Soldanella* R. Br.

Das Rhizom kriecht nahe unter der Oberfläche fort (10–20 cm. Tiefe), und erreicht öfters eine Länge von annähernd 10 m.

Nach Messungen in den Ōta Dünen zeigt die Länge desselben durchschnittlich 6–8 m.; auf dem Strandsand zu Misaki und den weissen Dünen zu Kugenuma fand ich aber einige Rhizome, die über 10 m. erreicht hatten. Die ältesten Grundteile verwandelten sich öfters in holzartige Stämme. Wie bei *Lactuca repens*, trennen sich die jüngeren Teile leicht von der Mutterpflanze, besonders dann, wenn ein Teil auf dem Sande ausgesetzt wird.

Die Länge des Internodiums ist nicht so regelmässig wie die der *Lactuca repens*; je näher es dem Wurzelstock liegt, desto kürzer wird es, und es erreicht an dem ausgewachsenen Triebe eine Länge von 8–12 cm. Auf der Seite der Knospen entstehen zwei kräftige Wurzeln, die mehr zur Wasserzufuhr dienen.

Das Rhizom wächst besonders im Herbst, während es im Frühling beinahe keine Verlängerung zeigt. Nur im Frühling richtet sich die Spitze nach der Oberfläche.

3. *Carex macrocephala* WILLD.

Die unter der Tiefe von 20–40 cm. wagerecht kriechenden Rhizome nehmen überraschend grossen Raum ein, wie aus nachstehenden Beispiel zu ersehen ist.

Eine einzelne Pflanze wurde im Sommer (am 22. Juli 1915) am Gipfel einer ungefähr 20 m. hohen Düne gemessen. Sie breitete sich über einen Raum von ca. 60 q. m. aus, wie aus Fig. 3 einleuchtet, und die Gesamtlänge des Rhizoms erreichte wohl mehr als 80 m.¹⁾ Es ist

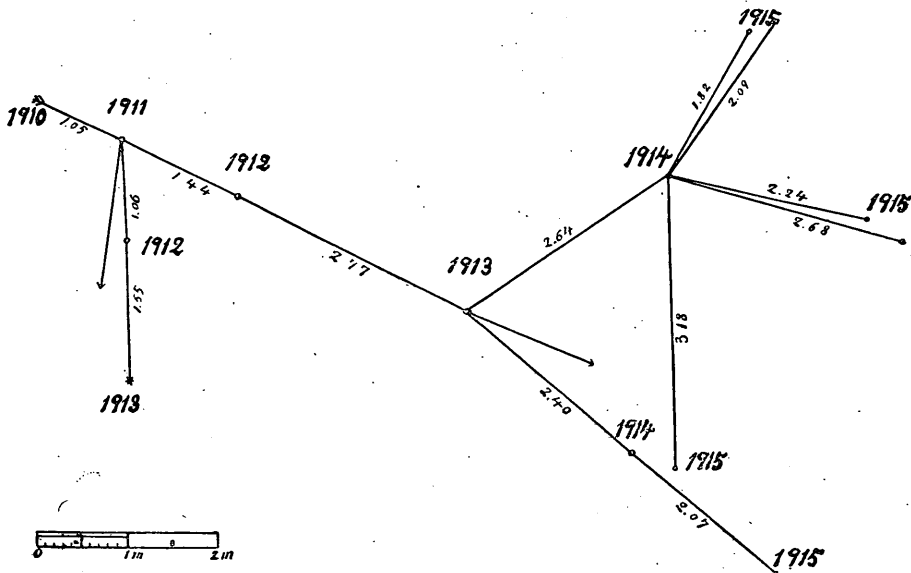


Fig. 3.—Der Zustand des Rhizoms von *Carex macrocephala* auf einem Sandhügel im Sommer 1915.

Die Abbildung zeigt den Zustand des horizontal kriechenden Rhizoms einer ausgewachsenen Pflanze. Besondere Aufmerksamkeit wurde seiner Länge, Richtung und seinen Entwicklungsjahren zugewandt. (Zahl in Metern.)

N.B. Laubsprossen wurden durch Punkte bezeichnet. Der Pfeil zeigt die Stelle, wo das Rhizom natürlich abgeschnitten war. Die mit * bezeichnete Stelle wurde bei Ausgraben abgeschnitten, und seine Spitze war unsichtbar.

1) Obwohl ich beim Ausgraben besonders Sorge trug, verlor ich einige Seitenausläufer; auch ist es bemerkenswert, dass die angegebene Ziffer die jungen noch im Entwicklungszustande befindlichen Sprossen nicht enthält.

ein vieljähriges Gewächs, welches sich in den zwei letzteren Jahren vielleicht um 20 m. verlängert haben dürfte.

Die Länge des Internodiums ist ca. 5 cm.¹⁾, und die Länge zwischen den Laubsprossen schwankt in vielen Fällen zwischen 4 und 6 m. Bezüglich der Wachstumsgeschwindigkeit des Rhizoms besitze ich keine genauen Daten über Versuche im Freien, aber es ist kaum zweifelhaft, dass das Rhizom auch im Herbst sich stark verlängert. Ich richtete besondere Aufmerksamkeit auf die Zahl und die Länge der unterirdischen Sprossen. Wenn auch jeder Laubstengel an seinem verkürzten unterirdischen Stamme immer mit vielen Sprossen versehen ist, so finden sich lange, ausgeprägte Ausläufersprossen, jedoch nur nach dem Herbst, vor.²⁾

4. *Carex pumila* THUNB.

Diese Pflanze schliesst sich an vorgehende Art an, doch unterscheidet sie sich von der letzteren durch das Gedeihen auf feuchtem Boden. Demgemäss kriechen die Rhizome in tieferen Schichten von ca. 30 cm. oder manchmal sogar über 40 cm. Tiefe fort.

Während ein unterirdischer Spross sich im Herbst um 82 cm. verlängert, zeigt er doch nach vier Monaten (von Januar bis April) beinahe keine Verlängerung, aber seine Spitze beugt sich aufwärts und entwickelt sich zum Laubsprosse.

In welchem hervorragenden Masse diese Pflanze in den Dünen sich entwickelt, zeigen die nachstehenden ausführlichen Abbildungen (Fig. 4, *a* und *b*) von zwei am 14. August 1915 in den Ōta Dünen gemessenen Pflanzen.

1) Wie in der nächsten Abteilung erwähnt, nimmt die Länge des Internodiums natürlich stark zu, wenn das Gewächs bei Sandüberstäubung abwärts zu wachsen strebt.

2) Ich beobachtete, z. B., im Anfang März, auf den Kugenuma Stranddünen eine *Carex macrocephala*, die in dieser frühen Zeit schon sieben (110, 100, 64, 44, 30, 19 und 17 cm. Länge) Sprossen ausgetrieben hatte.

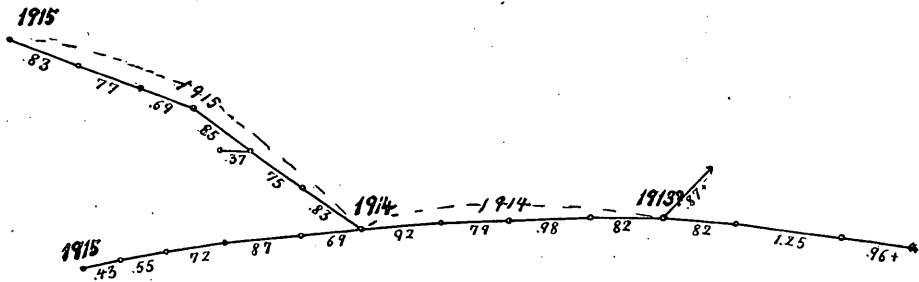


Fig. 4. a.

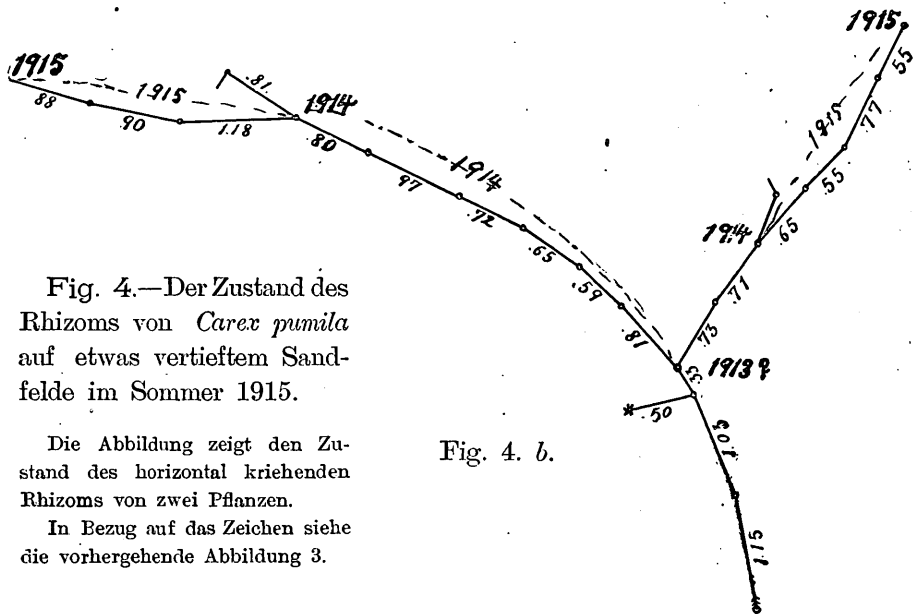


Fig. 4. b.

Fig. 4.—Der Zustand des Rhizoms von *Carex pumila* auf etwas vertieftem Sandfelde im Sommer 1915.

Die Abbildung zeigt den Zustand des horizontal kriechenden Rhizoms von zwei Pflanzen.

In Bezug auf das Zeichen siehe die vorhergehende Abbildung 3.

5. *Ischaemum muticum* L. (= *Zoysia macrostachya* FR. et SAV.)

Sie stellt kein so langes Rhizom wie die vorhergehenden *Carex*-Arten dar. Im allgemeinen ist die Länge des unterirdischen Stengels 2–3 m. Mit zugespitzten Endknospen durchläuft das Rhizom den Sandboden in gerader Linie in Tiefe von 20–30 cm. Zwei hauptsächlich zur Festigung dienende Wurzeln, welche jeder Knoten liefert, verlaufen in einem spitzen Winkel zueinander, und reichen schräg in den Boden über 60 cm. hinein. Es ist nennenswert, dass bei dieser Pflanze der Vegetationspunkt der Laub-

sprossen in den vertrockneten Blättern zurückbleibt und sich wieder im nächsten Frühling zu entwickeln anfängt.

Ein Rhizom, welches sich vom Sommer bis Winter um 51 cm. Länge mit 12 neuen Internodien verlängert hatte; zeigte fast kein Wachstum in der Frühlingszeit (vom Dezember bis April), aber entfaltete einen Laubspross an der Spitze.

6. *Ischaemum anthephoroides* MIQ.

Dieses Gras besteht aus dicht am Grunde verzweigten Stengeln, dessen Zahl öfters mehr als 30 beträgt. An jedem Knoten entwickelt sich ein Laubspross; daher kann sich diese Pflanze dicht verzweigen und einen kleinen Busch bilden. Die unter dem Sande bleibende Sprossanlage aber entfaltet sich nicht bis zur nächsten Frühlingszeit; dann tritt sie an die Stelle der alten Stengel. Jeder Knoten im Boden trägt einige (gewöhnlich 2), fast horizontal laufende Wurzeln, die zur Befestigung des Stengels dienen. Da auf diese Weise ein Stengel nicht selten 4–6 Wurzeln trägt, so hat ein ausgewachsenes Individuum fast einhundert Wurzeln; man kann sich deshalb leicht vorstellen, wie stark diese Pflanze im lockeren Sandboden befestigt ist. Die Wurzel erreicht gewöhnlich 1–1.5 m., aber bei Kugenuma fand ich eine Wurzel, die eine Länge von beinahe 2 m. (1.93 m.) erreicht hatte.

Das Netzwerk der *Ischaemum*-Wurzeln liegt nicht so tief, wie man vermutet; es befindet sich in einer Tiefe von ca. 10 cm., und schon bei 20 cm. sehen wir kaum seine Wurzeln mehr. Im Gegensatz zu *Ischaemum muticum* geht der Vegetationspunkt am Stengel im Winter zugrunde.

7. *Phellopterus littoralis* BENTH.

Phellopterus steht einzeln im Sandboden, dessen Wurzelstock und Wurzel in vertikaler Richtung in die Tiefe gehen. Jeder ver-

kürzte Wurzelstock hat viele schlafende Sprossen an den Achseln der vorjährigen Blattstiele. Die vergleichende Länge zwischen Wurzelstock und Wurzel ist unregelmässig, da sich die Länge des unterirdischen Stengels je nach den Sandschüttungen oder den Freilegungen verändert. Aber die Länge des Wurzelstocks und die der Wurzel zusammen schwanken ungefähr zwischen 50–60 cm.; und ihre Dicke geht selten über 3 cm. hinaus. Es ist auffallend, dass sich am Wurzelstock viele Achselknospen und an den zylindrischen Hauptwurzeln viele adventive Knospen befinden. Sie entwickeln sich nur nach Ablösung der oberirdischen Teile im Herbst, wenn die Früchte schon reif sind. Die Eigenschaften dieser Pflanze werden in den Abteilungen VI und VII weiter ausführlich beschrieben.

8. *Fimbristylis sericea* R. BR.

Bei dieser kleinen Pflanze ist es bemerkenswert, dass sich ein ausgeprägter Unterschied zwischen Zug- und Nährwurzel darstellen lässt. Erstere ist sehr dünn und lang, und erreicht nicht selten einen Meter. Diese feinen Wurzeln drängen sich immer nach einer Seite hin zusammen und dienen als Befestigung für ihre Sprossen. Die frische, kurze Nährwurzel dagegen verbreitet sich nach allen Seiten und sorgt für Wasser- und Nährstoff.

9. *Artemisia annua* L.

Diese ist eine mit verkürztem Wurzelstock überwinternde Pflanze. Viele reichverzweigte Wurzeln dringen schräg tief in den Sand hinein.

10. *Juniperus rigida* S. et Z., *Elæagnus fragrans* NAKAI und *Pinus Thunbergii* PARL.

Obwohl diese Pflanzen für die Dünenbefestigung eine grosse Rolle spielen; so stellte ich doch, wegen der Schwierigkeit der

Messungen im Flugsande, keine besonderen Versuche bezüglich der Länge der Wurzeln und anderer Eigenschaften an.

Zusammenfassung.

1. Die wichtigen Dünenpflanzen vermehren sich hauptsächlich durch Rhizome. Wenige Keimlinge der Dünenpflanzen können unter derartigen ungünstigen Bedingungen auswachsen. *Phellopterus littoralis* ist die einzige, sich durch Samen vermehrende Pflanze.

2. Bemerkenswert ist es, dass sich die unterirdischen Organe fast das ganze Jahr hindurch entwickeln, dass aber das Wachstum besonders nach der Fruchtzeit vor sich geht. Diese Wachstumsenergie wird im Frühling zur Neubildung von Laub- und Blüten sprossen verbraucht.

3. Das Netzwerk von Wurzeln und Rhizomen im Sandboden liegt nicht so tief, wie man glauben könnte. In der Tiefe von einem halben Meter schon sehen wir mit Ausnahme der vertical gehenden *Phellopterus*-Wurzel, fast keine unterirdischen Organe.

4. Die Tiefe und Länge der Rhizome und Wurzeln der wichtigen Dünenpflanzen sind in folgender Tabelle zusammengefasst:

TABELLE IV.

Tiefe und Länge der unterirdischen Organe der wichtigen Dünenpflanzen.

Namen der Pflanzen	Tiefe des Rhizoms cm.	Länge des Rhizoms m.	Länge des Internodiums cm.
<i>Carex macrocephala</i>	20—30	10—15	4—6
<i>Carex pumila</i>	30—50	10—15	2—5
<i>Ischaemum muticum</i>	20—30	2—3	6—10
<i>Lactuca repens</i>	5—20	1.5—2	3—8
<i>Calyptegia Soldanella</i>	10—20	7—10	8—12

Namen der Pflanzen	Tiefe der Wurzel cm.	Länge der Wurzel m.	
<i>Ischaemum anthephoroides</i>	10—20	0.5—2	—
<i>Fimbristylis sericea</i>	30—60	0.5—1	—
<i>Phellopterus littoralis</i>	50—60	0.5—0.6	—

Es ist bemerkbar, dass die Länge des Internodiums nicht bestimmt ist, besonders wenn das Gewächs durch Sand bedeckt oder frei gelegt ist.

VI. Widerstandsfähigkeit der Dünenpflanzen gegen Sandüberstäubung.

Es ist eine bekannte Tatsache, dass die Dünenpflanzen, und zwar besonders die auf den beweglichen Dünen wachsenden, die Sandbedeckung ertragen müssen¹⁾.

Im folgenden werde ich das Verhalten einiger Dünenpflanzen gegen Sandverschüttung beschreiben:

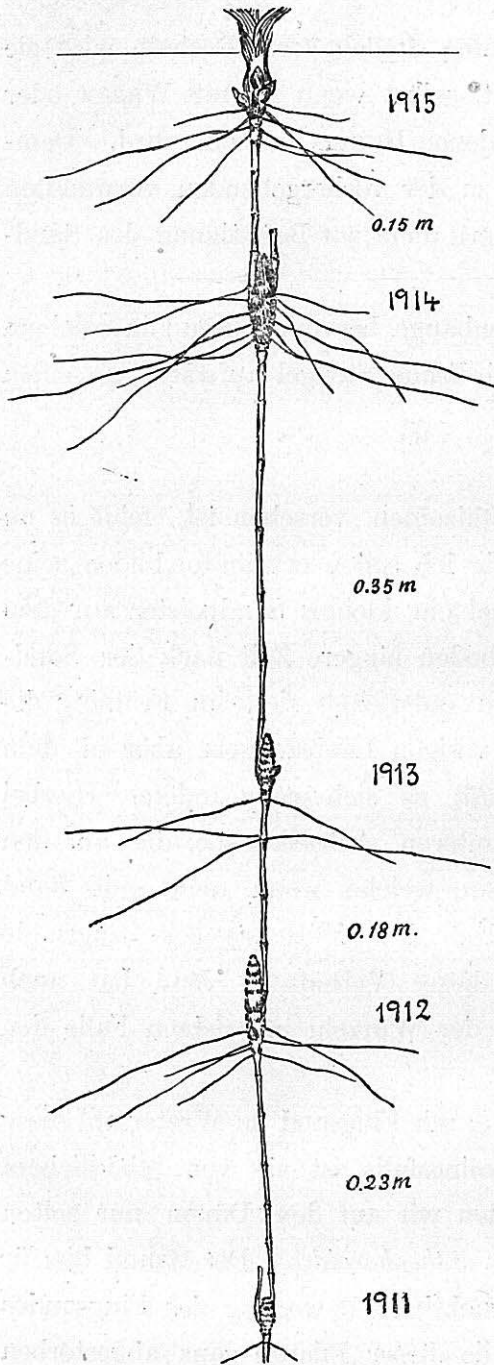
1. *Carex macrocephala*.

Die horizontal ausgebreiteten Erdstengel bringen an den begünstigsten Stellen Laubsprossen hervor. Diese Sprossen haben nach einigen Jahren noch die Fähigkeit, neue Laub- oder Rhizomsprossen aus ihren verkürzten, unterirdischen Stämmen zu treiben.

Der Sandflug fängt sich hinter diesen Blätterbüscheln, und eine teilweise allmähliche Verschüttung findet statt. Letztere kommt hauptsächlich im Winter vor, wenn der starke Wind den ausgetrockneten Sand fortweht. Hierdurch wird die auf dem Stammknoten schlafende Sprossanlage durch die Sandbedeckung nicht in horizontaler Richtung, sondern nach oben getrieben. Gleichzeitig entwickeln sich viele Wurzeln auf und nahe an dem Knoten, welche

1) WARMING, E.: 1903. l. c. p. 264.

COWLES, H.: 1899. l. c. p. 177.

Fig. 5.—*Carex macrocephala*.

Ein auf primärer *Carex*-Düne bei Kugenuma geerntetes Gewächs. Wegen Sandüberstäubung erstreckte es sich aufwärts; jeder Stammknollen zeigte die Höhe der Düne der vorhergegangenen Jahre.

zur Befestigung des neu gebildeten Laubsprosses dienen. Wiederholt sich die Sandüberstäubung, so setzen die Sprossen das Wachstum in senkrechter Richtung fort. Infolgedessen erhöht sich die Sanderhebung, bis eine Dünenanlage zustande kommt. Wir beobachten solche Dünenanlagen öfters auf dem Strandsande, wo der Wind stark und folglich die Sandbedeckung lebhaft ist. Fig. 5 stellt ein solches Gras dar, welches an den vertikalen Aufschlüssen einer Dünenanlage ausgegraben wurde. Wie vier untere Stammknollen zeigen, hat jeder derselben zu einer Zeit an der Oberfläche einen Blätterbüschel hervorgebracht.

2. *Carex pumila*.

Sie kommt an etwas feuchten Stellen vor. Deshalb wird sie selten mit Flugsand überschüttet,⁶⁾ selbst wenn sie mit Wasser oder mit dem beim Hochwasser beladenen Humus bedeckt wird. Demgemäss bildet sie im Gegensatz zu der vorhergehenden, verwandten Pflanze keine Dünenanlage, sondern dient zur Befestigung des Sandbodens an niederen Stellen.

Öfters sah ich sie am Dünenhange hervorwachsen; in solchem Falle verlängerte sich der unterirdische Stengel aufwärts um einen halben Meter.

3. *Ischaemum anthephoroides*.

Da dieses Gras nicht mit Rhizomen versehen ist, fehlt es an Dünenbildungsfähigkeit, aber, wie ich schon erwähnte, bilden seine dicht verwachsenen Sprossbüschel ein kleines Sandpolster auf dem Dünenfelde. Es kann im Sandboden längere Zeit nach der Sandverschüttung leben. Gewöhnlich entwickelt sich im Frühling die unterirdische Achselknospe des vorigen Laubstengels, aber in dem Falle der Sandbedeckung verhält es sich ganz anders. Hierbei entwickeln sich, anstatt der unteren Achselknospe, die auf den oberen Knoten liegenden Knospen, welche, wenn nicht mit Sand überschüttet, mit dem Absterben des Mutterstengels zugrunde gehen. Fig. 10 (Taf. II) zeigt dieses Verhältnis. Man hat auch gesehen, dass die Entwicklung der Wurzeln in solchem Falle den Sprosstrieben vorangeht.

Also wirkt die Überschüttung mit Flugsand im Winter auf diese Pflanzen sehr günstig ein und keinesfalls ist sie von schädlichem Einfluss. Dessenungeachtet finden wir auf den Dünen nur selten ein sandüberschüttetes *Ischaemum anthephoroides*. Der Grund hierfür ist, dass im Winter, wenn die fruchtbare Bewegung des Flugsandes stattfindet, die oberirdischen Teile dieser Pflanze ganz abgestorben

sind, und sie dem Flugsande weniger Widerstand leisten kann.

4. *Phellopterus littoralis*.

Diese Pflanze eignet sich besonders gut für bewegliche Dünen. An dem unter Sand begrabenen verkürzten Stengel gibt es, wie schon erwähnt, viele Sprossanlagen, die im Falle der Verletzung des Laubsprosses an seine Stelle treten.

Wenn diese Pflanze nach ihrer Reifezeit von Flugsand begraben wird, so beginnt, da der Laubspross dann schon Entwicklungsfähigkeit verloren hat, eine ruhende Knospe, besonders die der Oberfläche am nächsten liegende, sich ohne weiters durch die Sandbedeckung zu entwickeln. Sobald sie die Sandoberfläche erreicht, entfaltet sie sich, und ihre Blätter nehmen Assimilation an.

Ich fand ein Beispiel im October 1915 bei den Kugenuma Stranddünen, wo aus Anlass des Manövers ein Graben nach der Blütezeit (vielleicht im Spätsommer) angelegt und der Sand ringsumher aufgehäuft worden war. Infolgedessen waren viele *Phellopterus littoralis* durch die Sandmasse mit einer Schicht von ca. 50 cm. überschüttet worden, und schon im October zeigte sich ein verlängerter Spross einer ruhenden Knospe an der Oberfläche (Taf. II, Fig. 9).

Andere Versuche wurden auch auf den Ōta Dünen wiederholt angestellt, welche an anderer Stelle beschrieben werden. Diese zeigen auch starke Widerstandsfähigkeit gegen Sandüberstäubung.

5. *Lactuca repens*.

Der längste Blattstiel ist, soweit ich fand, nicht über 25 cm.¹⁾ Diese Tatsache zeigt, dass er sich in tiefer Sandbedeckung nicht unbeschränkt verlängern kann. In solchem Falle wächst das Rhizom, anstatt des Blattstiels, zuerst schiefsteigend, und wenn es

1) Der längste, den ich im Naturzustande beobachtet habe, war 23 cm.; er wurde am Abhang kleiner Stranddünen zu Onjiku, Kazusa, im Winter 1915 gefunden.

eine günstige Tiefe erreicht hat, dann fängt es wieder horizontal zu laufen an, indem sich einige Blattstiele vom Rhizom aus erstrecken. Aber wenn plötzlich Sandüberstäubung stattfindet (wie z. B. diese Pflanze am Dünenhang im Winter von Flugsand ganz bedeckt wird), ergibt sich ein anderes Verhältnis, nämlich eine ruhende Knospe entwickelt sich auf der Blattstielachsel und strebt senkrecht aufwärts der Oberfläche zu. Einige Beispiele fand ich auf verschiedenen Dünen.

6. *Calystegia Soldanella*.

Sie verhält sich sehr ähnlich wie die vorhergehende Art in Bezug auf Sandbedeckung. Ich beschreibe auf Fig. 11 (Taf. II) ein Beispiel, bei welchem ein senkrecht aufsteigender Laubspross von 40 cm. Länge aus einer ruhenden Achselknospe stammt.

7. *Ischaemum muticum* (= *Zoysia macrostachya*).

Da diese Pflanze gewöhnlich an feuchten oder festen Stellen vorkommt und nur kleine Laubsprossen hat, spielt sie keine wichtige Rolle in Bezug auf Sandhäufung. Aus ihrer Struktur aber ist es begreiflich, dass diese Pflanze gegen Sandüberstäubung starke Widerstandsfähigkeit hat. Wenn sie mit Sand überschüttet wird, verhält sie sich ganz anders als *Ischaemum anthephoroides*. Da der Stengel eine Beschaffenheit hat, sich immer nach oben zu verlängern, so nimmt er mit der Höhe des Flugsandes zu, und gleichzeitig hat jeder Knoten die Fähigkeit, zwei Wurzeln zur Befestigung des Stengels auszutreiben.

8. *Juniperus rigida*.

Dieser Strauch ist eine wichtige Pflanze zur Befestigung der Dünen. Je mehr er mit Flugsand verschüttet wird, desto mehr verbreiten sich die oberen Zweige, indem auch die unteren verschütteten Zweige lange Zeit nicht absterben. Diese weit verbreiteten und dicht verzweigten Äste erweisen sich als Gerüst der

Flugsandhäufung. Auf diese Weise wird der auffallende Sandhügel auf dem Dünenfelde geformt.

9. *Elæagnus fragrans* (= *E. pungens* var. *rotundata*).

Diese Pflanze ist ein anderer Sandhügel bildender Strauch und hat auch starke Widerstandsfähigkeit gegen Sandbedeckung. Der Vorgang der Sandhügelbildung ist in der Hauptsache dem des *Juniperus rigida* gleich, es ist aber nennenswert, dass der *Elæagnus*-Hügel sich auf festerem Sandfelde als der des *Juniperus* bildet.

10. *Pinus Thunbergii*.

Wie aus Fig. 2 (Taf. I) wohl einleuchtend ist, sind ausgewachsene Bäume ziemlich stark gegen Sandbedeckung, aber ihre Keimlinge können sich fast unter der Flugsandhäufung nicht erhalten.

Zusammenfassung.

1. Alle Dünenpflanzen haben Widerstandsfähigkeit gegen Sandüberstäubung, und sie werden im Sande lange Zeit gut geschützt.

2. Das Verhalten der Dünenpflanzen gegen Sandbedeckung ist verschiedenartig: *Carex macrocephala* besitzt die günstige Eigenschaft, Sanderhebungen zu bilden. Wird sie vom Flugsand überschüttet, so erstrecken sich die Rhizomsprossen nicht horizontal sondern vertikal aufwärts und schiessen nach der Oberfläche.

Während bei *Ischæmum antheboroides* eine auf dem oberen Knoten ruhende Knospe sich entfaltet, verlängert sich der Halm bei *Ischæmum muticum* mit Zunahme der Sandhöhe.

Wenn dagegen *Lactuca repens* und *Calystegia Soldanella* mit Sand überschüttet werden, so entwickelt sich die ruhende Achselknospe senkrecht aufwärts und fängt in günstiger Höhe an, wieder wagrecht zu laufen.

Phellopterus littoralis ist mit anpassender Eigenschaft für Dünen bei Sandbedeckung durch Entfaltung irgend einer von den

vielen auf dem Wurzelstock ruhenden Knospen versehen.

3. Die Widerstandsfähigkeit gegen Sandüberstäubung ist eine wichtige Eigenschaft der echten Dünenpflanzen. Die Ursache, warum die Binnenlandpflanzen nicht in die Dünen eindringen können; ist grösstenteils diesem Umstande zuzuschreiben.

Anhang. Ruhezeit der Dünenpflanzen.

Am Schlusse dieser Abteilung möchte ich die Ruhezeit dieser Dünenpflanzen kurz erörtern.

Im Winter haben die Holzgewächse in unserem Lande eine Ruheperiode, und Gräser und Kräuter oder wenigstens ihre oberirdischen Teile, gehen zugrunde. Bei Anblick der im Winter von feinem Flugsand stark umwehten Dünen und der scheinbar abgestorbenen Vegetation können wir daran zweifeln, ob die Dünenpflanzen im Winter noch von Wichtigkeit für die Befestigung der Dünen sind. Aber bei ausführlicher Beobachtung zeigt es sich, dass die wesentlichen Dünenpflanzen, besonders Rhizompflanzen, im Winter noch kräftige Entwicklungsfähigkeit haben, wenn auch ihre oberirdischen Teile durch niedrige Temperatur, insbesondere von Frösten zerstört werden. Die *Carex*-Arten zeigen hier und da selbst im Winter grüne Blätterbüschel. *Lactuca repens* und *Calyptegia Soldanella* bringen ihre Blätter auf den Ōta Dünen nur an solchen Stellen hervor, wo sie vor Frost geschützt sind, aber sie wuchern wohl an den wärmeren Küsten. *Phellopterus littoralis* verhält sich fast gleich wie *Lactuca repens*, und es ist bemerkenswert, dass die Knospe bei Sandbedeckung zu frischerem Wachstum getrieben wird. Diese ist eine gemeine Eigenschaft der Dünenpflanzen, und man muss ihr besondere Aufmerksamkeit schenken. *Ischæmum antheboroides* und *Ischæmum muticum* sind ausdauernde Pflanzen, die im Winter fast einen ruhenden Zustand zeigen, aber

beim Kultivieren im Gewächshause entfalten sie sich und können unter günstigen Bedingungen gut gedeihen.

VII. Widerstandsfähigkeit der Dünenpflanzen gegen Trockenheit.

Wie schon oben besprochen, besitzen alle Dünenpflanzen gegen Sandüberstäubung starke Widerstandsfähigkeit, und somit dient der Sand für solche Pflanzen sogar als Schutzmittel.

Auf welche Ursache ist dann wohl das Sterben der Dünenpflanzen, das wir besonders im Winter in den Dünen sehen, zurückzuführen?

In dürrer Zeit wird der Dünensand durch Wind weggetrieben, und die Dünenpflanzen sind mit entblößten Wurzeln oder Rhizomen der Austrocknung durch Wind und Sonne ausgesetzt. Daher werden auch die Sprossen, welche sonst unter dem Boden geschützt waren, frei gelegt, und schliesslich geht der Pflanzenstock zugrunde.

1. *Carex macrocephala*.

Die durch das Wegtreiben des Sandes hervorgerufene schädigende Wirkung ist bei dieser Rhizompflanze am merkwürdigsten.

Fig. 13 (Taf. II) zeigt diese Pflanze in frei gelegtem Zustand auf einer Düne. Im Dezember vorigen Jahres, nach einem heftigen Sturm auf einer Stranddüne, hatte ich Gelegenheit, viele in dem Sande liegende Erdstengelsprossen von *Carex macrocephala*, die schon eine Länge von einem Meter erreicht hatten, zu beobachten. Man kann leicht wahrnehmen, dass bei solchen Fällen zuerst die jungen Sprossen austrocknen und absterben.

Im heissen Sommer schnitt ich einige Laubsprossen vom Rhizom los. Trotz der Vollkommenheit der Seitenwurzeln fingen bald einige dieser Laubsprossen zu welken an und schliesslich gingen sie zugrunde. Somit kann man das Rhizom nicht nur als Vermehrungsorgan, sondern auch als Wasserspeicherungsorgan betrachten.

2. *Carex pumila*.

Bei dieser Pflanze kommt selten die Gefahr der Trockenheit vor, da sie stets auf feuchten Stellen wuchert. Demgemäss lässt sie sich auch nur selten durch den Wind ausgraben, aber oft wird sie durch Wegspülen des Sandes frei gelegt.

3. *Ischaemum antheplhoroides*.

Wegen seiner starken Festigkeit durch die vielen in den oberen Schichten flach hinstreichenden Wurzeln lässt sich dieses Gras selten freilegen. Wenn dies jedoch der Fall ist, so vermag es infolge geringer Verdunstung in ausgetrocknetem Zustande die Aussetzung leicht zu ertragen (Taf. II, Fig. 12).

Im heissen Sommer stellte ich die gleichen Versuche an, wie bei *Carex macrocephala*. Um die Widerstandsfähigkeit dieser Pflanze gegen Trockenheit, unter Berücksichtigung der Wasseraufnahme der Wurzeln, zu sehen, trennte ich einige ausgewachsene Stengel von einander ohne Verletzung der Wurzeln. Ich fand hierbei, dass bei *Ischaemum antheplhoroides* jeder mit 2–4 Wurzeln versehene Stengel mit dem Mutterstengel durch den Knoten verbunden ist. Jeder dieser Stengel wurde am 24. Juli 1915 besonders auf drei verschiedene Weisen behandelt und untersucht, nämlich:

- A) Mit Ausnahme von 2 Wurzeln alle abgeschnitten.
- B) Mit Ausnahme von 1 Wurzel alle abgeschnitten.
- C) Mit Ausnahme von 1 Wurzel alle abgeschnitten und dann die übrig bleibende Wurzel bis auf ca. eine Länge von 30 cm. ebenfalls abgeschnitten.

Alsdann dauerten heisse Tage ohne Niederschläge an, worauf ich folgende Wahrnehmung machte:

Während sich bei ersterer Pflanze (A) keine Veränderung zeigte, waren die Blätter der übrigen verwelkt. Aber später erlangten die mit einer vollkommenen Wurzel versehenen Stengel (B) ihren normalen Zustand wieder, während die am Wurzelende abgeschnittenen Stengel (C) schliesslich ganz zugrunde gingen.

Diese Ergebnisse zeigen, wie *Ischæmum anthephoroides* bei Hitze und Trockenheit widerstehen kann, und dass andererseits diejenigen Wurzeln, die sich als zur Befestigung dienende Organe erweisen, für die Wasseraufnahme eine wichtige Rolle spielen.

4. *Lactuca repens*.

Obwohl *Lactuca*-Rhizome in tiefe Schichten nicht eindringen, werden sie sehr selten ausgegraben. Aber wenn sie einmal freigelegt sind, so färben sich alsbald die weissen Teile rot, und brechen dann an dieser Stelle ab. Wird die Spitze des Rhizoms ausgegraben, so ist der Vorgang beachtenswert. Zuerst verkürzen sich die nach Freilegung geformten Internodien, während die Anzahl der Knoten bedeutend zunimmt. Alle diese Knoten treiben Blätter aus, und infolgedessen sieht das Rhizom dann wie ein oberirdischer Laubspross aus.

Um die Regenerationsfähigkeit und Widerstandsfähigkeit gegen Trockenheit zu sehen, hatte ich im Sommer und Winter das Rhizom in verschiedener Länge zerschnitten, ohne die Wurzel zu verletzen.

Die ausführlichen Resultate werden nachher in dem Kapitel über Regeneration erwähnt. Ich möchte an dieser Stelle nur bemerken, dass bei den Rhizomstücken, welche mit einem einzigen Knoten bzw. einem Blatt versehen sind, das Blatt bald nach Zerschneiden welkt und endlich ganz zugrunde geht.

5. *Ischæmum muticum*.

Wahrscheinlich ist diese Pflanze eine der widerstandsfähigsten Gräser gegen Trockenheit auf dem Dünenfelde. Wie man aus ihrer Struktur leicht vermutet, ertragen ihre halmartigen Rhizome eine starke Verdunstung. Im Herbst legte ich ein 10 cm. langes Stück mit einem Knoten im Freien auf den Sand. Schon nach einem Monat bildete sich ein ausgewachsener Laubspross. Diese

Tatsache zeigt, dass dieses Gras wenig Schaden erleidet, wenn es auch ganz auf dem Sande ausgesetzt wird, doch befindet es sich im Freien durch seine befestigenden Wurzeln nur selten in solchem Zustande.

6. *Calystegia Saldanella*.

Da die *Calystegia*-Rhizome eher in seichten Schichten fort-kriechen, werden sie oft ausgegraben. In solchem Falle verlaufen sie leicht an der exponierten Stelle und werden in zwei oder mehr Teile getrennt.

Ihre anderen Eigenschaften sind denjenigen der *Lactuca repens* ähnlich.

7. *Phellopterus littoralis*.

Diese bei Sandüberstäubung so widerstandsfähige Pflanze kann durch Ausgraben nicht weiter leben. Dass sie viele Sprossanlagen am Wurzelstock hat und sich dem Bedürfnis entsprechend entwickeln kann, ist schon erwähnt worden. Diese Eigenschaft ist auch im Falle des Ausgrabens von Vorteil, indem anstatt der oberen die untere noch im Sande bleibende Sprossanlage emporkommt. Wenn jedoch die Pflanze so tief ausgegraben ist, dass alle Ruhesprossen auf dem Sandboden ausgesetzt sind, dann kann sie nicht mehr neue Sprossen austreiben. Solche frei gelegten *Phellopterus*-Pflanzen sehen wir oft auf den Ota Dünen. Im Falle einer vollkommenen Freilegung entwickelt sich aber der unterste Ruhespross doch noch, und vermag sein Leben noch ziemlich lange spärlich zu erhalten, aber allmählich verdunstet und stirbt die Pflanze am Ende ab. Fig. 14 (Taf. II) zeigt solche ausgegrabenen, und dann einen neuen Spross austreibenden *Phellopterus*-Wurzelstöcke. Auf den Vordünen sehen wir immer die durch Einsturz des Sandhügels ausgesetzten *Phellopterus*-Wurzelstöcke, die endlich einen vertrockneten Zustand annehmen.

Zusammenfassung.

1. Die Dünenpflanzen haben verhältnissmässig schwache Widerstandsfähigkeit gegen Freilegung, besonders ist es der Fall bei den jungen Rhizomen von *Carex macrocephala* und bei den Wurzelstöcken von *Phellopterus littoralis*.

2. Die Hauptursache des Absterbens der Dünenpflanzen ist nicht auf die Sandüberstäubung, sondern auf den Wasserverlust infolge der Entsandung durch Winde oder Hochwasser zurückzuführen.

3. Wenn ein Stück einiger Dünenpflanzen im heissen Sommer durch Zerschneiden des Rhizoms von der Mutterpflanze getrennt wird, so geht es, obgleich seine Wurzeln unversehrt sind, doch sofort oder allmählich zugrunde.

Diese Tatsache zeigt, dass das im allgemeinen als Befestigungs- oder Vermehrungsorgan betrachtete Rhizom auch für die Wasserspeicherung eine wichtige Rolle spielt.

VIII. Wassergehalt und Wasserverdunstung der unterirdischen Organe von Dünenpflanzen.

Wie oben mitgeteilt wurde, können Dünenpflanzen infolge des Wasserverlustes seitens der unterirdischen Organe das Ausgraben kaum ertragen; denn es ist bekannt, dass der Wassergehalt der Pflanzen in Bezug auf ihre Widerstandsfähigkeit gegen extreme Temperatur die grösste Rolle spielt. Man muss deshalb insbesondere bei Forschung über die Eigenschaften der Dünenpflanzen die Beziehungen der unterirdischen Organe zur Austrocknung oder Verdunstung der Pflanzen in Betracht ziehen.

Meines Wissens, liegen etwaige Angaben nicht vor, welche das

unterirdische Organ der Dünenpflanzen als das wichtigste für die Widerstandsfähigkeit gegen Trockenheit erwiesen hätte.¹⁾ Die Ursache dieser Widerstandsfähigkeit der Dünenpflanzen wurde bisher ganz und gar auf den besonderen Bau der oberirdischen Organe zurückgeführt. Viele Dünenpflanzen können aber, wie ich schon in der Abteilung I erörterte, ohne besondere Schutzvorrichtung gegen Transpiration wohl im heissen, eingetrockneten Zustande gedeihen.

Um den Einfluss der Bodenfeuchtigkeit auf das Welken der Pflanzen zu sehen, pflanzte ich zweijährige *Phellopterus littoralis* und Rhizomstücke von *Lactuca repens*, die ich vorher im Sande eingegraben hatte, in Glassröhren und Schalen ein. Diese waren mit ausgetrocknetem Quarzsand gefüllt, dessen Gewicht vorher ermittelt worden war. Die beiden Pflanzen wurden zwei Wochen lang mit genügend Wasser versehen und dann im Laboratorium aufgestellt. Ich wartete auf die Zeit, bis der Sand infolge Wasserverdunstung wieder das ursprüngliche Gewicht erreicht hatte. Erst einige Wochen später fingen die Blätter zu welken an. Beim Ausgraben fand ich, dass das Rhizom schon ganz vertrocknet war.

Aus diesen und den vorher geschilderten Versuchen²⁾, die ich in den Dünen mit zerschnittenen Stücken anstellte, kann man ersehen, dass die Widerstandsfähigkeit der Dünenpflanzen gegen Austrocknung wenigstens teilweise auf ihre unterirdischen Organe zurückzuführen ist.

1) Es ist eine bekannte Tatsache, dass das Rhizom im allgemeinen als Speicherorgan für die Baustoffe dient, und zwar sehen wir z. B. bei dem Rhizom von *Carex macrocephala*, viel Stärke besonders auf dem äusseren Teile rings um die Epidermis und um das Gefässbündel. Aber es ist nicht richtig, dieses Organ ganz und gar als Speichersystem für Nährstoffe zu betrachten, insbesondere bei fortkriechenden Rhizomen, wie wir es hier haben. Und natürlich erwiesen viele Forscher solche Rhizome als Befestigungsorgan oder Fortpflanzungsorgan, aber niemand, meines Wissens, hat sie bisher als Wasserspeicherungsorgan gegen Austrocknung erwiesen.

2) Siehe S. 43-45.

Folglich ist es nötig, den Wassergehalt der unterirdischen Organe zu erforschen.

A. Wassergehalt der unterirdischen Organe.

Die frisch gesammelten Materialien wurden zuerst gewogen und dann im Trockenschranke ausgetrocknet, bis das konstante Gewicht erlangt war.

Der Wassergehalt der verschiedenen Organe ist in Tabelle V angegeben.

TABELLE V.
Wassergehalt der unterirdischen Organe (I).

Namen d. Pflanzen	Organ	Bemerkung	Frischgewicht in g.	Trockengewicht in g.	Wassergehalt in % d. frischen Substanz
1. <i>Carex macrocephala</i>	Rhizom (junges)	34 cm. lang von d. Spitze	7.14	0.79	89.0
2. "	"	37 cm. lang Unterteil von Nr. 1	4.45	0.86	80.7
3. "	"	3 Spitze-Stücke von je 34 cm. Länge	21.71	2.63	87.9
4. <i>Calystegia Soldanella</i>	Rhizom	40 cm. lang	5.80	1.09	81.2
5. <i>Lactuca repens</i>	"	viele Stücke mit Spitze	13.63	2.86	79.1
6. "	"	ohne Spitze	7.45	1.63	78.1
7. <i>Wedelia prostrata</i>	Ausläufer	ohne Blätter	24.71	4.89	80.2
8. <i>Ischaemum antheperoides</i>	Wurzel	viele alten Wurzeln	5.53	1.15	79.2
9. <i>Calystegia Soldanella</i>	Blätter	20 Blätter von mehr als 20 mm. Breite	10.73	1.44	86.6
10. <i>Lactuca repens</i>	"	30 Stücke ausgewachsen	8.94	1.20	86.6
11. <i>Wedelia prostrata</i>	"	50 Stücke von mehr als 20 mm. Breite	12.68	1.41	88.9

Versuchszeit: am 19. November 1915.

Material: aus Kugenuma Stranddünen.

Es ist bemerkenswert, dass die Wassermenge des Rhizoms von *Carex macrocephala*, wie erwartet, an der Spitze am grössten ist,

und dass die Wurzeln von *Ischæmum anthephoroides* viel mehr Wasser enthalten, als wir vermuten. Dass das *Carex*-Rhizom bei Aussetzung in freier Luft leicht zugrunde geht, ist aus seinem grossen Wassergehalt zu ersehen.

TABELLE VI.

Wassergehalt der unterirdischen Organe (II).

Namen der Pflanzen	Organ	Bemerkung	Frischgewicht in g.	Trockengewicht in g.	Wassergehalt in % d. frischen Substanz
1. <i>Phellopterus litoralis</i>	Wurzelstock	ohne Blätter	33	8.50	74.2
2. „	„	„	25	7.10	71.6
3. <i>Calystegia Soldanella</i>	Rhizom	viele Stücke mit einigen Blättern	15	2.94	80.4
4. <i>Carex macrocephala</i>	„	Spitze ohne Blätter	28	3.50	87.5
5. <i>Lactuca repens</i>	„	viele Stücke mit vielen Blättern	18.4	2.65	85.6

Versuchszeit: am 24. März.

Material: aus Kugenuma Stranddünen.

TABELLE VII.

Wassergehalt der unterirdischen Organe (III).

Namen der Pflanzen	Organ	Bemerkung	Frischgewicht in g.	Trockengewicht in g.	Wassergehalt in % d. frischen Substanz
1. <i>Carex macrocephala</i>	Rhizom	mit Ästen	6.62	0.81	87.8
2. <i>Calystegia Soldanella</i>	„	mit Blättern	8.25	0.99	83.2
3. „	„	„	17.2)	1.92	88.8
4. <i>Lactuca repens</i>	„	„	4.72	0.79	83.3
5. „	„	„	4.22	0.67	84.1
6. <i>Ischæmum anthephoroides</i>	neue Knospe	viele 3-5 cm. lang	5.68	0.47	91.7
7. <i>Carex macrocephala</i>	Blatt	ohne Stamm	12.85	2.46	80.9

8. <i>Carex pumila</i>	Blatt	ohne Stamm	3.25	0.68	79.1
9. "	"	"	4.67	0.98	79.0
10. <i>Ischaemum muticum</i>	Blattspross	einschliesslich Halm	1.31	0.42	68.0
11. <i>Lathylus maritimus</i>	Blatt	mit Ästen	2.07	0.33	88.9
12. "	"	"	5.16	0.76	85.3
13. <i>Lippia nodiflora</i>	"	"	7.00	0.66	90.6
14. "	"	"	10.05	0.94	90.6
15. <i>Cnidium japonicum</i>	"	mit Blattstiel	12.75	1.64	85.0
16. <i>Sagina Linnaei</i> v. <i>maxima</i>	ausgewachsene Pflanze		8.50	1.55	81.8

Versuchszeit: am 20. April.

Material: aus Kugenuma Stranddünen.

Aus den oben stehenden drei Tabellen ist der durchschnittliche Wassergehalt des Rhizoms der wichtigen Dünenpflanzen wie folgt: ¹⁾

TABELLE VIII.

Durchschnittlicher Wassergehalt der unterirdischen Organe.

Namen der Pflanzen	Organ	Wassergehalt in % d. frischen Substanz	Nr. d. Tab.	Name	Organ	Wassergehalt in % d. frischen Substanz	Nr. d. Tab.
<i>Phellopterus littoralis</i>	Wurzelstock	73.1	(VII) 1 & 2	<i>Ischaemum antheperoides</i>	Wurzel	79.2	(V) 8
<i>Calystegia Soldanella</i>	Rhizom	80.6	(V) 4 (VII) 3	<i>Carex pumila</i>	Blatt	79.0	(VII) 8 & 9 [⊙]
<i>Lactuca repens</i>	"	78.8	(V) 5 & 6	<i>Calystegia & Lactuca</i>	"	86.6	(V) 9 & 10
<i>Carex macrocephala</i>	Rhizom (junges)	87.4	(V) 1, 2, 3 (VI) 4 (VII) 1	<i>Lippia nodiflora</i>	"	90.6	(VII) 13 & 14
<i>Ischaemum muticum</i>	Laubspross	68.0	(VII) 10				

Wenn wir die unterirdischen Organe zum Vergleiche herauziehen, so erkennen wir, dass das Rhizom von *Carex macrocephala* besonders viel Wasser enthält, und dass bei den anderen die

1) Zum Vergleich ist der Wassergehalt der anderen Organe auch hier beigefügt.

Wassermenge geringer ist, als bei den gewöhnlichen Blättern (ca. 85%), jedoch ist der Wassergehalt der unterirdischen Organe von Dünenpflanzen noch verhältnismässig reichlich. In Bezug auf die Blätter ist es bemerkenswert, dass der Wassergehalt von Halophyten (z. B. *Lippia nodiflora* und *Wedelia prostrata* haben 90.6% bzw. 88.9%) viel grösser ist, als derjenige der Psammophyten (z. B. *Lactuca repens* und *Calystegia Soldanella* zeigen beide 86.6%). Auch bei *Carex macrocephala* und *Ischaemum muticum* ist der Wassergehalt weit geringer (79% bzw. 80.9%).

B. Wasserverdunstung der Dünenpflanzen.

Neuerdings hat KAMERLING eingehende Untersuchungen über Wasserbilanz verschiedener tropischer Pflanzen ausgeführt und darauf hingewiesen, dass die einfache Verdunstungsmethode für das Urteil über die Transpirationsgrösse und Transpirationsregulierung die einfachste und zweckmässigste sei.¹⁾

Die Untersuchung über Verdunstung des Rhizoms ist wichtig für die Bestimmung seiner Wasserbilanz, und auch wegen seiner Widerstandsfähigkeit gegen Trockenheit von grossem Interesse. Ich stellte somit einige Versuche über die Verdunstung von wichtigen Dünenpflanzen an. Zuerst legte ich die frisch geernteten Versuchsmaterialien (ausser dem Rhizom wurden auch viele andere Organe zum Versuche benützt) auf den Laboratoriumstisch, der direkter Sonne nicht ausgesetzt war.

Die Resultate der periodischen Wägung waren die folgenden:

TABELLE IX.

Wasserverdunstung der unterirdischen Organe (I).

1) KAMERLING, Z.: 1914 l. c. S. 434.

Namen der Pflanzen	Datum der Wägungen	Anzahl der Tage seit dem Anfang des Versuchs	Gewicht der Versuchs- pflanze in g.	Gewichtabnahme seit der vorigen Wägung			Totale Verdun- stung seit dem Anfang des Versuchs in %
				total in g.	durch- schnittlich pro. Tag in g.	durch- schnittlich pro. Tag in % des ursprüng- lich. Gew.	
<i>Lactuca repens</i>	21. III 1916 P.M. 5	—	16.70	—	—	—	—
	27 „	3	12.35	4.35	1.45	8.8	26.0
	31 „	7	8.16	4.15	1.05	6.0	51.1
<i>Calystegia Soldanella</i>	21 „	—	10.70	—	—	—	—
	27 „	3	4.90	5.80	1.93	18.0	54.2
	31 „	7	3.28	1.62	0.41	3.8	69.3
<i>Phellopterus littoralis</i>	24 „	—	73.20	—	—	—	—
	27 „	3	51.9	21.3	7.1	9.7	29.0
	31 „	7	31.2	20.7	5.2	7.1	56.5
	12 IV	19	20.1	11.1	0.93	1.3	72.5

Wir sehen aus Tab. IX, dass der Grad der Verdunstung ein ganz verschiedener ist, und dass das Rhizom von *Lactuca repens* besonders wenig verdunstet.

Weitere Versuche werden im folgenden gezeigt:

TABELLE X.

Wasserverdunstung der unterirdischen Organe (II).

Namen der Pflanzen	Anzahl der Tage seit dem Anfang des Versuchs	Gewicht der Versuchs- pflanze in g.	Gewichtabnahme seit der vorigen Wägung			Totale Verdunstung seit dem Anfang des Versuchs in %		
			total in g.	durch- schnittlich pro. Tag in g.	durch- schnittlich pro. Tag in % des ursprüng- lich. Gew.	des Frischgew.	des Wassergew.	
1. <i>Carex macrocephala</i>		6.62	—	—	—	—	(Trockengew.) 0.81	
	1	4.92	1.70	1.70	25.7	25.7	29.3	
	3	3.92	1.00	0.50	7.6	40.8	46.5	
	Rhizom	6	3.07	0.85	0.28	4.2	53.6	61.1
	16	1.45	1.62	0.16	2.4	78.1	89.0	
2. <i>Calystegia Soldanella</i>		17.20	—	—	—	—	(„ 1.92)	
	1	9.12	8.08	8.03	47.0	47.0	59.7	
	3	4.10	5.02	2.51	14.6	76.2	85.7	
	Rhizom	6	2.71	1.3	0.46	2.7	81.3	94.3
	16	2.31	0.40	0.04	0.2	86.6	90.9	
3. <i>Calystegia Soldanella</i>		8.25	—	—	—	—	(„ 0.99)	
	1	5.14	3.11	3.11	37.7	37.7	42.8	
	3	2.28	2.86	1.43	17.3	72.4	82.2	
	Blatt mit Blattstiel	6	1.43	0.8	0.27	3.3	82.3	93.3
	und Asten	16	1.14	0.34	0.03	0.4	86.4	97.9

4. <i>Lactuca repens</i>		8.94	—	—	—	—	(Trockengew.)
	1	6.90	2.04	2.04	22.8	22.8	1.31
Rhizom	3	4.79	2.11	1.06	11.9	46.4	26.7
	6	3.29	1.50	0.50	5.6	63.2	54.4
	16	1.73	1.56	0.16	1.9	80.7	74.1
							96.1
5. <i>Ischaemum anthephoroides</i>		5.68	—	—	—	—	(" 0.47)
	1	3.48	2.20	2.20	38.7	28.7	42.2
neuer Spross	3	2.18	1.30	0.65	11.4	61.6	67.2
	6	1.57	0.61	0.20	3.5	74.1	78.9
	16	0.80	0.77	0.08	1.4	85.9	94.2
6. <i>Carex macrocephala</i>		12.85	—	—	—	—	(" 2.46)
	1	7.85	5.00	5.00	38.9	38.9	48.1
Blätter	3	6.08	1.77	0.89	6.9	51.9	65.2
	6	4.90	1.18	0.37	2.9	61.8	76.5
	16	3.70	1.20	0.12	0.9	77.3	83.1
7. <i>Carex pumila</i>		7.92	—	—	—	—	(" 1.65)
Blätter	1	4.07	3.85	3.85	48.6	48.6	61.4
	3	2.90	1.17	0.59	7.5	63.4	80.1
	6	2.51	0.38	0.13	1.6	68.2	86.1
	16	2.02	0.49	0.05	0.6	74.4	93.9
8. <i>Ischaemum muticum</i>		1.31	—	—	—	—	(" 0.42)
	1	0.75	0.56	0.56	42.8	42.8	62.9
Laubspross	3	0.57	0.21	0.11	8.4	51.2	86.6
	6	0.52	0.02	0.07	0.5	51.7	83.8
	16	0.46	0.06	0.06	0.4	52.0	95.6
9. <i>Lathyrus martimus</i>		7.23	—	—	—	—	(" 1.09)
Blätter	1	2.53	4.70	4.70	65.0	65.0	76.5
mit Ästen	3	1.47	1.06	0.53	73.3	79.7	93.8
	6	1.31	0.16	0.05	06.9	81.9	96.4
	16	1.25	0.06	0.06	0.8	82.7	97.4
10. <i>Lippia nodiflora</i> v.		17.05	—	—	—	—	(" 1.60)
Blätter	1	9.62	7.43	7.43	43.6	43.6	62.3
mit Ästen	3	3.18	6.44	3.22	18.9	81.4	89.7
	6	2.47	0.71	0.37	1.6	85.5	94.4
	15	1.99	0.48	0.05	0.3	88.3	97.5

Versuch vom 20 IV bis zum 6 V.

Vgl. Tabelle VII auf S. 50.

N.B.—Bei diesen Pflanzen verfuhr sich in derselben Weise, wie bei dem vorigen Versuche; nämlich die frisch gesammelten Materialien wurden an einer schattigen Stelle auf dem Arbeitstisch im Laboratorium ausgelegt.

Aus dieser Tabelle ersehen wir, dass der Verdunstungsvorgang besonders im Anfang deutlich sichtbar ist, und dass schon nach einer Woche einige der Versuchsmaterialien ganz vertrocknet und abgestorben sind. Die erste Erscheinung ist, dass die Intensität der Verdunstung in den ersten 24 Stunden steigt, um nachher beträchtlich abzunehmen; und zwar bei den Mustern 2, 6, 7, 8, 9 und 10 stellt die Verdunstungsmenge in dieser Zeit fast den

ganzen Wassergehalt oder mehr als die Hälfte desselben vor, aber bei den übrigen Mustern geht die Wasserverdunstung ganz allmählich vor sich.

Obgleich der Wasserverlust am Anfang sehr stark ist, nimmt er doch bald bedeutend ab, z. B. beträgt er bei dem *Lactuca*-Rhizom in den ersten 24 Stunden 22.8%, aber nach drei Tagen in derselben Frist, d. h. innerhalb 24 Stunden, nur 5.8% des ursprünglichen Gewichts. Noch viel beträchtlicher ist der Wasserverlust bei Blättern von anderen Pflanzen am ersten Tage, z. B. bei *Lathylus martimus* ist er 65%, während er am dritten Tage nur ca. 0.7% (pro 24 Std.) des ursprünglichen Gewichts beträgt.

Aus den obigen Versuchen ist es auch ersichtlich, dass die Verdunstung der unterirdischen Organe im Vergleich mit den Blättern, sogar im jungen und frischen Stadium, verhältnismässig gering ist.¹⁾ Diese Tatsache ist ein wichtiger Punkt für die Erörterung der Eigenschaften von Dünenpflanzen, besonders der Rhizompflanzen, weil sie wegen dieser Eigenschaft bei der Freilegung bisweilen sehr lang standhalten können, bis sie wieder von Sande überschüttet werden.

Zusammenfassung.

1. Obwohl bei den wichtigen Dünenpflanzen der Wassergehalt des Rhizoms geringer ist, als derjenige der Blätter, so besitzt ersteres doch noch so viel Wasser wie 80% seines Frischgewichtes.

2. Der Wassergehalt ist besonders reichlich an der Spitze des Rhizoms und an der Wurzel, und diese wichtigen Teile trocknen bei der Freilegung (Ausgraben) leicht aus.

1) *Calystegia Soldanella* macht eine Ausnahme, insofern die Verdunstung des Rhizoms stärker ist als bei den Blättern. Durch diese Eigenschaft wird das Rhizom von *Calystegia Soldanella* beim Ausgraben leicht zerschnitten. (Siehe S. 46).

3. Der Verdunstungsgrad ist aber bei den unterirdischen Organen geringer als bei den Blättern. Diese Tatsache ist von einer Bedeutung für Dünenpflanzen, weil sie infolgedessen bei der Freilegung die starke Verdunstung eine Zeit lang ertragen können.

IX. Regenerationsfähigkeit der Dünenpflanzen.

Unter dem Namen Regeneration fassen wir mit Jost¹⁾ zwei Formen der Restitution zusammen: Neubildung von Organen in der Nähe der Wunde und Neuentfaltung der der Wunde nächststehenden, bereits vorher vorhandenen Organanlage.

In vorliegender Arbeit stellte ich Versuche über die Regenerationsfähigkeit der Dünenpflanzen als Komplement ihrer Vermehrungsfähigkeit an. Im ersten Teil haben wir zuerst die Versuche im Naturzustande. Hier sind auch die Ergebnisse der Versuche berücksichtigt, die in dem Sandfelde im Garten unseres Institutes und auch in den Kasten im Gewächshause angestellt wurden. Dagegen beschäftigte ich mich im Laboratorium, wie wir aus dem zweiten Teile sehen, mehr mit Versuchen in Bezug auf Neubildung, als mit solchen betreffs Neuentfaltung von Organen.

A. Versuche im Naturzustande.

Nachstehend berichte ich über die Ergebnisse der Versuche, die hauptsächlich in den Ōta Dünen angestellt wurden.²⁾

Die Versuchsmethode im Freien ist folgende: Ein Teil der wichtigen Dünenpflanzenkörperchen wurde am 14. August 1915

1) Jost, L.: Vorlesungen über Pflanzenphysiologie. 3 Aufl. 1913. S. 442.

2) Einige schon in Abteilung VI beschriebene Ergebnisse wurden hier kurz oder nicht wiederholt.

abgeschnitten, worauf die Resultate im Dezember 1915 und im April 1916 geprüft wurden.

1. *Carex macrocephala*.

Versuche No. 35 und No. 37. Ich schnitt einen Teil des Rhizoms nebst Laubsprossen von der Mutterpflanze ab, die, wie bereits erwähnt, ohne Regenerationsfähigkeit bald zugrunde gingen, obgleich sie nicht verletzt waren.

Viele mit kleinen Sprossen versehene Stammknollen waren auch im Sommer in genügend befeuchteter Tiefe auf einem Dünengipfel eingegraben, wo dieses Gras gut wächst, aber selbst im Frühling trieben diese Stammknollen keine Laubsprossen aus, obwohl einige unterirdische Sprossen noch Lebensfähigkeit hatten.

2. *Lactuca repens*.

Versuch No. 5. Drei 5 cm. lange Rhizomstücke wurden an der Spitze abgeschnitten, nämlich: (A) ein Stück mit drei noch nicht ausgewachsenen Internodien und ihren im Sande liegenden Blattanlagen, (B) und (C) je ein Stück mit Knoten und entfaltetem Blatt.

Das Ergebnis im Dezember war folgendes:—Das (A) Stück erreichte 87 cm. Länge ohne Seitensprossen und die (B) und (C) Stücke trieben 18 cm. bzw. 13 cm. lange Seitentriebe aus der Blattachsel aus. Diese beiden wuchsen zuerst aufwärts bis ca. 2 cm. Höhe und dann wieder in horizontaler Richtung. In diesem Falle zeigte sich keine Wurzel in der Nähe der abgeschnittenen Wunde.¹⁾

Versch No. 31. Ein Rhizom wurde von der Spitze in drei Teile zerschnitten: Das erste Stück (A) 10 cm. lang mit schon sichtbar gewordenen Laubblättern, das zweite Stück (B) auch 10 cm.

1) Vergl. die Versuche im Laboratorium.

lang mit drei Knoten und drei aus demselben entsprungenen Blättern und das letzte (C) bestehend aus dem Rhizomrest mit vielen Knoten und Blättern. Bis zum Dezember verlängerte sich (A) um 55 cm., während bei (B) sich ein 8 cm. langer Trieb auf dem apikalen Knoten einstellte. (C) trieb 78 cm. und 67 cm. lange Seitentriebe aus dem apikalen bzw. den folgenden Knoten aus.

Bei diesem Versuche möchte ich zwei Punkte in Betracht ziehen.

a. Wenn der Vegetationspunkt eines Stückes verletzt wird, entwickelt sich sofort eine ruhende Sprossanlage auf dem apikalen Knoten.

b. Die Länge des neu ausgetriebenen Sprosses ist von dem Triebe des Mutterstückes abhängig.

3. *Ischæmum muticum.*

Versuch No. 23. Auf einem langen unterirdischen, halmartigen Rhizom wurden neun Stücke, jedes mit einem einzigen Knoten, von der Spitze bis zum Grunde, von einander getrennt. Das Resultat lässt sich wie folgt zusammenfassen:

Jedes Stück, mit Ausnahme des ältesten, hat wagerecht kriechende Triebe ausgesprosst, und letztere haben auch schon Laubsprossen und gleichfalls einige Wurzeln auf dem ersten Knoten getrieben. Diese Versuche zeigen, dass selbst ein Stück dieser Pflanze kräftige Regenerationsfähigkeit hat.

4. *Ischæmum antheboroides.*

Über diese Pflanze habe ich schon vorher beschrieben und füge nachstehend ein Beispiel hinzu:

Versuch No. 19. Während der mit nur einer einzigen Wurzel isolierte Stengel keine Wurzel hervorgebracht hat, hat der mit zwei Wurzeln versehene Stengel eine Wurzel von 51 cm. Länge zwischen den beiden alten Wurzeln und noch zwei weitere, von

16 cm. bzw. 15 cm. Länge, auf dem unteren Knoten getrieben.

Als Ergebnis der isolierten Versuche kennen wir die Tatsache, dass, wenn ein Teil dieses Grases verletzt wird, die Wurzelbildung in Tätigkeit tritt, wenn auch die oberirdischen Laubsprossen allmählich zugrunde gehen.

5. *Phellopterus littoralis*.

Diese Pflanze hat, wie ich schon erwähnte, eine für die Regeneration sehr günstige Eigenschaft, weil sie mit vielen Ruhesprossen auf dem Wurzelstock versehen ist.

Versuch No. 11. Ein unterirdischer Teil wurde in drei Stücke

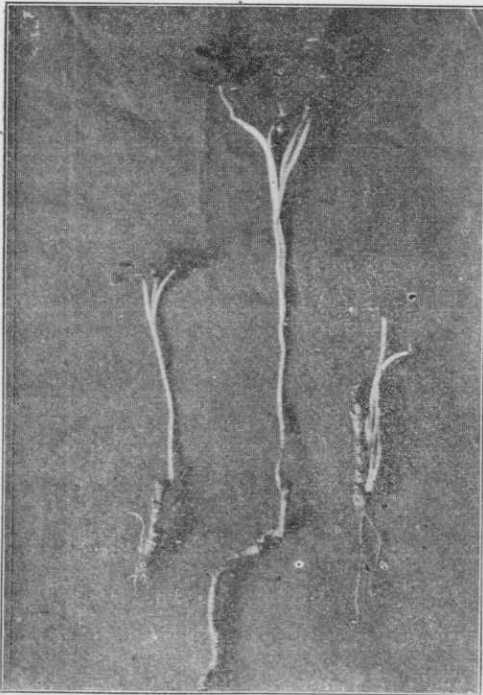


Fig. 6.—*Phellopterus littoralis*.

Drei aus einem Wurzelstock im Winter von einander getrennte Stücke. Von dem Stücke rechts alle Knospen mit Ausnahme der untersten entfernt.

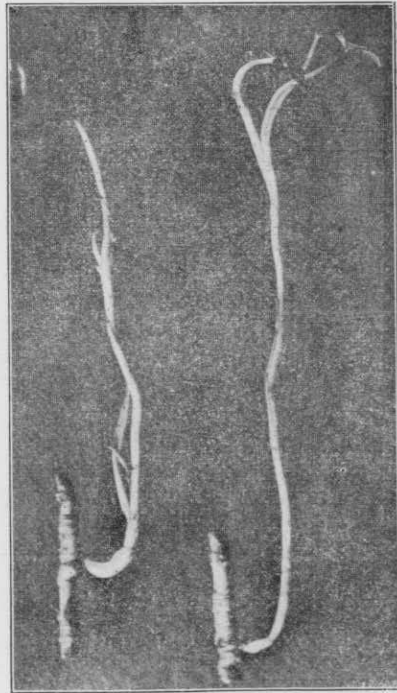


Fig. 7.—Dieselbe Pflanze.

Zwei 10 cm. lange Stücke, welche im Winter umgekehrt auf Dünen eingegraben wurden, trieben junge Sprossen (im April aufgenommen); von der rechten waren die basalen Knospen entfernt worden.

getrennt: (A) von 6 cm. Länge, (B) von 7 cm. und (C) Rest ohne Sprossanlage. Bis zum Dezember entwickelten sich bei den Stücken (A) und (B) die obersten Sprossanlagen, aber das letztere brachte keinen Laubspross hervor, obwohl es volle Lebensfähigkeit hatte.

Versuch No. 8. Ein Wurzelstock wurde in Tiefe von 5 cm. in zwei Teile getrennt.

Viele Wurzeln kamen an der Wunde des oberen Stücks hervor, aber an dem unteren Stück entfaltetete sich nur eine der Wunde am nächsten stehende Ruhesprossanlage, welche die Oberfläche schon im Dezember erreichte.

Versuch No. 4. Im Winter schnitt ich einen Wurzelstock in Tiefe von 8, 13 und 18 cm. ab und liess diese 3 Teile in diesem Zustande sich entwickeln. Nur von dem obersten Teile wurden die Laubblätter und alle Knospen, ausser der untersten, entfernt. Das Resultat in der Frühlingszeit, wie Fig. 6 zeigt, ist folgendes: In diesem Falle entwickelte sich die am obersten liegende Knospe, falls eine solche vorhanden war, und gleichfalls brachen viele Wurzeln an der geschnitteten Stelle hervor.

Versuch No. 6. In derselben Weise, wie beim vorigen Versuche, wurden zwei Stücke, jedoch im umgekehrten Zustande in den Sand gesteckt (Fig. 7). Trotzdem entfaltetete sich immer die apikale Knospe, wenn dieselbe unverletzt geblieben war.

Die Resultate im Sandfelde im Garten waren ganz ähnlich, wie beim vorigen Versuche im Naturzustande, nur ist es beachtenswert, dass die Stücke hier mit vielen Wurzeln versehen waren, wahrscheinlich wegen der genügenden Feuchtigkeit im Sande. Ausserdem ist es zu bemerken, dass das Rhizom-Stück bei verschiedenen Pflanzen (*Carex macrocephala*, *C. pumila*, *Ischaemum muticum*, *Lactuca repens*, *Calystegia Soldanella*, *Wedelia prostrata* und *Phellopterus littoralis*), wenn ihm ein Knoten bzw. eine

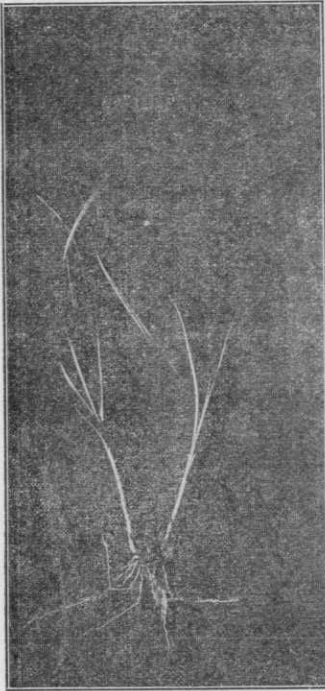


Fig. 8.

Carex macrocephala.

Ein 2 cm. langes Stück mit einem Knoten wurde im Sommer auf Quarzsand bei genügender Feuchtigkeit angelegt. Im Frühling entwickelten sich neue Sprossen.

Sprossanlage fehlt, keinerlei Neubildung von Organen zeigt, obwohl es im Sande viele Monate (vom Herbst bis zum Sommer) am Leben geblieben ist¹⁾. Dagegen sind die mit Sprossanlage versehenen Stücke beinahe alle wohl gediehen, indem sie Laubsprossen entfalteteten. Ein Beispiel von *Carex macrocephala* sehen wir in den Abbildungen 8.

Zum Schlusse möchte ich darauf aufmerksam machen, dass besonders bei den Stücken von *Lactuca repens* und *Lathylus martimus* Neubildung von Wurzeln in der Nähe der abgeschnittenen basalen Wunde, jedoch nicht an der apikalen Wunde stattfindet, und dass im allgemeinen die obere Partie (apikale) allmählich bis zum Knoten in Fäulnis übergeht.

Aus obigen Versuchen erleuchtet es, dass bei diesem kriechenden Rhizomstück die Polarität schon bestimmt ist.

B. Versuche im Laboratorium.

Folgende Versuche stellte ich mit *Lactuca repens* im Laboratorium an:

Rhizomstücke verschiedener Länge (5–20 mm.) wurden aufrecht in eine mit sterilisiertem, befeuchtetem Quarzsande gefüllte Schale gesetzt, die mit einer Glasglocke überdeckt war.

1) Einige Stücke von *Phellopterus littoralis* waren verfallen.

Nach einem Monate brachten die mit Knoten versehenen Stücke einen Spross, und die meisten auch zwei Wurzeln hervor, während alle Internodienstücke weder Spross noch Wurzel trieben. Somit ist es klar, dass sich nur die mit Knoten versehenen Stücke leicht entwickeln können. Bei einem weiteren Versuche benützte ich daher nur solche Stücke, die mit Knoten versehen waren. Diese in eine Schale gesetzten Stücke wurden an einer hellen, jedoch nicht der Sonne ausgesetzten Stelle, im Gewächshaus aufgestellt.

Das Ergebnis ist in folgender Tabelle zusammengefasst:

TABELLE XI.
Lebensfähigkeit der Rhizomstücke.

Rhizomstücke Länge in mm.	Anzahl	Zustand	Bemerkung	Resultat
5	13	aufrecht	ohne Knoten	gesund
10	12	"	"	"
10	6	"	halbes Stück ohne Knoten	"
15	3	"	ohne Knoten	"
5	5	umgekehrt	"	"
10	8	"	"	"
15	8	"	"	"
10	1	"	mit Spitze	abgestorben
10	1	aufrecht	"	"
5	2	"	mit Knoten	gesund, beide trieben einige Wurzeln aus
15	1	"	"	gesund, Spross erreichte bis zu 20 mm
10	4	unter Sand liegend	ohne Knoten	abgestorben
Blattstielstücke				
5	3	aufrecht	—	abgestorben
10	8	"	—	"
15	3	"	—	"

Versuch vom 20 X bis zum 18 XI, 1915.

Wie man aus dieser Tabelle leicht ersieht, erhielten sich die Rhizomstücke, mit Ausnahme der Spitzenstücke, sehr wohl, während alle Blattstiele abgestorben sind.

Die mit Knoten versehenen Stücke brachten Wurzeln oder Sprossen hervor, und strebten danach, sich zu entwickeln. Was das Absterben der unter Wasser liegenden Stücke anbetrifft, so möchte ich dasselbe auf den Mangel an Sauerstoff in der Wasserschicht zurückführen, deren Bedeutung schon VÖCHTING bewiesen hat.¹⁾

Ferner stellte ich einen Versuch über das Verhältnis zwischen der Spross- und Wurzelbildung unter Berücksichtigung der Polarität an. Zu diesem Zwecke steckte ich viele mit Knoten versehene Stücke gerade oder umgekehrt in den Sand, und nach einem Monat sowie nach drei Monaten, wurde die Anzahl der entwickelten Sprossen und Wurzeln festgestellt, wie aus der folgenden Tabelle ersichtlich ist:

TABELLE XII.
Regenerationsfähigkeit der Rhizomstücke.

Länge in mm.	Anzahl	Zustand	Nach einem Monate						Nach drei Monaten						
			Anzahl der		Anzahl d. gesunden				Anzahl der		Anzahl d. gesunden				
			abgestorb. Stücke	gesund. Stücke	W & S	2W & S	W	S	abgestorb. Stücke	gesund. Stücke	W & S	2W & S	3W & S	W	S
5	14	aufrecht	0	14	6	2	1	0	1	13	4	5	0	0	1
10	12	„	0	12	4	3	0	3	2	10	6	4	0	0	1
15	8	„	0	8	4	3	0	0	0	8	2	3	1	1	0
5	8	umge- kehrt	2	6	0	0	2	0	8	0	0	0	0	0	0
10	14	„	2	12	5	3	0	0	6	8	2	3	2	0	0
15	8	„	0	8	3	0	0	2	3	5	1	1	2	1	0

N.B.—W bedeutet eine Wurzel, S einen Spross und 2 W & S zwei Wurzeln und einen Spross etc. Versuche vom 22 II bis zum 22 V, 1916.

1) VÖCHTING, H.: Über Organbildung im Pflanzenreich. Bonn. 1878.

Durch diesen Versuch ist es erwiesen, dass bei den aufrecht gesetzten Stücken eine geringere Anzahl zugrunde geht, als bei den umgekehrt gesetzten Stücken. Bei den ersteren sind sogar nach drei Monaten noch 90% der Versuchsstücke gesund, während bei den letzteren die gesunden Stücke nach einem Monate auf 87% und nach drei Monaten schon auf nur 43% zurückgehen. Wir können somit verstehen, dass das horizontal kriechende Rhizom selbst in umgekehrter Lage ein ungünstiges Verhältnis darstellt. Die aufrechten Stücke verhalten sich ganz anders als die umgekehrten, und zwar die meisten der ersteren brachten neue Organe hervor, d.h. ca. 80% ihrer Versuchsstücke, während bei den letzteren nur 60% ihrer Versuchsstücke Wurzeln oder Sprossen austrieben.

Ich hatte hierbei Gelegenheit, die Beziehung zwischen Wurzel- und Sprossbildung auf dem Stücke zu sehen. Es ist kaum nötig zu sagen, dass zwischen beiden eine bedeutende Korrelationserscheinung zu beobachten ist. Welche von beiden Bildungen zuerst stattfindet, ist jedoch eine Frage. Nach der Tabelle XII ist die Anzahl der nur mit einer Wurzel versehenen und die der nur mit einem Spross versehenen Stücke zufällig gleich. Die Gesamtanzahl der nach drei Monaten aus den 36 Stücken neu hervorgebrachten Wurzeln ist 49, von denen 36 Wurzeln d.h. 74% der ganzen Wurzeln aus den neu ausgetriebenen Sprossen sich bildeten, während die übrigen auf dem Stücke nahe am Knoten ausgetrieben wurden. Die Resultate nach einem Monat zeigen andererseits, dass die Zahl der neu gebildeten Sprossen und Wurzeln 5 resp. 3 ist.

In manchen Fällen entwickeln sich daher zuerst die Sprossanlagen und dann sofort auf deren untersten Knoten ein oder zwei Wurzeln, welche schnell in den Boden hineinwachsen.

Zusammenfassung.

1. Die Rhizomstücke der *Carex*-Arten entfalten keine Sprossen, wenn sie auch im Sande lange Zeit ihre Lebenskeime behalten, dagegen ist dasselbe bei *Ischæmum anthephoroides* und *I. muticum* der Fall.

2. *Lactuca repens* und *Phellopterus littoralis* haben kräftige Regenerationsfähigkeit. Bei *Phellopterus littoralis* fängt der apikale Spross, ungeachtet der Lage des Stückes im Sande, sich zu entfalten an.

3. Die Polarität bei kriechenden Rhizomstücken ist bestimmt.

4. Bei Regeneration der Rhizomstücke von *Lactuca repens* trieben im allgemeinen zuerst die Sprossen und dann aus letzteren die Wurzeln hervor.

X. Anhang. Festigkeitmodul der unterirdischen Organe der Dünenpflanzen.

Wie die unterirdischen Organe in lockerem Sandboden bei heftigem Winde ihre oberirdischen Organe erhalten können, ist ein wichtiges Problem für die Dünenforschung.

Ein solcher Festigkeitmechanismus muss natürlich durch Rhizom und Wurzel gemeinsam gebildet werden.

Was die Widerstandsfähigkeit der Pflanzen gegen die Wirkung des Entwurzeln anlangt, so bedarf es des Festigkeitmoduls, d.h. der Maximalbelastung bei dem Zerreißen, und nicht des Tragmoduls. Deshalb stellte ich über die Dehnbarkeit der Fasern keine besonderen Versuche an. Es ist eine selbstverständliche Sache, dass das Festigkeitmodul in trockenem Zustande von geringem Wert ist. Da letzteres vom ökologischen Gesichtspunkte aus

betrachtet, wenig Bedeutung hat, benutzte ich nur frisch geerntete Materialien.

Die Versuche wurden oft wiederholt, und das Material sofort nach dem Zerreißen gemessen.

Die Resultate ergeben sich aus der folgenden Tabelle:

TABELLE XIII.
Festigkeitsmodul der unterirdischen Organe der
wichtigsten Dünenpflanzen.

Namen der Pflanzen	Organ	Bemerkungen	Belastung kg.	Durchmess. des Zentralzylinders mm.	Flächenraum des Zentralzylinders $\frac{\text{mm}^2}{\text{mm}^2}$	Festigkeitsmodul $\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$
<i>Lactuca repens</i>	Rhizom	Gefäßbündelring verholzt	1.4	2.56	5.038	0.28
<i>Calystegia Soldanella</i>	"	Stereoring und Epidermis verholzt	3.5	3.53	10.101	0.35
<i>Carex macrocephala</i>	"	Zentralzylinder ganz verholzt	13.0	1.70	2.270	5.73
"	Junges Rhizom	"	2.5	1.44	1.628	1.54
"	Wurzel	"	3.4	0.50	0.196	17.35
<i>Ischaemum muticum</i>	"	mit Ausnahme der Mark Zentralzylinder verholzt	1.3	0.57	0.255	5.10
<i>Lathyrus maritimus</i>	"	Ein Teil im Zentralzylinder verholzt	2.2	1.28	1.287	1.71
<i>Ischaemum antheophoroides</i>	"	Zentralzylinder ganz verholzt	6.0	0.64	0.322	18.63
<i>Fimbristylis sericea</i>	"	"	0.4	0.26	0.053	7.55

N.B. :— Obige Versuche wurden am 10. Feb. 1916 im Laboratorium ausgeführt.

Es ist nicht richtig, die Zentralzylinder ohne weiteres als mechanisches Gewebe, von welchem die Belastungstätigkeit der Gewebe grösstenteils abhängt, zu betrachten. Zum Vergleich der Stärke der Belastungskraft mit den unterirdischen Organen verschiedener Pflanzen ist es aber zweckmässig, die Zentralzylinder als Einheit der Belastungstätigkeit anzusehen.

Zum Schluss möchte ich über die Belastungstätigkeit einiger Dünenpflanzen kurz berichten:

Wie aus obiger Tabelle ersichtlich ist, ist das Festigkeitsmodul der Wurzel viel grösser als dasjenige des Rhizoms.

Bei *Carex macrocephala* besteht ein ausgeprägter Unterschied des Festigkeitsmoduls zwischen dem jungen Rhizom und dem alten. Ein Rhizom dieses Grasses erträgt eine Belastung von über 13 kg. Weil das Rhizom mit so starker Belastungskraft versehen ist, kann dieses Gras sich über einen solch weiten Raum ausbreiten. Auch sehen wir, wie stark die Belastungskraft seiner Wurzel ist, durch welche dieses Rhizom im lockeren Sande befestigt ist.

Die Wurzeln von *Ischaemum antheplioroides* zeigen eine grössere Belastungstätigkeit, und zwar ihre Faser kann im Milimeterquadrat ein Gewicht von 18.6 kg. halten, was für eine gewöhnliche Wurzel von *Ischaemum antheplioroides* ca. 6 kg. beträgt. Da diese Pflanze mit so vielen solchen Wurzeln (oft 30-60) im Sandboden verwachsen ist, können wir leicht vermuten, wie gross ihre Widerstandsfähigkeit gegen Entwurzelung ist.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
I. Einleitung	1
II. Allgemeine Eigenschaften der Dünenpflanzen	4
III. Geographische Verhältnisse der Ōta Dünen	8
A. Edaphische Bedingungen	10
B. Klimatische Bedingungen	12
IV. Verbreitung der Dünenpflanzen auf den Ōta Dünen	17
A. Geographische Verbreitung der Dünenflora	18
B. Topographische Verbreitung der Dünenflora	20
V. Art und Weise der Vermehrung der Dünenpflanzen	25
VI. Widerstandsfähigkeit der Dünenpflanzen gegen Sandüberstäubung	36
Anhang. Ruhezeit der Dünenpflanzen	42
VII. Widerstandsfähigkeit der Dünenpflanzen gegen Trockenheit	43
VIII. Wassergehalt und Wasserverdunstung der unterirdischen Organe von Dünenpflanzen	47
A. Wassergehalt der unterirdischen Organe	49
B. Wasserverdunstung der Dünenpflanzen	52
IX. Regenerationsfähigkeit der Dünenpflanzen	56
A. Versuche im Naturzustande	56
B. Versuche im Laboratorium	61
X. Anhang. Festigkeitmodul der unterirdischen Organe der Dünenpflanzen	65

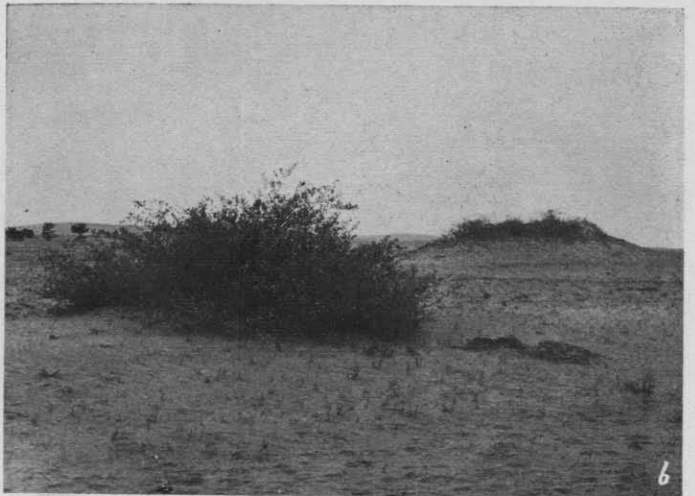
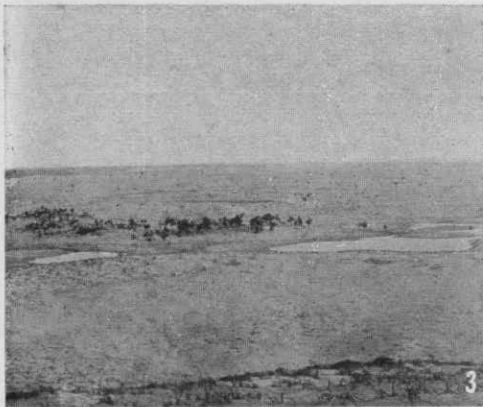
Y. Yoshi,

Oekologische Studien über Vegetation der Ōta Dünen.

Tafel I.

Erklärung der Tafel I.

- Fig. 1. Walddünen (Kiefern Wald) vom Toné Fluss aus gesehen.
Pinus Thunbergii ist angepflanzt; davon links *Juniperus rigida*.
- Fig. 2. Sandfeld; befestigt mit *Ischæmum antheplioroides*, *I. muticum*, *Phellopterus littoralis*, und halb mit Sand überschütteten Kiefern. Im Hintergrund *Elcagnus*-Horste zu sehen; rechts am Horizont befindet sich eine Dünenkette.
- Fig. 3. Vertieftes Sandfeld.
Nach Hochwasser verwandeln sich die vertieften Stellen in Teiche; vorn *Carex macrocephala*-Formation zu sehen.
- Fig. 4. Sandstrand an der Kashimasee.
Wenig erhöhte Vordünen mit *Phellopterus littoralis* und *Wedelia prostrata* Formationen.
- Fig. 5. *Juniperus*-Horste im Sandfelde, einige Kiefern angesiedelt; im Hintergrund gürtelartige Dünenkette.
- Fig. 6. *Elcagnus*-Horste im Sandfelde; zu bemerken, dass beide Horste je nach ihrem Alter von verschiedener Gestalt sind.



Yoshii photo.

Y. Yoshii: Oekologische Studien über Vegetation der Ōta Dünen.

Y. Yoshii,

Oekologische Studien über Vegetation der Ōta Dünen.

Tafel II.

Erklärung der Tafel II.

Fig. 7. *Carex pumila*-Formation in vertieftem Dünenfelde.

Im Hintergrunde ein Sandhügel, auf dessen Gipfel *Carex macrocephala* gedeihen.

Fig. 8. *Carex macrocephala*-Formation auf dem Gipfel des Hügels, der auf Fig. 7 in der Entfernung zu sehen ist.

Fig. 9. *Phellopterus littoralis*.

Mit Sand bedeckte Pflanze. Die ruhende Knospe fing sich wegen Sandüberstäubung zu entwickeln an. Spross rechts erreicht noch nicht die Oberfläche (Beide im Winter bei Kugenuma Sandstrand gesammelt).

Fig. 10. *Ischaemum antheboroides*.

Links drei vom Sommer bis Frühling mit Sand überschüttete Pflanzen; Rechts normaler Zustand im Frühling. Zu bemerken ist, dass bei sandbedeckten Pflanzen neue Laubsprossen, anstatt des unteren Knoten, wo alte Wurzeln getrieben hatten, aus dem 5. oder 6. ten Knoten hervorkommen.

Fig. 11. Mit Sand überschüttete Stücke von *Calystegia Soldanella*.

Im Herbst im Sande im Gewächshause eingegraben und im Winter aufgenommen.

Fig. 12. *Ischaemum antheboroides*, auf dem Sandfelde durch Wind ausgegrabene Pflanze (aufgenommen im April).

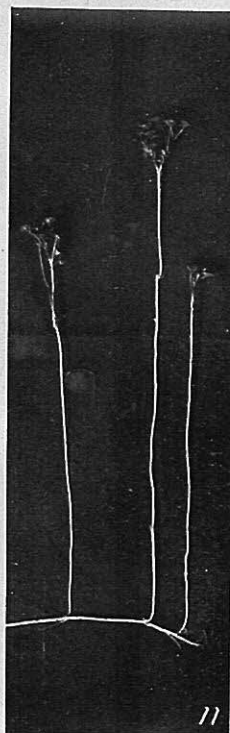
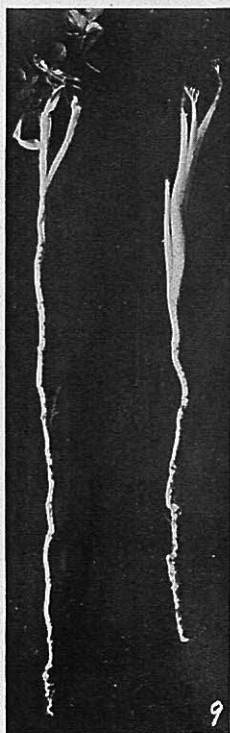
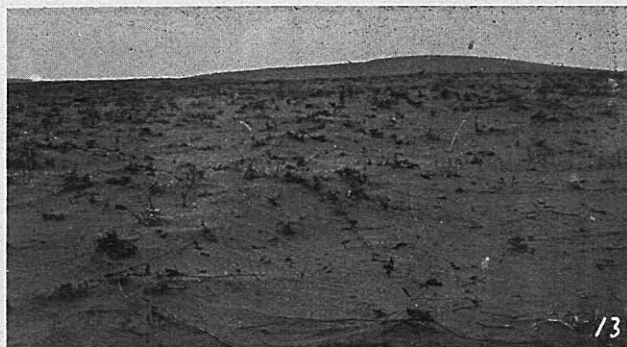
Viele Wurzeln dienen in wagerechter Verbreitung zur Befestigung der Pflanze in lockerem Sandboden.

Fig. 13. Eine durch Wind freigelegte *Carex macrocephala*-Formation.

Rhizom der Luft ausgesetzt. Haben sogar im Frühling fast nie Neubildungskraft von Sprossen. (Aufgenommen im April bei Ōta Dünen) Vergl. Fig. 8.

Fig. 14. *Phellopterus littoralis*, auf vertieftem Sandfelde wachsende Pflanze.

Der Sand war von der Oberfläche weggespült oder fortgeblasen. Infolgedessen vertrocknete der obere Teil der Pflanze allmählich, und die im Sande ruhende Knospe entfaltete sich.



Yoshii photo.

Y. Yoshii: Oekologische Studien über Vegetation der Ōta Dünen.