

3. Studien über die Wirkungen des Windes in den kalten und gemässigten Erdteilen.

Von

Carl Samuelsson.

Inhalt.

	Seite.
Einleitung.....	58
Allgemeine Übersicht über das Untersuchungsgebiet.....	60
Charakteristik der Windverhältnisse in den Polargebieten	69
<i>Lokale Winde</i>	69
» <i>Intermitting gales</i> ».....	70
<i>Lokale Fallwinde</i>	71
Die geologische und geographische Arbeit des Windes	90
<i>Vergleich zwischen der Arbeit des Windes in verschiedenen Klima-</i> <i>regionen</i>	90
<i>Die Bedeutung des Windes als Beförderer von Verwitterungs-</i> <i>material in den kalten Gebieten</i>	93
<i>Staubtreiben an Schnee gebunden</i>	98
<i>Schneetreiben</i>	104
<i>Schneetreiben als erodierender Faktor</i>	113
Einwirkung des Windes auf die Vegetation	118
<i>Zusammenhang zwischen Bodenbeschaffenheit und Vegetation unter</i> <i>verschiedenen Stadien des Deflationszyklus in verschiedenen</i> <i>Gebieten</i>	118
<i>Die Einwirkung des Windes auf Aussehen und Ausbreitung der</i> <i>Vegetation in den Polargebieten und im Hochgebirge. Bar-</i> <i>flecken, Fliesserde</i>	129
<i>Die Einwirkung des Windes auf die Waldbäume innerhalb der</i> <i>eigentlichen Waldgebiete</i>	147
<i>Die Einwirkung des Windes auf die Vegetation in den Kampf-</i> <i>gebieten der Wälder</i>	158
Winderosion auf Mooren und Sumpfboden.....	169

	Seite.
Winderosion auf Kulturboden	177
<i>Die Bodenverschlechterung und ihre Ursachen</i>	178
<i>Die Deflation auf Ackerboden</i>	184
<i>Einige Methoden zur Bestimmung der Deflation und ihres Grades</i>	199
<i>Versuch zur Schätzung des jährlichen Deflationsbetrages</i>	214
<i>Einige Vorkehrungen um der Bodenverschlechterung durch Defla- tion entgegenzuarbeiten</i>	219
Litteraturverzeichnis	224

Einleitung.

Es ist klar, dass bei der Behandlung eines solchen Themas wie z. B. die geologische und geographische Bedeutung der Winde innerhalb so weit getrennter Gebiete wie z. B. die Polargebiete und Südsandinavien betreffs der Disposition des Materiales und dergleichen gewisse Schwierigkeiten entstehen. Diese Schwierigkeiten völlig zu überwinden ist nicht möglich.

Die hier befolgte Disposition ist am ehesten als ein Kompromiss zwischen vielen verschiedenen Vorschlägen zu betrachten, die aus dem einen oder dem anderen Grunde nicht zur Ausführung gekommen sind. Inwiefern sie die Beste ist, ist schwer zu entscheiden, doch konnte sie mit Hinblick auf die Natur der Arbeit und ihr Ziel kaum anders ausfallen.

Wie aus der Inhaltsübersicht hervorgeht, kann die Abhandlung in zwei Hauptabteilungen gegliedert werden: die Einwirkung des Windes auf Naturboden und die Einwirkung des Windes auf Kulturboden. Das ist einer der Einteilungsgründe. Ein zweiter gründet sich auf eine, in gewisser Beziehung nach dem Klima vorgenommenen, Regionaleinteilung: die Einwirkung des Windes in den Polar- und Hochgebirgsgebieten, in den Waldgebieten, in den Waldgrenzengebieten, in Moor- und Sumpfböden und schliesslich auf dem, den letzteren nahestehenden Kulturboden.

Diese verschiedenen Regionen sind nicht Gegenstand einer näheren Spezialbeschreibung geworden, doch wurden in den angeführten Beispielen so viele Äusserungen eingeflochten und ausgewählte Beobachtungen erwähnt, dass eine Spezialbehandlung der verschiedenen Regionen überflüssig erscheinen kann. Als Spezialmitteilungen über die beiden wichtigsten Untersuchungsgebiete ausserhalb des eigentlichen Skandinavien können zwei von mir früher veröffentlichte Arbeiten betrachtet werden, nämlich über Spitzbergen: »Till frågan om vinderosion i arktiska trakter med särskild hänsyn till de å Spetsbergen rådande förhållandena» (Ymer 1921, H. 3) und betreffs Island: »Några studier över erosionsföreteelserna på Island» (Ymer 1925, H. 2—3). Was ich in diesen Arbeiten gesagt habe, erfährt durch vorliegende Abhandlung keinerlei Veränderung.

Betreffs des letzten Teiles der Abhandlung, der sich mit der Einwirkung des Windes auf Kulturboden beschäftigt, ist zu bemerken, dass er nicht als eine abgeschlossene Untersuchung zu betrachten ist, da viele der experimentellen Untersuchungen, die ich begonnen habe, wohl kaum vor einigen Jahrzehnten, und vielleicht auch dann nicht, ein zuverlässiges Resultat liefern können. Die Resultate und Schlussätze, die in diesem Teile der Arbeit mitgeteilt werden, dürfen daher nur als eine Art preliminärer Resultate betrachtet werden. Vielleicht können spätere Untersuchungen in gewisser Hinsicht die Werte berichtigen, die von mir schätzungsweise mitgeteilt wurden. Der Grund, weshalb ich trotzdem diesen Teil meiner Untersuchungen mit eingeschlossen habe, ist teils der, dass sie auch auf dem gegenwärtigen Stadium der Untersuchungen ein gewisses theoretisches Interesse er bieten, teils, dass ich womöglich die Aufmerksamkeit auf die fraglichen Vorgänge richten wollte. Es wäre recht wertvoll, wenn Jemand, dem dazu die Gelegenheit geboten ist, ähnliche Untersuchungen, womöglich mit andern Methoden als den von mir angewendeten, anstellen wollte. Das ist der zweite Grund, weshalb ich die Untersuchungen jetzt veröffentliche, obwohl ich mir ihrer Mängel lebhaft bewusst bin. Selbst bin ich fest überzeugt, dass die geschilderten Phänomene genereller Natur sind und dass sie, nicht zumindest wegen ihrer grossen ökonomischen Konsequenzen, nicht nur von der Seite des Wissenschaft, sondern auch der der Landwirtschaft aller Aufmerksamkeit wert sind.

Ich habe mich betreffs der Charakteristik der Windtypen der Polargebiete auf die Behandlung der lokalen Winde beschränkt und nur die Ansichten näher entwickelt, zu denen man diesbezüglich gelangt ist. Vieles ist noch in diesen Teilen unserer Erde zu erforschen und die Ansichten über die wirkliche Natur der Luftdruckverteilung und der dadurch veranlassten Winde widersprechen einander noch in vielen Punkten.

Alle zu nennen, die mir während des Ganges meiner Arbeit auf die eine oder andere Weise beigetragen haben, ist nicht möglich. Die Dankbarkeit und Verbundenheit, die ich vielen hier nicht Genannten gegenüber empfinden muss, verstehe ich nur selbst.

In erster Linie will ich einen Dank an meine Eltern richten für alles Erdenkliche — dass ich ihren Boden mit mehr oder weniger erfolglosen Versuchen gefährden durfte und für die Stütze, die praktische Erfahrung liefert. Zu meinem Lehrer und Freund Professor AXEL HAMBERG stehe ich in tiefer Dankesschuld für all die Geduld und all das Wohlwollen, das er mir während vieler Jahre bewiesen hat und nicht zumindest für die heilsame Kritik, die er oft geübt hat. Auch Professor CARL WIMAN, meinem Freund und Lehrer, der mich im Sommer 1917 nach Spitzbergen geschickt hat und damit der Urheber meines seitdem nicht erloschenen Interesses für die Polarländer gewesen ist und der mir nun diese Zeitschrift für diese Arbeit zur Verfügung stellt, will ich danken. Zu meinem ersten

Lehrer in Upsala, Professor A. G. HÖGBOM, dessen Unterweisung ich genossen habe, zu Professor RUTGER SERNANDER, an dessen Seminar ich zuerst meine Gedankengänge darlegen durfte, zu Professor ERIK STENSIÖ, der mich mit nach Spitzbergen nahm, zu Phil. Dr. EINAR WIRÉN, mit dem ich dort 1921 zusammenarbeiten durfte, und zu vielen anderen Lehrern und Expeditionskameraden stehe ich in tiefer Dankesschuld. Ausserdem habe ich von Prof. Freiherr GERARD DE GEER, Stockholm, bei der Planlegung von verschiedenen Expeditionen viele Ratschläge und Aufklärungen erhalten, für welches Wohlwollen ich ihm tief verbunden bin und Gleiches gilt von vielen meiner hiesigen Lehrer und Freunde.

Für das ausserordentliche Wohlwollen und alle Hilfe, die mir auf Island im Sommer 1923 zu Teil wurde, sei an Direktor THORKELL THORKELSSON, Reykjavik, Realschullehrer GUÐMUNDUR BARÐARSSON, Akureyri, und Bibliothekar HALLGRIMUR HALLGRIMSSON, Reykjavik, ein besonderer Dank gerichtet. Den nun verstorbenen Professor HELGI JÓNSSON kann mein Dank nicht erreichen. Einen warmen Dank richte ich an meinen Freund und Kamerad auf dieser Reise, Phil. Mag. NILS FOGELQVIST.

Für das ausserordentliche Wohlwollen, das mir in der Form materieller Unterstützung meiner Studien bewiesen wurde, stehe ich gegenüber verschiedenen Fonds und Gesellschaften in Dankesschuld. Diese sind: Telefondirektören H. T. Cedergrens Uppfostringsfond, Stockholm, Geografiska Föreningen, Upsala, Geologiska Sektionen, Upsala, Liljewalchs Stipendiefond und Sederholms Stipendiefond in Upsala sowie Svenska Sällskapet för Antropologi och Geografi in Stockholm.

Meinem Freund, Dr. Phil. O. ZDANSKY, der die Übersetzung besorgt hat, will ich meinen warmen Dank aussprechen und schliesslich ihr, die während aller dieser Jahre meine beste Stütze war, meiner Frau.

Allgemeine Übersicht über das Untersuchungsgebiet.

Das Gebiet, dessen Naturverhältnisse bezüglich Winderosion und damit zusammenhängende Phänomene den Gegenstand dieser Untersuchung bildet, ist keine geschlossene Einheit. Diesen Studien zugrunde liegen teils Beobachtungen, die während zweier Expeditionen nach Spitzbergen in den Sommern 1917 und 1921, einer nach Island 1923 und während einer grossen Anzahl von Reisen und Exkursionen in verschiedenen Teilen unseres Landes während verschiedener Jahre angestellt wurden, teils Litteraturstudien. Gelegentlich wurden im Anschluss an diese Reisen und Expeditionen auch Teile des nördlichen Norwegen (Finnmarken), Dänemark und Schottland besucht. Am weitesten erstreckten sich die persönlichen Untersuchungen im Norden bis $78^{\circ} 50'$ N. Lat. und im Süden bis ungefähr 55° N. Lat. Das Gebiet erstreckt sich somit von Norden nach Süden über ca. 24 Breitengrade oder etwa ein Viertel des Erdmeridianquadranten. Es ist somit offenbar, dass ein so ausgedehntes Gebiet in

seinen verschiedenen Teilen höchst beträchtliche Unterschiede aufweisen muss. Am besten wird das vielleicht klar, wenn man die mittlere Jahrestemperatur in verschiedenen Teilen des Gebietes in Betracht zieht. Diese beträgt für Zentralspitzbergen ca. $-8,2^{\circ}$ C, für Südschweden (Lund) ca. $+7,2^{\circ}$ C, d. h. der Unterschied zwischen diesen beiden Jahresmitteln beträgt ca. $15,4^{\circ}$ C.

Ungefähr ebenso gross ist der Unterschied zwischen den Julitemperaturen und den Januartemperaturen.

Island nimmt in gewisser Beziehung eine Mittelstellung ein. Gewiss wird es nach SUPAN (1879, pp. 349—352; 1916, p. 101) und (KÖPPEN (1884, p. 215) zum Polargebiet gerechnet, da die Mitteltemperatur für den wärmsten Monat $9,4^{\circ}$ C beträgt, also unter 10° C liegt. Da aber andererseits die mittlere Jahrestemperatur Islands für das Land als Einheit nach THORODDSEN (1914, p. 283) $+2,5^{\circ}$ C beträgt, müssen wir recht weit ausserhalb des eigentlichen Polargebietes gehen, um entsprechende Verhältnisse zu finden, da Island betreffs einer positiven Wärmeanomalie unmittelbar nach Norwegen kommt. Um Orte mit entsprechender Jahrestemperatur zu erreichen muss man in Amerika ca. 13—14 Breitengrade südlicher als Island gehen, nämlich in das Gebiet von Winnipeg, Port Arthur, Anticosti, etc. und in Asien sogar bis nach Charbin auf ca. 44° N. Br. Die Jahrestemperatur Islands entspricht somit ungefähr der des Mittleren Norrland. Wollte man weiters die Temperatur des kältesten Monats berücksichtigen, so würde sich die Verschiedenheit weiter verschärfen. Aus diesem Grund will ich Island als ein Übergangsbereich zwischen den hochnordischen Ländern und den Polargebieten und nicht als völlig der Polarzone zugehörig betrachten. Nur in der Nähe der grossen Jökelmassive kann man ein polares Klima als herrschend betrachten, und auch dort nur im Winter, etwa auf dieselbe Weise, wie in vereisten Hochgebirgsgebieten an anderen Orten ausserhalb der eigentlichen Polargebiete.

Für die Polargebiete haben verschiedene Forscher, u. A. MOHN, MEINARDUS und SIMPSON, Temperaturtabellen ausgearbeitet, welche die berechnete durchschnittliche Temperatur für verschiedene Breitengrade von 60° bis zu höheren Breiten angeben.

Ich teile hier eine Tabelle nach SIMPSON (1919, p. 93) mit.

Breite	Mitteltemperaturen nach		Diff.
	MEINARDUS, Südliche Breiten	MOHN, Nördliche Breiten	
60°	— $3,5^{\circ}$ C	— $1,1^{\circ}$ C	2,4
70°	— 12,4	— 10,7	1,7
80°	— 20,6	— 18,1	1,9
90°	— 25,0	— 22,7	2,3

Indess ist SIMPSON (l. c., p. 92) der Ansicht, dass MEINARDUS' Werte aller Wahrscheinlichkeit nach zu hoch sind, da die bei Framheim

und in der Nähe von The Great Barrier usw. angestellten Untersuchungen zeigen, dass die Temperatur bedeutend niedriger als die von MEINARDUS angegebene sein muss.

Ob nun die Ziffern geändert werden sollten oder nicht, zeigt es sich jedenfalls, dass die Temperatur auf einer gewissen Breite im südlichen Polargebiet bedeutend niedriger ist als auf der entsprechenden Breite im Nordpolgebiet.

Es kann sich hier natürlich nicht darum handeln, die allgemeinen klimatologischen Erscheinungen innerhalb des Gebietes in seiner Gänze näher zu analysieren. Was Schweden betrifft, so verweise ich auf die von Statens Meteorologisk-Hydrografiska Anstalt herausgegebenen offiziellen Publikationen sowie auf gewöhnliche Nachschlagewerke, und für Island ausser auf das von Löggildingarstofan, Section Météorologique, Reykjavik, herausgegebene Íslensk Vedurfarsbók (Annuaire météorologique d'Islande), übrige Sammelwerke und Nachschlagebücher in erster Linie auf THORODDSEN's Arbeiten. Was Spitzbergen betrifft, so ist eine ganze Reihe von Arbeiten über Meteorologie und Klimatologie hauptsächlich in K. Svenska Vetenskapsakademiens Publikationen zu finden, und über Grönland in Meddelelser om Grönland, Österr. Met. Zeitschr. und andern Arbeiten. Über die übrigen Teile des nördlichen Polargebietes existiert, wie bekannt, eine recht umfassende Litteratur, vor Allem Expeditions-litteratur, sowie Rapporte der Länder, die an den internationalen Polaruntersuchungen teilgenommen haben.

Als eine Zusammenfassung über die klimatischen Verhältnisse der Polargebiete können folgende Angaben dienen.

Temperatur innerhalb des ganzen Gebietes niedrig, Jahresmittel in der Regel unter 0°C , weshalb fließendes Wasser selten vorkommt. Die Luft ist im Allgemeinen sehr trocken. Nach HANN (1911, p. 593) ist die Luft sowohl absolut als relativ sehr trocken und er sagt: »Zu Port Boven ($73^{\circ} 13'$ N. Br.) hat man sich vergebens bemüht . . . mit Daniells Hygrometer Taupunktsbestimmungen zu machen. Mehrmals wurde bei heiterem, ruhigem Wetter und einer Lufttemperatur von -34 und -37°C die Temperatur des Äthers bis auf -43 und -45°C herabgebracht, ohne dass sich ein Beschlag an dem Gefäss gezeigt hat» und für das Südpolgebiet gelten ähnliche Verhältnisse. So hat BODMAN (1908, Tab. III) gezeigt, dass die Luftfeuchtigkeit sehr gering ist. Dies ist besonders während des Winters der Fall. Das Minimum wurde bei Snow Hill am 11. Sept. 1902 mit 13 % erreicht und Werte von 18, 19, 20 % treten nicht selten auf.

Betreffs der allgemeinen Luftdruckverhältnisse und der allgemeinen Luftzirkulationsverhältnisse herrscht natürlich sehr grosse Unsicherheit, was auf dem ziemlich heterogenen Untersuchungsmaterial beruht.

Früher war man der Ansicht, dass die allgemeine Luftdruckverteilung nach den Polen zu ziemlich konstant abnehme, so dass die Isobaren dort dem Parallelkreisen ziemlich konform folgen sollten. Man wusste

indess, dass das nördliche Polargebiet darin gewisse Abweichungen aufwies. Über dem Polarbecken selbst liegt statt dessen ein verhältnismässig hoher Luftdruck, über angrenzenden Teilen des pazifischen und atlantischen Ozeans liegen zwei grosse Luftdruckminima und über angrenzenden Teilen von Amerika und Eurasien zwei Maxima, welche letztere durch eine Hochdruckzone über dem Nördlichen Eismeer zwischen dem Nordpol und der Behrings-Strasse mit einander verbunden sind. Nach HANN (1911, p. 601) liegt das innere Nordpolgebiet ausserhalb des Gebietes der stärksten Stürme und HANN teilt nach VINCENT (1910) Folgendes mit: »Je weiter man nach Norden geht, desto 'kurzlebiger' werden die Barometerminima, sie haben keine so lange Dauer, wie in den gemässigten Breiten».

Was das Südpolargebiet betrifft, so hat man auch dort gefunden, dass gewisse Erscheinungen darauf hindeuten, dass eine allgemeine Abnahme des Luftdruckes von ungefähr 35° S. Br. nicht stattfindet, und es ist sogar gezeugt worden, dass die bekannten »roaring forties« keineswegs so konstante Westwinde sind, wie man geglaubt hatte. So sagt SIMPSON (1910, p. 207): »Sailors however realised that the winds in the region of the 'roaring forties' were anything but consistently from the west. For example Terra Nova on her journey from Cape Town to Australia in 39° S. and 35° E. encountered a strong east-south-easterly gale with wind forces up to 9 on the Beaufort scale. In fact over the Southern Ocean the winds back and veer with changes of the barometer exactly as they do in other temperate regions. Further, Antarctic expeditions have shown, that the pressure is lowest near to 60° S. latitude, beyond which the barometer rises as far as observations have been made at sea-level towards the Pole, and over the southern half of the ocean there is an easterly wind as strong and persistent as the westerly wind over the northern half.»

Es zeigt sich somit, dass über dem antarktischen Kontinent ein ziemlich konstantes Luftdruckmaximum weilt, was auch aus vielen Untersuchungen hervorgeht. MEINARDUS (1909) ist jedoch einer gegenteiligen Ansicht und meint, dass über Antarktis ein Luftdruckminimum belegen sein müsse.¹

¹ Wenige Probleme dürften Gegenstand so vieler Diskussionen gewesen und über wenige dürften so viele verschiedene Theorien geäussert worden sein, wie gerade über die Naturverhältnisse auf dem antarktischen Kontinent und besonders die Windverhältnisse daselbst.

Hier kann nicht die Rede davon sein näher auf eine Diskussion der verschiedenen Theorien einzugehen, die zur Erklärung der für die Antarktis typischen Winde und ihrer Natur aufgestellt wurden, da es ja nicht das Ziel dieser Abhandlung ist, die Ursache der Winde anzugeben, als vielmehr ihre geographische und geologische Bedeutung in diesen Trachten zu untersuchen. Ich hoffe jedoch in einem anderen Zusammenhange Gelegenheit zu haben, die verschiedenen Theorien zu vergleichen und einzeln zu diskutieren. Hier sei nur die von HOBBS 1915 aufgestellte Theorie erwähnt, in welcher er die Vermutung ausspricht, dass die Winde von der abkühlenden Wirkung des Landes auf die

Als einer der wichtigsten Beweise für das Vorhandensein eines Antizyklon darf man wohl den Umstand betrachten, dass der absolut überwiegende Teil der in der Antarktis blasenden Winde vom Land gegen das Meer zu gerichtet ist. BODMAN, der die Windverhältnisse in Antarktis eingehend studiert hat, teilt (BODMAN, 1910, p. 127) zwei Tabellen über die Windrichtungen bei Snow Hill mit und sagt (l. c., p. 128) dass die SSW-Winde in diesem Gebiet so vollständig dominieren, dass man mit Ausnahme von einigen wenigen Prozenten gerade entgegengesetzter Winde sich um die beiden anderen Quadranten nicht zu kümmern braucht, und ähnliche Angaben findet man bei vielen anderen Verfassern.

Wegen der geringen Anzahl der Beobachtungen und da sich dieselben in der Regel nur über relativ kurze Zeitspannen erstreckten, hat man in den Polargebieten nicht dieselben Möglichkeiten die Windfrequenz und die damit zusammenhängenden Phänomene zu studieren wie in anderen Teilen der Erde. Immerhin kann man sich aus den Untersuchungen, die von einer Mehrzahl von Expeditionen angestellt wurden, eine gewisse Auffassung über Stärke, Frequenz usw. der Winde bilden. Die eingehendsten Untersuchungen über die arktischen Gebiete sind zweifellos die, welche während der Framexpedition 1893—96 angestellt und von MOHN (1905) bearbeitet wurden. Auch aus der Antarktis, die ja in der letzten Zeit Gegenstand recht zahlreicher wissenschaftlicher Expeditionen war, wurden schöne Serien von grossem Wert zusammengebracht. Es wäre unangebracht, hier einige Namen zu nennen oder auf irgend eine besondere Expedition Rücksicht zu nehmen, alle Expeditionen haben hier eine

Luftmassen verursacht werden, wobei der Antizyklon von dieser Abkühlung hervorgerufen wird, die Blizzards aber dadurch, dass sich die abgekühlten Luftmassen momentan freimachen und die Böschung herabströmen. Diese Theorie, die im Übrigen recht plausibel ist, wird jedoch von SIMPSON (1919) angegriffen, welcher der Meinung ist, dass HOBBS' Theorie nicht geüßt. Gleichzeitig nimmt SIMPSON auch Abstand von MEINARDUS' Theorie, nach der über Antarktis ein Minimum herrschen sollte. SIMPSON selbst ist der Ansicht, dass sich über Antarktis ein Antizyklon befindet, ausserdem aber noch ein anderer Faktor »neither cyclonic nor anticyclonic which factor at McMurdo Sound is clearly the blizzard»... (SIMPSON, 1919, p. 107).

In Übereinstimmung mit BODMAN (1910) hält SIMPSON diese für »Travelling pressure waves... in an approximately north-westerly direction. These waves modify the normal pressure distribution, sometimes intensifying it, when the normal air current over the west of the Barrier develops into a blizzard, and sometimes completely reversing it when northerly winds are experienced...» (SIMPSON, l. c., p. 239).

Die Frage, welche dieser Theorien die richtige ist, muss, da die Meinungen immer noch geteilt sind, bis auf Weiteres offen bleiben. Im Grossen und Ganzen scheinen jedoch, auch wenn die Theorien oft stark von einander abweichen, so viele gemeinsame Ansichten vorhanden zu sein, dass ein Kompromiss zwischen allen möglich sein dürfte. Und es ist keineswegs unglaublich, dass die Theorie, die von SIMPSON am meisten angegriffen wird, nämlich HOBBS, dereinst siegreich bleibt, wenn auch mit gewissen Modifikationen, wenn erst einmal die Kenntnis dieser ungastlichen Gebiete und der dieselben beherrschenden Naturgesetze eine gründlichere geworden sein wird.

bedeutungsvolle Arbeit niedergelegt und die eine vor allen anderen zu nennen scheint mir eine gewisse Ungerechtigkeit mit sich zu führen. Ich führe daher hier nur eine von SIMPSON (1919 I, p. 106) angefertigte Zusammenstellung über die Windfrequenz in den Polargebieten an.

Station	Periode Monate	Windgeschwindigkeit in Sekundenmetern												
		0 bis 1,8	1,9 bis 4,0	4,1 bis 6,3	6,4 bis 8,5	8,6 bis 10,7	10,8 bis 13,0	13,1 bis 15,2	15,3 bis 17,4	17,5 bis 19,7	19,8 bis 21,9	22,0 bis 24,1	24,2 bis 26,4	< 26,4 M/S
Framheim . .	10	42,2	25,9	16,1	8,0	3,6	1,9	1,4	0,6	0,3	—	—	—	—
Cape Evans . .	20	22,4	15,3	8,6	7,6	7,7	8,2	7,7	6,7	6,2	4,8	2,6	1,3	1,0
Cape Adare .	10	72,0	7,5	5,0	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	3,0
Snow Hill . .	19	20,3	14,4	11,7	10,7	9,9	7,8	6,8	5,2	5,1	3,9	2,2	1,3	0,8
Gauss Station	11	27	19	13	12	10	7	3	3	3	2	—	—	—
Kerguelen . . .	12	1,1	8,0	17,8	22,4	25,6	15,2	6,0	2,9	0,6	0,2	0,1	—	—
Nordpolar- gebiet . . .	24	8,7	41,4	31,4	12,3	4,2	1,4	0,5	0,1	—	—	—	—	—

Aus diesen Tabellen geht hervor, dass die Sturmfrequenz in der Antarktis bedeutend grösser ist als in der Arktis. Den Rekord hält in diesem Fall Cape Evans, wo über 38,5% aller Winde mit einer Stärke von 10 m in der Sekunde und mehr blasen, 1% der Winde sogar mit über 26,4 ms (60 miles per hour).

Rechnen wir mit den Winden, die mit einer Stärke von mehr als 10,7 Metern in der Sekunde wehen, so finden wir, dass dieselben für die verschiedenen Stationen i Prozent ausmachen: Snow Hill: 33,1%, Gauss Station: 18,0%, Cape Adare: 7,0%, Framheim: 4,2%. Weiters kommt in derselben Tabelle Kerguelen mit 25 und schliesslich das Nordpolgebiet mit 2%.

Für die Windfrequenz in den übrigen Teilen der Polargebiete verweise ich auf HANN: Lehrbuch der Klimatologie I—III. (Stuttgatt 1908—1911.)

Was den Niederschlag in den Polargebieten betrifft, so fällt derselbe hauptsächlich in Form von Schnee. Schnee wird besonders ausgefällt, wenn relativ feuchte, auflandige Winde wehen und von den Landmassen zum Aufsteigen gezwungen werden, wobei die Luft abgekühlt und die Feuchtigkeit ausgefällt wird. Es wäre indess denkbar, dass in einem Antizyklon über den grossen Eiswüsten Schnee ausgefällt werden könnte. Das geschieht hauptsächlich zur Winterszeit, wenn eine Temperaturinversion herrscht. Es tritt dann ein Überströmen von Luft aus den oberen Lagern der Atmosphäre nach dem Zentrum des Antizyklon ein und in Verbindung mit deren Abkühlung wird der Niederschlag ausgefällt. Diese Ansicht wurde von HOBBS und SIMPSON (siehe SIMPSON, 1919, p. 168) ausgesprochen und diese Theorie dürfte eine plausible Erklärung des Um-

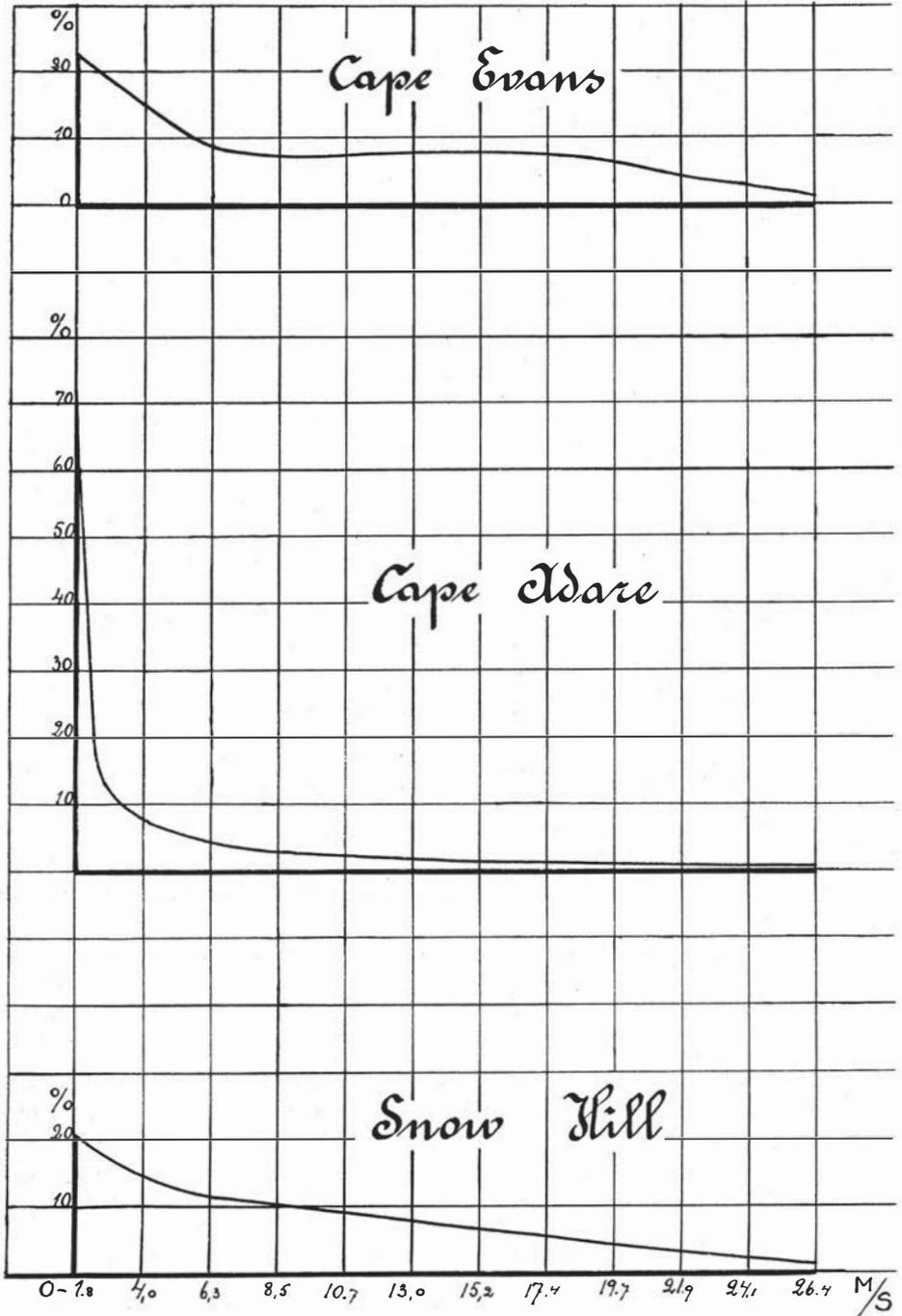
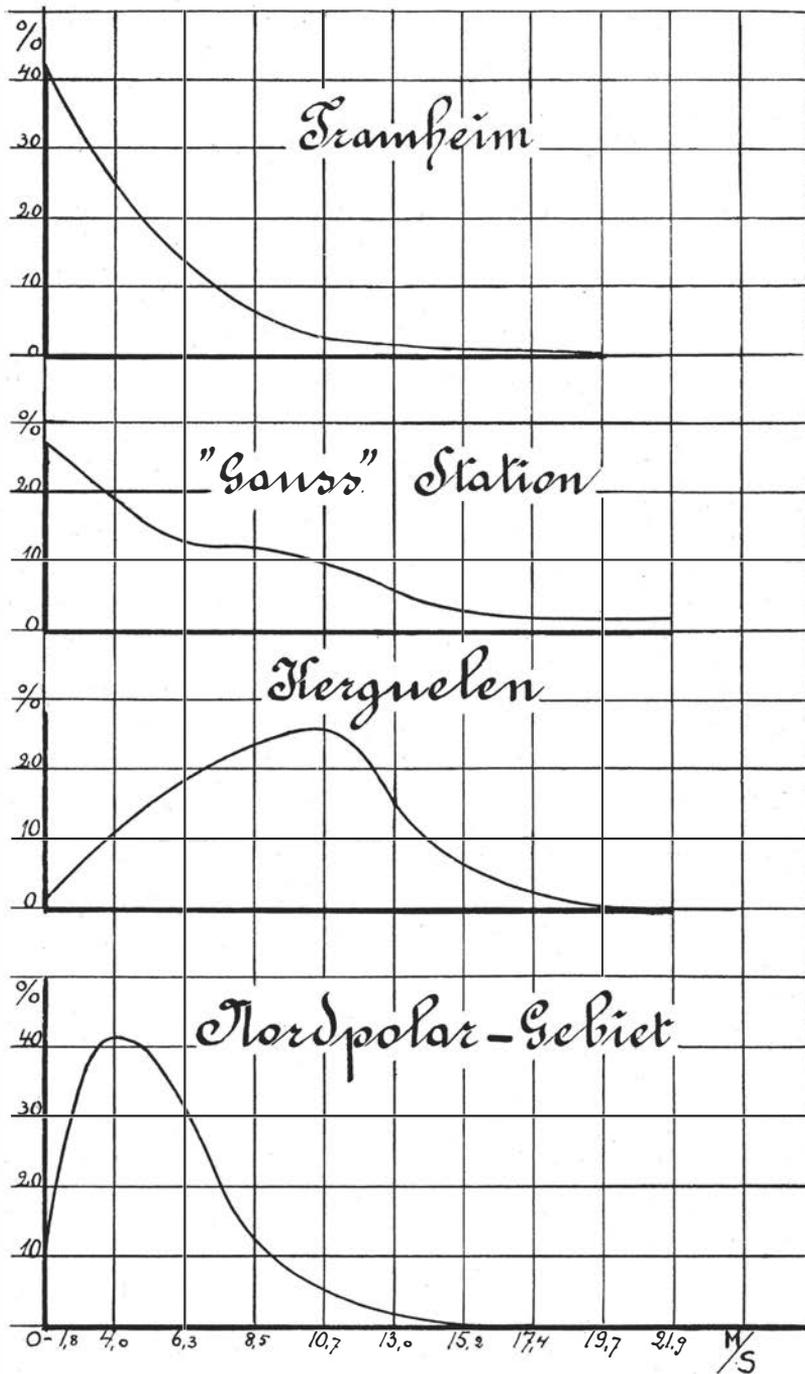


Fig. 1. Windfrequenz-



kurven nach SIMPSON.

standes bringen, weshalb die antizyklonalen Winde trotz ihrer überwiegenden Dominanz so gut wie immer schneeführend sind.¹

Da die Winde in den polaren Gebieten wegen der ungleichen Verteilung der Wärme in Winter und Sommer gewisse Monsuncharaktere zeigen, herrscht auch bezüglich des Niederschlages eine gewisse Periodizität.

So herrschen auf Westgrönland im Sommer hauptsächlich S-SW-Winde, die ziemlich reichliche Niederschläge ausfallen (Max. Aug. Sept.), im Winter NE-E-Winde mit geringen Niederschlägen (Min. Dez. Feb.). Auf Ostgrönland ist das Verhalten entgegengesetzt. Die Sommer sind trocken und die stärksten Niederschläge fallen im Winter. Die Winde sind überwiegend nördlich und nordöstlich, d. h. als abgelenkte Winde vom Inlandseis zu betrachten.

Im Allgemeinen ist der Niederschlag in den Polargebieten recht gering, soweit man überhaupt Bestimmungen vornehmen konnte. Bei den Massen von Treibschnee, die bei den äusserst gewöhnlichen Stürmen auch schon bei recht mässigen Windstärken in Bewegung gebracht werden, ist es oftmals völlig unmöglich, aus der Menge, die im Regenschirm gesammelt ist, zu bestimmen, wieviel wirklich in der Form von Niederschlag gefallen ist. HANN (1911, p. 594) hat die mittlere Niederschlagsmenge für das Nordpolgebiet berechnet und sagt, dass sie über den zirkumpolaren Kontinenten nur 30—10 cm erreicht. Im Südpolargebiet hat man an den südlichsten Stationen wegen des dort so gut wie unausgesetzt herrschenden Schneetreibens bestimmte Niederschlagsmessungen überhaupt nicht machen können, doch nimmt HANN (1911, p. 698) an, dass der Nie-

¹ SIMPSON sagt (1919, p. 267—268), dass in der Antarktis Temperaturinversion gewöhnlich ist. Wenn eine Luftmasse über Antarktis einströmt, gibt sie Wärme ab und wird dichter, und sinkt daher. Sie erwärmt sich jedoch adiabatisch beim Niedersteigen oder ungef. 10° C pr km. Indess wirkt auch die Ausstrahlung vom Boden weiterhin abkühlend auf die nächsten Luftschichten, die Verdichtung der Luft setzt fort und diese Abkühlung geht dann so weit, dass Feuchtigkeit ausgefällt wird. SIMPSON sagt auch (p. 268), dass somit unter gewissen Umständen aus Luft, die als gesättigter Luftstrom in einer Höhe von 6 km über Antarktis einströmte, in einer Höhe von weniger als 1 km Feuchtigkeit ausgefällt werden kann. Er fasst das Phänomen auf folgende Weise zusammen: »We have thus shown that owing to the large radiation within the Antarctic the air, even after it has descended from the upper atmosphere, is in a state that a moderate amount of forced ascent is sufficient to cause condensation of the contained moisture and so snowfall».

Indess dürfte das nicht immer der Fall sein. Denn wenn eine Temperaturinversion herrscht, wäre ja die Luft oben wärmer und »a moderate amount of forced ascent« in diesen Luftschichten würde keinen Anlass für einen Niederschlag bilden. Erst an der oberen Grenze, wo die Luft das invertierte Luftlager passiert hat, wird das möglich. Dagegen scheint es glaublich, dass die von HOBBS ausgebildete und von SIMPSON an mehreren Stellen zitierte Theorie, wonach die Luft allein durch die Ausstrahlung von dem kalten Boden abgekühlt werden kann, so dass auch bei einem abwärts gerichteten Luftstrom in einem Luftilager mit invertierter Temperatur Niederschlag ausgefällt werden kann in Gebieten mit starker Temperaturinversion, d. h. in erster Linie Antarktis und Grönland, von genereller Anwendbarkeit ist.

derschlag recht gering ist und erwähnt (nach MOSSMAN), dass man für den antarktischen Kontinent als runde Zahl 30 cm pr Jahr setzen kann.

Charakteristik der Windverhältnisse in den Polar-gebieten.

Lokale Winde.

Einer der meist charakteristischen Züge der Windverhältnisse in den polaren Gebieten, sowohl auf dem Lande als in den Küstenfahrwassern, ist das sehr häufige Auftreten von *lokalen Winden*, die, auf gewisse Gebiete begrenzt, mit grosser Stärke und Gewalt auftreten können. Diese Lokalisierung des Windes innerhalb eines gewissen, begrenzten Gebietes ist desto bemerkenswerter, als gleichzeitig in einem unmittelbar angrenzenden Gebiet völlige Windstille oder auch gerade entgegengesetzte Winde herrschen können. Es ist eine oft gemachte Beobachtung, dass man, während man sich selbst in einem gewissen Windgebiet befindet, sehen kann, wie sich Fahrzeuge in geringer Entfernung vom Beobachter unter ganz anderem Wind fortbewegen als dem beim Beobachter herrschenden. So sagt SCORESBY (1820, I, p. 397): »Advancing towards the polar regions, we find the irregularities of the wind increased, and their locality more striking: — storms and calms repeatedly alternate, without warning or progression; — forcible winds blow in one place, when at the distance of a few leagues gentle breezes prevail; — a storm from the south, on one hand, exhausts its impetuosity upon the gentle breeze, blowing from off the ice, on the other, without prevailing in the least; — Ships within the circle of the horizon may be seen enduring every variety of wind and weather at the same moment; some under close-reefed topsails, labouring under the force of a storm; some becalmed and tossing about by the violence of the waves; and other plying under gentle breeze from quarters as diverse as the cardinal points.» Es besteht kein Zweifel, dass SCORESBY's Angaben richtig sind, denn mehr als hundert Jahre später haben während späterer Zeiten zahlreiche Expeditionen und Walfänger diese Beobachtungen bestätigt und um nur ein Beispiel genau hundert Jahre später zu erwähnen, seien hier einige Zitate nach NANSEN's »En Ferd til Spitsbergen« (Kristiania 1920, p. 139) angeführt: »Niemals, nicht einmal in den norwegischen Fjorden, habe ich eine so grosse lokale Verschiedenheit und einen so merkwürdig hastigen Übergang der Windverhältnisse gesehen. Die Windgeschwindigkeit im Süden möchte ich auf wenigstens 20 m in der Sekunde einschätzen oder vielleicht mehr, als es am stärksten stürmte; aber hier im Fjord, einige Kilometer davon, ist sie Null.» Und er sagt weiter (p. 188): »... jedesmal, wenn eine kleine Er-

leichterung eintritt, sehen wir, dass die See kaum einen Kilometer östlich von uns schwarz vom Wind ist, der durch Hinlopen Strait kommt, und wir können sein Brausen hören. Ja, wahrhaftig, das sind merkwürdige Windverhältnisse. Es ist, als ob das Meer in verschiedene Felder eingeteilt wäre, einige mit stillem Wasser, andere mit Wind, einige mit Kühle.»

An der Küste selbst können wohl manchmal Stellen vorhanden sein, die besseren Windschatten und Schutz gewähren als andere, sie sind aber selten. In rascher Folge und anscheinend ohne die geringste Ordnung können die Winde in jedem Gebiete wechseln und wo in einem Augenblick ein gewisser Wind herrschte, kann im nächsten ein gerade entgegengesetzter wehen. Es liessen sich viele Beispiele nennen, doch mag folgende, von SCORESBY (l. c., p. 398) geschilderte Begebenheit genügen. »At noon, . . . , we had a moderate breeze of wind from the northwest, which, towards evening, increased to a fresh gale, exceedingly variable and squally, accompanied by thick showers of flaky snow In the midst of a thick shower, the snow was observed to clear away to leeward, which warned me of an approaching shift of wind In about the minutes the sails gave a violent shake, and were the next instant taken flat aback. The wind, though blowing a fresh gale, which lasted three days, the barometer remained perfectly stationary.»

Dieses plötzliche und unvermutete Auftreten der Winde, das auf keine Weise, weder von Barometer noch Thermometer angekündigt wird, ist und war immer eines der grössten Gefahrenmomente für die Schifffahrt in diesen Trakten. SCORESBY sagt auch (l. c., p. 406): »Instances of local storms are not uncommon in temperate climates; but in the arctic regions, they are frequent and striking. Their locality is such, that a calm may occur when a storm is expected, and actually does prevail at a short distance; so that the indications of the barometer may appear to be erroneous. In such cases, however, the reality of the storms is often proved by the agitation of the sea. Swells from various quarters make their appearance, and frequently prevail at the same time.» Abgesehen davon, dass man aus der aufgeregten See und dem Seegang auf herannahende Stürme schliessen kann, führt er auch an, dass »the approach of sudden storms, it has been observed, is sometimes announced by a noise in the air« und berichtet Fälle, wo man dank dem Brausen des nahenden Sturmes Zeit gewann, solche Massregeln zu treffen, dass das Fahrzeug, ohne Segelverlust oder ohne gegen die Eiskante zu treiben, den Sturm abwettern konnte (l. c., p. 402).

»Intermitting gales.»

Ausser diesen lokalen, variablen und plötzlichen Winden nennt SCORESBY auch eine andere Art von Winden, die er von den übrigen

unterscheidet und »intermitting gales« nennt (l. c., p. 402 f.): »A phenomenon of a description similar to that of sudden storms, and almost equally common is intermitting gales. The nature of these winds will be best explained by mentioning two or three instances.

April the 22d 1814, latitude $73^{\circ} 29'$, we had intermitting gales, snow-showers and high sea. The squalls continued from five minutes to half an hour at a time; the ship could only bear close-reefed topsails and courses; but in the intervals she might have carried royals. This kind of weather prevailed from 8 a. m. until 3 p. m., when in a shower of snow, a sudden calm occurred and continued for an hour. The gale then suddenly recommenced with increased severity. At 9 p. m. the wind veered at once from NNW to ENE, and then subsided The morning of the 18th of April 1815, in the 78th degree of latitude, near Spitsbergen, was beautiful and serene. At 11 a. m. clouds began to obscure the face of the sky, and soon afterwards much snow fell. In the evening we experienced fresh gales from two or three quarters, with intervals of calms, in the space of an hour. North, east, and south gales, alternately prevailed, in rapid but irregular succession, during several hours.»

Das kann kaum ein Zyklon gewesen sein. Ein solcher hätte sicher sein Interesse nicht in diesem Grade erweckt und noch weniger hätte er in diesem Falle besonders hervorgehoben, dass die Winde einander »in rapid but irregular succession« ablösten und sicherlich auch nicht hinzugefügt: »The winds not being dangerous, the appearance was uncommonly interesting«.

Lokale Fallwinde.

Lokale Winde verschiedener Art treten natürlich nicht nur auf dem Meer, sondern besonders auch in den Küstengebieten der Polarländer auf, sowohl an der Küste gegen das offene Meer als auch vor Allem in den mehr oder weniger geschlossenen, grossen Fjordgebieten und den zwischen diesen Fjorden eingeschlossenen Tälern und Hochebenen. Es ist eine äusserst gewöhnliche Erscheinung nicht nur in den hocharktischen Gebieten, wo sie vor langer Zeit bemerkt und oftmals erwähnt wurde, sondern auch, und das vielleicht in noch höherem Grad, auf dem antarktischen Kontinent, wo man diese lokal orientierten Winde mit ausserordentlicher Konstanz blasen fand.

Es gibt kaum ein grösseres Tal oder einen grösseren Fjord in irgend einem Land innerhalb der kalten temperierten und kalten Gebiete, der nicht derartige Winde aufzuweisen hätte; in den meisten grösseren Tälern, die sich gegen Gletschergebiete hinauf erstrecken, sind sie vorherrschend und oftmals die Einzigen, von denen praktisch die Rede sein kann. Sie wehen dort oft mit gewaltsamer Stärke und üben auf Vegetation und

Boden einen ausserordentlichen Einfluss aus. Sie besitzen eine sehr grosse Bedeutung für den Schneetransport und die Verteilung des Schneeniederschlages, die Verteilung der Gletscher usw. und sind vielleicht der wichtigste Faktor, wenn es sich um die »Drainierung« der polaren Gebiete handelt, d. h. um den Abtransport des Schneeüberschusses, der nicht zur Bildung von Inlandseis, Gletschern und im Innern des Landes liegenden Schneedecken zur Verwendung gelangt.

Eine der merkwürdigsten Tatsachen habe ich im Sommer 1921 auf Spitzbergen wahrgenommen. Während der zweiten Hälfte des Augusts dieses Jahres nahm ich an einer Exkursion nach verschiedenen Teilen des Eisfjord teil, wobei Ekman Bay, Dickson Bay, Billen Bay und Sassen Bay besucht wurden.

In Ekman Bay herrschte Windstille, nur an ihrer Westseite machte sich ein schwacher Wind geltend, der als schwache Brise den Fjord hinaus strich. Bei Cap Waern herrschte Windstille, aber an der Einfahrt zur Dickson Bay bemerkten wir starken Wind, der abwechselnd an der östlichen und westlichen Seite des Fjordes oder mitten über denselben aus dem Fjord herauswehte. Wir gingen auf die Höhe von Mt. Triplex, worauf wir wendeten und wieder aus dem Fjord hinaus und an Cap Thordsen vorbei gingen. Hier herrschte schönes Wetter mit Sonnenschein und Windstille und dieses Wetter hielt den ganzen Weg bis zur Höhe des Mimerbay-Nordenskiöld Gletscher an. Hier herrschte starker Ostwind, aber nachdem wir über diesen Gürtel gelangt waren, ankerten wir im inneren Ende der Billen Bay an der Mündung des Ebbatal in vollkommener Windstille. Am folgenden Tag kehrten wir denselben Weg zurück, den wir gekommen waren. Wir trafen wieder den Windgürtel zwischen Nordenskiölds Gletscher und Mimers Tal und den ruhigen Gürtel auf der anderen Seite des Windstriches. Im ganzen unteren Teil der Billen Bay herrschte klares und schönes Wetter mit spiegelblanker See, aber an der Mündung herrschte Seegang und von der Sassen Bay her blies der Wind, so dass die Wogen Schaumkämme trugen. Bei Skans Bay herrschte Windstille, aber um Cap Thordsen hängten an der Abhängen schwere Wolken, die gegen den Fjord hinaus trieben, und ebenso war Mt. Högskolan in Wolken gehüllt, die aber teilweise über Skansen Quarter oder gegen Billen Bay zu trieben. Aus der Dickson Bay wehte es stark gegen den Fjord zu. Wir setzten dann den Kurs an Anser Islands vorbei und gegen Sassen Bay hinauf und es gelang uns trotz sehr starken Gegenwindes in den Fjord bis zur Bindung des Sassentales ungefähr gerade gegenüber Mt. Marmier vorzudringen. Hier herrschten sehr eigentümliche Windverhältnisse. Aus der Temple Bay blies ein Sturm, der eine grobe See hervorrief, die am Strande an der Mündung des De Geertales eine starke Brandung entstehen liess, so dass das Ankern dort recht riskabel war. Wir ankerten indess. In der Brandung zu landen erwies sich jedoch untunlich. Wir kehrten daher zum Fahrzeug zurück in der Hoffnung, dass der Wind abflauen würde, aber statt dessen begann der Wind auch noch aus dem

Sassental zu blasen. Wir kamen da in die eigentümliche Situation, dass das Fahrzeug dicht unter Land, wo wir im Wellenschlag aus der Temple Bay vor Anker gelegen waren, im Winde umschwenkte, so dass es quer zum Wellenschlag zu stehen kam, was ein furchtbares Rollen verursachte. Da der Wind ununterbrochen an Stärke zunahm, mussten wir zuletzt den Anker lichten. Ein Umstand liess uns indess länger als wünschenswert damit zögern, nämlich dass das Barometer Tendenz zum Steigen zeigte, und es stieg ununterbrochen, so lange wir still lagen. Unterdess gab der Anker nach und wir waren gezwungen die Motoren in Gang zu setzen, um uns in freiem Wasser zu halten. Vor halbem Sturm, der in gewaltigen Stössen einherkam, fuhren wir aus dem Fjord. Da trat jedoch in dem schweren Seegang Stillstand in dem einen Motor ein und da nur ein Propeller arbeitete, wurde die Beanspruchung des Steuerers so stark, dass auch die Steuerkette brach. Wir hatten indess ein Sturmsegel gesetzt und mit dessen Hilfe gelang es uns, das Fahrzeug mit dem Wind in Kurs zu halten. Einen Hafen zu suchen war nicht möglich, denn wir konnten mit den primitiven, zur Verfügung stehenden Mitteln das Fahrzeug nicht mehr als einige Strich aus der Windrichtung bringen, denn seit die Steuerkette geborsten war, konnten wir das Steuer nur mit der Trommel, um die das Steuerseil gewickelt war, drehen. Vor gerade achterlichem Wind segelten wir in rasender Fahrt aus dem Fjord. Die Jolle wurde in der schweren See mit Wasser gefüllt und ging verloren. Wir konnten nichts anderes tun als versuchen, auf die beste mögliche Weise dem Seegang standzuhalten. Wenden und gegen den Wind die See halten war unmöglich.

Durch die Brandung erspähten wir schliesslich gerade vor uns Cap Boheman und mit Aufbietung unsrer äussersten Kräfte gelang es uns, das Steuer so zu drücken, dass wir am Land vorüber kamen und in den Windschatten von Cap Boheman treiben konnten, wo wir schliesslich bei dem holländischen Kohlenfeld in Hafen gelangten.

Die während dieser Reise gemachten Beobachtungen können in folgender Weise zusammengefasst werden:

Während der Wind aus der Sassen Bay blies, blies er gleichzeitig auch aus der Dickson Bay, und gleichzeitig blies der Wind auch von Nordenskiölds Gletscher quer über Billen Bay und in Mimer Bay hinein. Zwischen diesen Windstrichen herrschte Windstille. Der Wind kommt in Stössen oder schweren Böen und bewegt sich in der Richtung der Täler und Fjorde. An den höheren Bergeshängen treiben die Wolken anscheinend unabhängig von der Richtung des im Talboden herrschenden Windes. Bei Cap Thorsen trieben die Wolken sowohl aus dem Fjord als in denselben hinein, was darauf hindeutet, dass der Wind sich in den höheren Lagern in zwei Ströme teilt, der eine über Skansen Quarter und der andere über den Isfjord. Mit dem Einsetzen des Windes beginnt das Barometer zu steigen, oder besser gesagt erst, wenn der Wind eine Zeit lang geblasen hat, und steigt offenbar, solange der Wind an Stärke zu-

nimmt. Temperaturbeobachtungen wurden nicht gemacht, es schien jedoch wärmer zu werden, was jedoch darauf beruhen kann, dass wir während des späteren Teiles der Fahrt den Wind im Rücken hatten und hart arbeiten mussten. Soviel wir beobachten konnten fiel kein Niederschlag. Der Wasserstaub, der in der Luft trieb, bestand wahrscheinlich aus dem vom Sturm losgerissenen Schaum der Wogen. Dagegen war es draussen über dem Fjord trübe, so dass man auf der westlichen Seite des Eisfjord Details oder Konturen in der Landschaft nicht sehen konnte. Drin im Fjord lagen die Wolken tief und in nur hundert oder mehreren Hundert Meter Höhe, aber innen im Sassental war eine Aufhellung des Himmels zu sehen.

Der Weg, den das Fahrzeug auf der Fahrt Sassen Bay—Cap Boheman zurücklegte, kann als der Weg des Windes betrachtet werden, da die Steuerfähigkeit äusserst beschränkt war und der Kurs vor genau achterlichem Wind ging. Nur der letzte Teil der Fahrt kann als etwas abweichend und mehr selbständig betrachtet werden, aber auch da nur auf eine kurze Strecke, nämlich von dem Augenblick, wo wir Cap Boheman sichteten, das ja eine niedrige Landzunge ist.

Ich habe versucht die damals von mir gemachten Beobachtungen mit anderen bekannten Tatsachen zusammenzustellen, und auf Grund dessen habe ich folgende Karte über die Windwege bei dieser Gelegenheit entworfen (siehe Fig. 2). Aus mehreren Gründen dürfte diese Karte gleichzeitig auch die Hauptwindwege für die kalten Fallwinde und die allgemeinen Windstriche für Spitzbergen im Eisfjordgebiet darstellen.

Wenn wir annehmen, dass oben im Lande im Osten, Nordosten und Südosten von Bünsow Land die Luft durch die Abkühlung über den grossen vereisten Gebieten verdichtet wird, so fliesst sie über die Abhänge nach tiefer gelegenen Teilen des Gebietes. Es beginnt somit aus den an das Abkühlungsgebiet grenzenden Tälern zu wehen. Die Stärke und Intensität dieser Winde steht dann in einem gewissen Verhältnis zur Grösse des Abkühlungsgebietes und seiner Abkühlungsfähigkeit, teils auch zur Beschaffenheit der Entlüftungsrinnen — Täler und Fjorde —, besonders zu deren Profil. Ein grosses Entlüftungsgebiet mit starker Abkühlung wird somit grössere Mengen von kalter Luft erzeugen und je schmaler und steiler begrenzt das Tal ist, desto stärker wird der Wind ausfallen. Das grösste Entlüftungsgebiet ist hier das Gebiet, das von Temple Bay—Sassen Bay entlüftet wird. Zur Temple Bay strömt Luft von dem oben genannten Kältegebiet im Osten von Bünsow Land sowie Luft aus dem nordwestlichen Teil von Sabines Land. An der Mündung der Sassen Bay empfängt dieser Strom einen anderen Luftstrom aus dem Sassental, der ein sehr grosses Kältegebiet entlüftet, nämlich den SW-Teil von Sabines Land und den Nordostteil von Nordenskiölds Land. Man kann annehmen, dass in diesem Fall die Wasserscheide die Grenze des Entlüftungsgebietes bildet.

Wenn der Wind aus der Sassen Bay zu blasen beginnt, bewegt er

sich hauptsächlich in der Längsrichtung des Fjordes. Es lässt sich jedoch annehmen, dass sich eine gewisse Ablenkung gegen rechts geltend macht, denn gemäss den Beobachtungen, die sich anstellen liessen, deuten alle Anzeichen darauf hin, dass sich der Wind gegen den Tempelberg in grösserer Höhe geltend machte als auf der gegenüberliegenden Seite des Fjordes. Wenn der Wind zur Mündung der Sassen Bay gelangt, hat er

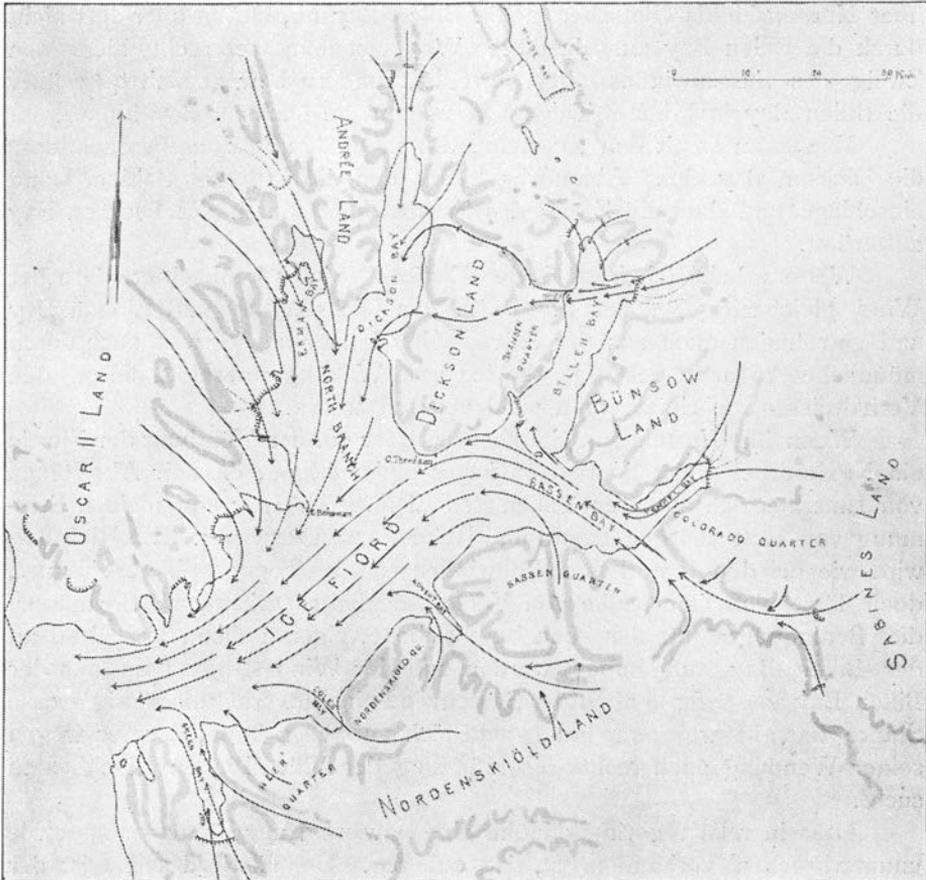


Fig. 2. Kartenskizze über die gewöhnlichsten Windwege in Zentralspitzbergen.

die Tendenz, sich in der Horizontalebene auszubreiten und entsendet Ausläufer, teils nach links gegen den Eisfjord, teils nach rechts gegen Billen Bay. Ein Teil des Windes wird gegen Dickson Land deflektiert und strömt daher nach links gegen den Isfjord, wo er sich mit dem früher abgebogenen Sassenwind vereinigt. Die Luft, die teils wegen der Wendung nach rechts, teils wegen der Deflektion nach rechts und in die Billen Bay abzubiegen sucht, bewirkt eine Aufdämmung von Luft in diesem Fjord, da derselbe geschlossen ist. Diese Aufdämmung führt dazu, dass

die eingeschlossene Luft sich andere Auswege zu suchen und durch die Pässe und Täler, die von diesem Fjord über Land führen, zu strömen beginnt. Die wichtigsten Pässe, die man sich in diesem Falle als Abzugsrinnen denken kann, führen über Dickson Land und von diesen wird der wichtigste die Talstrecke Mimers Tal—Hugins Tal oder Lyckholms Tal. Nun kommt noch ein anderes Moment dazu. Eine ganze Menge der Luft, die in dem Gebiet NE von Bünsow Land abgekühlt wurde, fliesst über Nordenskiölds Gletscher in die Billen Bay ab, strömt aber dort nicht durch die Billen Bay aus, da dieser Weg von dem nach rechts biegenden Zweig des Sassenwindes abgesperrt ist, sondern bewegt sich quer über die Billen Bay in Mimers Tal hinein und in die Dickson Bay hinaus.

Man kann somit den anscheinend paradoxalen Satz aussprechen, dass die Dickson Bay einen Ablaufweg bildet, den die Luft von Sabines Land einschlägt und dass ein Zweig des Sassenwindes durch die Dickson Bay ausströmt.

Weiters habe ich betreffs des Eisfjordgebietes beobachtet, dass der Wind gleichzeitig an der Nordseite aus Dickson Bay und Ekman Bay und gewöhnlich auch aus der Advent Bay bläst und das wird auch durch mündliche Angaben bestätigt, die ich von Walfängern erhielt, die mit den Verhältnissen auf Spitzbergen wohl vertraut waren.

Wenn im Westen von Spitzbergen oder vor der Mündung der Fjorde ein Niederdruckgebiet liegt, dann ist es einleuchtend, dass ein Abströmen von Luft aus den äusseren Teilen des Eisfjord in einer allgemeinen Strömung von Luft aus den Tälern und Nebenfjorden resultiert. Die Richtung wird wie bei den eigentlichen Fallwinden von der Topographie beeinflusst, doch lässt sich eine Reihe von Verschiedenheiten erkennen. So müssen die Bedingungen für das eben beschriebene, eigentümliche Verhalten an der Billen Bay aufgehoben werden und der Wind strömt dann aus der Billen Bay aus, sofern nicht der Sassenwind eine unverhältnismässig grosse Stärke hat, in welchem Falle man sich vorstellen kann, dass er wegen seiner Wendung nach rechts die Mündung der Billen Bay zu verschliessen sucht.

Dass in relativ geringer Höhe eine gewisse Luftströmung so gut wie ununterbrochen vorhanden ist, ist offenbar. Der Eisfjord selbst ist der grosse Luftbehälter, aus dem die Luft zum Teil ersetzt wird, die unter dem Einfluss des Golfstromes draussen auf dem Meere erwärmt wird und in die Höhe steigt. So hat mir einer der bekanntesten Walfänger auf Spitzbergen, HILMAR NÖIS, und mancher andere versichert, sei es auch »noch so ruhig drin im Fjord oder draussen auf dem Meer, und mögen draussen auf dem Meer Nebelbänke stehen und der Wind einige Seemeilen von der Küste gerade gegen Land stehen, so wird es doch unausgesetzt aus dem Eisfjord um die Abhänge und den Gipfel des Mt. Alkhorn blasen.«¹

¹ Es ist ja ein sehr gewöhnliches Phänomen, dass die Winde von einem kälteren Meer vorzugsweise gegen ein wärmeres wehen. Das ist auch eine wohlbekannte Tat-

Was mich jedoch im höchsten Grad davon überzeugt hat, dass der von mir geschilderte Ablauf der Geschehnisse der richtige ist und dass die kalten Fallwinde auf Spitzbergen, wenigstens im Eisfjordgebiet die vorherrschenden sind, ist die Tatsache, dass die Winde anscheinend ohne den geringsten Zusammenhang bald aus dem einen, bald aus dem anderen Fjord blasen können und dass sich weder an Barometer noch an Thermometer die geringsten Vorzeichen erkennen lassen. Was mich weiter davon überzeugt hat, dass der von mir geschilderte Hergang betreffs der Winde in der Sassen Bay, Billen Bay und Dickson Bay sehr gewöhnlich sein muss und dass ein intimer Kausalnexus zwischen diesen Winden herrscht, sind nicht nur die während einer einmaligen Reise gemachten Beobachtungen, sondern vor Allem die Tatsache, dass die Winderosionsphänomene in Mimers Tal von ganz anderer Orientierung sind als an allen anderen Punkten auf Spitzbergen.

Während sonst überall auf Spitzbergen die Deflations- und übrigen Windwirkungsphänomene auf Winde deuten, die aus den Talgängen wehen, zeigt es sich, dass der Wind, der in Mimers Tal dem Aussehen, der Orientierung und dem Vorkommen der Pflanzen seinen Stempel aufdrückt, nicht ein aus dem Tale wehender Wind ist, sondern dass ein gerade entgegengesetzt gerichteter, von der Billen Bay kommender Wind der vorherrschende ist, eine Ausnahme von der allgemeinen Regel, die auf keine andere Weise als unter Zugrundelegung des von mir geschilderten Herganges erklärt werden kann. (Vergl. Fig. 23).

sache und derartige, von Temperaturdifferenzen an verschiedenen Stellen der Erdoberfläche verursachte Winde, die mit sehr grosser Konstanz blasen, sind in gewissen Gebieten die vorherrschenden. Sicher ist auch der sogen. Hinlopenwind, der aus der Hinlopenstrasse weht, ein solcher Wind, wenn er auch von Fallwinden und kalter Luft von Wahlenbergs Bay auf dem Nordostland und von Lomme Bay auf Westspitzbergen verstärkt wird. Es besteht ein grosser Temperaturunterschied zwischen dem eisbedeckten und auch im Sommer eiserfüllten Meer östlich von Spitzbergen und dem Meer im Norden davon, das sich ja länger offen hält, und daraus erklärt sich auch die grosse Konstanz, mit der dieser Wind bläst. (cf. CHYDENIUS, 1865, pp. 96—98, KLINCKOWSTRÖM, 1891, pp. 155—157).

Das Gleiche gilt auch vom Karameer östlich von Novaja Zemlja und dem westlich davon gelegenen, bedeutend wärmeren und eisfreieren Barendz Meer. Daraus erklärt sich auch die Dominanz der Ostwinde in dem Karator, Matoschkin Schar und Jugor Schar, sogar über dem Lande scheinen diese Winde zu blasen, sofern man nicht dort mit Fallwinden vom Grönlandstypus rechnen muss. Auf jeden Fall zeigt die Erfahrung von der russischen Polarstation bei Kleine Karmakul an der Westküste der Südinself auf $72^{\circ}22'36''$, dass die vorherrschenden Winde während des grösseren Teiles des Jahres östlich, oder besser gesagt ESE-lich waren (cf. ANDREJEFF, 1886, pp. 44—55, Taf. X—XI).

Der Name Waigatsch auf der Insel zwischen Jugor Schar und dem Karator deutet auch darauf hin, dass es dort sehr windig sein muss, wenn der Name gleichen Ursprungs ist wie der holländische Name Waaijgat — waaijen = wehen, gat = Loch (cf. CHYDENIUS, 1865, p. 96). NORDENSKIÖLD spricht auch von den Windverhältnissen auf Jugor Schar und sagt (1880, p. 165): »Die meisten Fahrzeuge, die durch Jugor Schar in das Kara-Meer (d. h. in östlicher Richtung) segeln wollen, müssen hier in Erwartung günstigen Windes und günstiger Eisverhältnisse einige Tage vor Anker liegen».

Ich habe den Ausdruck »kalte Fallwinde« gebraucht. Dieser Ausdruck dürfte eine gewisse Existenzberechtigung haben, wenn es sich auch oftmals zeigt, dass die Winde, wenn sie aus den Tälern niederstreichen, eine Steigerung der Lufttemperatur mit sich führen und anscheinend mit allen Merkmalen des Föhns auftreten. Doch dürfte das Auftreten von wirklichem Föhn z. B. auf den gewaltigen Eishauben Grönlands oder der Antarktis aus vielen Gründen recht selten sein, es dürfte sich vielmehr in den meisten Fällen, in denen man in der Litteratur den Ausdruck »Föhn« in Berichten aus diesen Gebieten antrifft, um adiabatisch erwärmte, kalte Fallwinde handeln.

Mit den gleichen Eigenschaften wie die eigentlichen Föhnwinde treten die Fallwinde oft auf Grönland auf. Während jedoch bei den Föhnwinden die Luftdruckdifferenz auf verschiedenen Seiten eines Gebirgszuges die Ursache des Windes ist, verhält es sich sicherlich mit den Fallwinden z. B. in den grönländischen Fjorden meistens nicht so, denn in diesem Falle wäre es ganz unerklärlich, wieso die Föhnwinde gleichzeitig an der Ost- und an der Westküste entstehen können. Weiters ist zu berücksichtigen, dass es sich hier nicht um einen mehr oder minder schmalen Gebirgskamm handelt, den der Wind übersteigen muss, sondern um einen etwa 2,400 m hohen und durchschnittlich zwischen 600 und 1,000 Kilometer breiten Eisdom, der sanft nach allen Seiten zu abfällt. Diese mächtige Eiskuppel muss notwendiger Weise auf die Luft, die mit ihr in Kontakt kommt, abkühlend wirken und als Folge ergibt sich, dass die Luft, die sich über dem Inneren des Inlandseises befindet, sich nach und nach verdichtet und sinkt, worauf sie in einem schweren, mächtigen Strom nach allen Seiten abfließt. Die Erfahrung so gut wie aller Personen, die das Inlandseis von Grönland gequert haben, bezeugt das, und es muss als ausgeschlossen betrachtet werden, dass Luftdruckdifferenzen z. B. zwischen der Ost- und Westküste diese Verhältnisse in höherem Grade beeinflussen können, als dass sich eine Verstärkung in der Intensität der Fallwinde auf der Seite ergeben könnte, welche das Niederdruckgebiet darstellt. Weiters kann man denken, dass sehr grosse Luftdruckdifferenzen auf verschiedenen Seiten des Landes auf das »indifferente« zentrale Gebiet des Inlandseises von Einfluss sein können, wo die Neigung so flach ist, dass »fliessende Luft« in irgend einer bestimmten Richtung nicht vorkommt. Es möchte da scheinen, dass dies, falls es sich um sehr grosse Luftdruckdifferenzen handelt, im besten Falle eine temporäre Verschiebung des »Windteilers« in der Richtung gegen den höheren Luftdruck bewirken könnte und WILLAUME-JANTZEN sagt (1889, p. 295), Grönland sei »wie eine Mauer, welche die atmosphärischen Störungen nicht übersteigen können«. (cf. auch NANSEN, 1890, II, pp. 496—497).

Es ist da ziemlich klar, dass die Winde, die in den grossen Talzügen und an der Eiskante herrschen, kaum etwas anderes sein können als kalte Fallwinde, die vom Zentrum des Kältegebietes ziemlich radial ausströmen. Im Anfang sind sie ziemlich schwach und variabel, je mehr sie sich aber

der Kante nähern, je stärker die Neigung wird und je mehr Zufluss an kalter Luft sie erhalten, die nach und nach von oben zuströmt, desto stärker werden sie. Ausserdem muss sicherlich die Bewegung mit der gegen tiefere Niveaus zu nach und nach zunehmenden Dichte sich beschleunigen und wenn die Winde eine grosse Menge von Treibschnee mit sich führen, was oft der Fall ist, so muss auch der in der Luft suspendierte Schnee in derselben Richtung wirken (cf. SANDSTRÖM, 1913, p. 20 und 1912, p. 5).

Man kann somit annehmen, dass die auf Grönland auftretenden Fallwinde hauptsächlich vom selben Typus sind wie die in Istrien, Dalmatien und anderwärts auftretende »Bora«: ein kalter Fallwind, der von einem kalten Hinterland gegen ein wärmeres Meer zu herabfällt.

Dass die Bora, obwohl sie durch das Herabstürzen erwärmt wird, doch als kalter Fallwind auftritt, beruht nach HANN (1908, I, p. 311) darauf, dass die Temperatur oben innerhalb des Kältegebietes im Verhältnis zu der warmen Küstenzone so niedrig ist, dass die Bora doch als kalter Fallwind auftritt, wenn auch ihre Temperatur beim Herabfallen mit ca. 1° C pr 100 m steigt.

Auf Grönland mit seiner relativ niedrigen Temperatur wird das Verhältnis teilweise ein anderes. Hier bewirken die Fallwinde oft eine Erhöhung der Temperatur am Talboden, was darauf beruht, dass der Wind sich während seines Herabsteigens von dem 2,000—2,500 m hohen Inland in so hohem Grad erwärmt hat, dass er im Verhältnis mit der zuvor herrschenden Temperatur als ein warmer Wind auftritt. In den eigentlichen Kältegebieten kommt ja besonders während des Winters oft in den untersten Luftschichten eine sehr ausgeprägte Temperaturinversion vor. Die kalte und schwere Luft sinkt dann in die Talböden und überhaupt in die tieferen Lagen hinab und bildet dort eine kalte und schwere Luftschicht. Die Mächtigkeit dieser Schicht beruht natürlich auf den lokalen Verhältnissen. Wenn dann ein Fallwind von mässiger Stärke zu blasen beginnt, so kann der Fall eintreten, dass dieser Fallwind, der recht warm sein kann, das kalte Luftlager nicht wegzufegen vermag, sondern über dasselbe hinwegweht. Das Phänomen ist sowohl auf Grönland als in der Antarktis oft wahrgenommen worden (cf. MAWSON, 1915, I, pp. 111—123). Vermag indess der Wind die kalten Luftmassen der Bodenschicht mit sich zu reissen, so dass der Fallwind auch unten an der Erdoberfläche zu blasen beginnt, so tritt eine momentane Erhöhung der Temperatur ein.

Es ist natürlich prinzipiell unrichtig, zwischen kalten und warmen Fallwinden zu unterscheiden. In einem Fall wie diesem, wo die Winde dadurch hervorgerufen sind, dass die Luftmassen innerhalb eines Kältegebietes abgekühlt wurden und dann vermöge ihrer Schwere nach allen Seiten ausströmen, herrscht wohl nur eine Meinung darüber, dass sie als kalte Fallwinde zu bezeichnen sind. In jeder Luftmasse, die höherem Druck ausgesetzt wird, tritt eine Steigerung der Temperatur ein und so natürlich auch in Luft, die von einem höheren nach einem niedrigeren

Niveau absinkt. Jeder Fallwind muss also, je tiefer er kommt; desto wärmer werden und also einen grösseren oder geringeren Föhnneffekt zeigen. Wenn die Temperatur innerhalb des Kältegebietes so niedrig ist, dass der Wind, obwohl er erwärmt wurde, noch immer kalt ist, z. B. an einer Station auf einem tieferen Niveau, so wird er als kalter Fallwind bezeichnet. Ist der Unterschied zwischen der Temperatur des Kältegebietes und der Station so gering, dass der Föhnneffekt eine Erhöhung der Temperatur über die vorher an der Station herrschende bewirkt, so nennt man ihn einen warmen Fallwind oder Föhnwind. Es ist offenbar, dass hier eine grosse Inkonsequenz vorliegt, da die Ursache des Windes, sein Verlauf und die übrigen Verhältnisse identisch sind, ob es sich nun um »kalte« oder »warme« Fallwinde handelt. Die Terminologie gründet sich nur auf die Temperaturveränderung, die der Wind an einem gewissen Beobachtungsplatz verursacht und hat somit nichts mit dem Wind selbst oder dessen Natur zu schaffen, sondern nur mit dessen Wirkungen, die vollkommen auf den lokalen Verhältnissen bei der Observation beruhen.

Es ist aus vielen Umständen ganz offenbar, dass die Winde, die als warme Winde auftreten und von verschiedenen Verfassern meist Föhnwinde genannt werden, nichts anderes als adiabatisch erwärmte Winde dieses Typus sind, welche die kalte Luftschicht im Talboden zu vertreiben vermochten und so durch Ersetzung der kalten Luft durch wärmere indirekt eine Erhöhung der Temperatur bewirken.

Dass beim Eintreffen von Stürmen die Temperatur auch fallen statt steigen kann, geht unter anderem auch aus den Beobachtungen von RYDER (1889, pp. 261—263) hervor, wo er sagt, dass der Sturm im Übrigen wie ein »echter grönländischer Sturm war, die Temperatur und der Feuchtigkeitsgrad aber gar nicht auf Föhn deutete«.

Aussprüche von MOHN und NANSEN machen es ausserdem klar, dass nur in der Nähe der Südspitze des Landes die Entstehung von wirklichen Föhnwinden möglich ist, die quer über das Land kommen mussten (cf. HANN, III, 1911, p. 675).¹

In Grönland herrscht betreffs der Windverhältnisse eine sehr grosse Regelmässigkeit, indem ein ständiger, nie aussetzender Strom von kalter Luft, die oft mit Treibschnee vermischt ist, aus dem Inland und gegen

¹ WEGENER (1911, pp. 69—73) behandelt die atmosphärischen Verhältnisse bei »Föhn« in Grönland und fasst auf folgende Weise zusammen (l. c., p. 73):

»1. Die föhnähnlichen Winde zeigen in der untersten Schicht eine Temperaturumkehr, die grösser ist als sie sich im Gesamtmittel aller Aufstiege ergibt, darüber eine Temperaturabnahme, die gleichfalls grösser ist als im Gesamtmittel.

2. Je ausgeprägter der Föhn ist, desto mehr verschwindet die untere kältere und feuchtere Luftschicht, und in den prägnantesten Fällen herrscht ein überadiabatisches Temperaturgefälle bei überall sehr geringer, mit der Höhe nicht mehr abnehmender Feuchtigkeit.

3. Das typische Wolkenniveau bei 1,200 m Höhe tritt bei föhnähnlichem Winde in allen Elementen erheblich markanter hervor als im Gesamtmittel.

4. Bei starkem, föhnähnlichem Winde herrscht Abnahme des Windes mit der Höhe bis zur Oberfläche des typischen Wolkenniveaus.»

die Küsten zieht. Gewiss werden auch diese Luftströme von der Erdrotation beeinflusst, sie haben aber doch im Grossen und Ganzen die Tendenz, dem allgemeinen Gefälle zu folgen und innerhalb der Tal- und Fjordregionen ist ihre Richtung von den topographischen Verhältnissen völlig bestimmt.¹

Das Gleiche gilt auch in grossen Zügen für den antarktischen Kontinent. Wie in Grönland geht auch hier ein fast ununterbrochener Windstrom vom Lande hinaus gegen das Meer. Hier finden sich jedoch geringere topographische Unterschiede, die auf den Effect der Erdrotation nachtheilig einwirken könnten, wo sie aber zu finden sind, lässt sich ihr Einfluss unmittelbar erkennen. Auch hier besteht kein Zweifel, dass eine Art von kalten Fallwinden vorherrschend ist. Die sogen. Blizzards, furchtbar schnelle, gewaltsam auftretende Stürme, die aus der grossen Eiswüste kommen, dürften nichts anderes als kalte Fallwinde sein, denn ihr Auftreten zeigt, wie oben bemerkt, dass sie von solcher Natur sind, dass sie weder als zyklonale noch als antizyklonale Winde betrachtet werden können.

Es ist, wie oben angedeutet, eine bekannte Tatsache, dass lokale Winde in den Landgebieten der Polartrakte häufig sind, im Grossen und Ganzen sind aber die lokalen Winde, besonders wenn sie in grösseren, begrenzten Fjordgebieten oder Tälern auftreten, oft die vorherrschenden, so dass ihre Wirkungen die der sonst in den Gebieten auftretenden, von Verschiedenheiten im Luftdruck verursachten Winde weitaus übersteigt. Es zeigt sich, dass die Winde, die z. B. in den Tälern und Fjorden Spitzbergens vorherrschen, von dieser Art sind, und dasselbe gilt auch von den Fjorden Grönlands und wahrscheinlich auch innerhalb der übrigen arktischen Inselwelt. NARES (1878, I, p. 129) sagt, dass sie während Alert's

¹ Grönlands eigenartige Witterungsverhältnisse waren für die nordischen Völker schon seit der Zeit für die Kolonisation Grönlands durch die Norweger während des 10.—11. Jahrhunderts bekannt. Im Konungs-Skuggsjá oder Königsspiegel heisst es nämlich (nach DANIEL BRUUN: »Erik den röde og Nordbokolonierne i Grönland«, Kjöbenhavn, 1915, p. 34): »Wenn dort (in Grönland) Unwetter eintritt, so geschieht das mit grösserer Heftigkeit als an den meisten anderen Orten, sowohl was die Gewalt der Stürme als die Kälte und die Schneemenge betrifft. Das schlechte Wetter hält aber meist nur eine kurze Zeit an und es vergehen lange Zwischenzeiten, bevor es wiederkommt, wenn das Land auch kalt ist. Das wird von der Natur des Eisgebirges veranlasst, das immerfort eine kalte Luft von sich schleudert, die alle Wetterwolken aus dessen Gesichtskreis vertreibt und meist die Luft über seinem Haupt klar erhält. Doch müssen seine nächsten Nachbarn das mitunter entgelten, denn alles Land, das in seiner Nähe liegt, empfängt von ihm das starke Unwetter, da alles, was es mit dem kalten Wind von sich wegtreibt, über dasselbe kommt...»

Über diese Stelle sagt NANSEN (1911, II, p. 247): »Though in simple and everyday words, this really expresses the idea that Greenland and the neighbouring regions are disproportionately cold, and that, in a part at any rate, this is due to the glaciers of Greenland, which have a refrigerating effect (as an anticyclonic pole of maximum cold). In crossing Greenland in 1888 we found that a pole of cold (anticyclone) lies over the inland ice, which gives off cold air.»

Überwinterung in Robeson Channel nicht ein einziges Mal aufländigen Sturm hatten.

Diese Winde, die relativ unabhängig von der allgemeinen Luftdruckverteilung den grossen Tälern, Fjorden und Sunden, d. h. den tiefsten Niveaus folgen, sollten zweckmässiger Weise topographisch gerichtete, lokale Fallwinde genannt werden.

Diese lokalen Tal- und Fjordwinde reichen, wie bekannt, in der Regel nicht weit auf das Meer hinaus, bevor sie absterben, was auch darauf deutet, dass ihre Ursache die oben skizzierte sein muss, d. h. dass sie keine zyklonalen Winde sind, und oftmals können, wie ich selbst auf Island und Spitzbergen beobachtet habe, die Windverhältnisse draussen auf dem Meer der gerade Gegensatz zu den drin im Tale herrschenden sein, so dass draussen ein aufländiger Wind wehen kann, während sich drin im Tal und im Fjordgrund ein starker, auswärts gerichteter Wind geltend macht. Zwischen diesen beiden Windsystemen liegt dann entweder ein mehr oder minder breiter Gürtel mit Windstille oder mit einem ununterbrochenen Wechsel der Windverhältnisse. In diesem Zwischen-gürtel herrscht dann meist Niederschlag und Nebel; quer über den Fjord steht der Regen wie ein dichter Schleier. Dieser Regengürtel kann ziemlich stationär sein, im selben Grade aber, wie der Land- oder der Seewind die Überhand gewinnt, oszilliert er gegen die Mündung oder gegen das Innere des Fjordes.

Besonders schön habe ich dieses Phänomen eines Tages im Juli 1923 im Eyjafjord auf Island wahrgenommen. Es begann damit, dass der Wind vom Meer in den ganzen Fjord hinein blies. Der Himmel war bewölkt, doch fiel kein Regen. Nach einer Weile war zu sehen, wie eine Regenbank, die bis dahin im Talboden gelegen hatte, sich in Bewegung setzte und gegen den Wind wanderte, während gleichzeitig ein ganz feiner Regen zu fallen begann. Draussen vor der Regenbank blies der Wind noch immer gegen den Fjord hinein, innerhalb derselben hatte der Wind jedoch gewendet und blies nun aus dem Fjord. Ungefähr mitten im Fjord schien der Regen eine gute Weile anzuhalten, aber nach einiger Zeit begann der Nebel rasch gegen das Meer hinaus zu treiben. Nun klärte es sich über dem Inland auf und die Sonne trat hervor. Wieder nach einer Weile flaute der Wind ab und der Seewind blies wieder während einiger Stunden, worauf die Nebelbank wieder rasch gegen das Meer hinaus trieb und es sich gegen das Hochland zu wieder aufklärte.

Das Phänomen dürfte in folgender Weise zu erklären sein:

Draussen auf dem Meer bläst ein Wind gegen und über das Land. Anfangs weht er ziemlich weit in die Fjorde hinein, wird aber dabei gezwungen in die Höhe zu steigen, wo er sich abkühlt und verdichtet. Wenn oben im Inland die Temperatur niedrig ist und wenn eine gewisse Gegensteigung, eine Bergkette oder dergleichen, vorhanden ist, welche auf die Luftmassen, die über das Land vordringen, aufdämmend wirkt, so wird ein Teil der Luft innerhalb des Kältegebietes gegen den Hang aufge-

dämmt, abgekühlt und verdichtet. Wegen der Neigung des Bodens erhält die aufgedämmte Luft eine Tendenz den Abhang zurück abzufließen, wird aber von dem Winde von der See, der gegen diese kalte Luftmasse einen gewissen Druck ausübt, daran gehindert. Wenn die abgekühlte Luftmasse aber so gross geworden ist, dass sie diesen Druck überwinden kann, macht sie sich plötzlich frei, strömt den Abhang hinunter und drängt sich dabei wie ein Keil zwischen den Boden und den vom Meere kommenden Wind. Wo das Vorderende dieses Luftkeiles die feuchte Luft vom Meere in die Höhe zu steigen zwingt, entsteht die oben erwähnte Nebelbank. In dem Masse, wie sich das Vorderende der kalten Luftmasse verschiebt, wechselt die Windrichtung an der Erdoberfläche, an der Kontaktfläche zwischen der trockenen, kalten Luft vom Inland und der mit Feuchtigkeit gesättigten vom Meer tritt eine Kondensation von Wasserdampf ein und es beginnt Regen zu fallen. Es ist ein merkwürdiges Phänomen, das ich sowohl auf Spitzbergen als anlässlich der eben erwähnten Begebenheit auf Island beobachtet habe, dass das Barometer eine Tendenz zum Steigen zeigte und zu steigen fortfuhr, solange der Wind vom Land andauerte. Die einzige mögliche Erklärung ist, dass die kalte Luftschicht so viel dichter war, dass sie während weniger Minuten ein Steigen um bis zu 2 mm bewirken konnte. Nachher sank das Barometer wieder auf denselben Druck wie zuvor.

Als die kalte Luft das Tal abwärts zu strömen begann, musste der von ihr früher eingenommene Platz von anderer Luft ausgefüllt werden. Diese war indess noch nicht so sehr abgekühlt worden, dass sie als kalter Fallwind hätte auftreten können. Damit dieser Fall eintreten kann, ist natürlich ein so geringer Grad von Wärme erforderlich, dass die Luft trotz der adiabatischen Erwärmung kälter und somit auch schwerer ist als der auflandige Wind. Es bildete sich, so zu sagen, ein Nachtrupp von wärmerer Luft, die früher in die Höhe zu steigen tendierte und somit kein so tiefes Niveau erreichte wie der erste kalte Luftkeil. Es konnte da der Auflandswind vom Meere her wieder die Oberhand gewinnen und dieser begann nun zu blasen, bis sich oben im Kältegebiet ein neues Quantum kalter Luft gebildet hatte, das gross genug war, um durchzubrechen, worauf sich der Vorgang wiederholte.¹

¹ NANSEN beschreibt (1920, p. 139) eine der von mir oben von Island angeführten ähnliche Beobachtung, gibt aber eine teilweise andere Erklärung, was vermutlich darauf beruht, dass die lokalen Verhältnisse nicht identisch gleich sind. Seine Untersuchung galt dem Gebiete Magdalenafjord—Amsterdamsinsel. Er sagt: »Ich stelle mir vor, dass die Verhältnisse in groben Zügen die folgenden waren: Die Erdoberfläche war damals relativ kalt, was u. a. der Neuschnee hier im Fjord zeigt... Das Land war daher bedeutend kälter als die offene Meeresoberfläche im Norden. Die Temperatur der Luft über dem Land war, im Gegensatz zu dem gewöhnlichen Verhalten an anderen Orten, niedrigst an der Bodenoberfläche und stieg mit der Höhe. Draussen über dem Meer war das Verhalten das gewöhnliche, die Lufttemperatur war am höchsten an der Meeresoberfläche und nahm nach der Höhe zu ab. Die tiefste, kalte Luft über dem Land und den Bergen sank zufolge ihrer grösseren Schwere hinab in die Täler, durch diese hinaus und eine

Damit intermittierende Fallwinde entstehen können, bedarf es auch keines, von einer entgegengesetzten Windrichtung aufgedämmten und komprimierten Luftquantums. Es ist nur das Vorhandensein eines Kältegebietes nötig, in dem die Luft verdichtet werden kann, und er wird sich dann mit längeren oder kürzeren Zwischenräumen auf die oben skizzierte Weise als kalter Fallwind geltend machen. Bei einer schwachen Abkühlung der Luft wird sie dann zu Anfang langsam den Abhang herabzurinnen beginnen, wird die Abkühlung aber stärker und bringt die Strömung einen grösseren Transport von Luft mit sich, so beschleunigt sich die Bewegung über den Hang hinab, es treten Störungen in den angrenzenden Luftlagern ein und plötzlich kann die Luftmasse die Böschung hinabstürzen auf dieselbe Weise wie in dem oben geschilderten Fall und reisst dabei einen Teil der wärmeren Luft mit sich, welche die im Kältegebiet verdichtete ersetzt. Die Folge wird ein intermittent auftretender Fallwind.¹

Strecke durch die Fjorde, sowohl durch den Magdalena-Fjord als durch den Smeerenburg-Fjord, und vielleicht ganz hinaus an die Aussenseite der Amsterdam-Insel. Draussen über der offenen See hat sie es aber schwer sich zu halten, da die Luft von der Wasseroberfläche darunter etwas erwärmt wird. Nun kommt draussen auf dem Meer der nördliche oder nordöstliche Wind und fegt darüber hinweg gegen die Küste zu, stösst aber auf diese schwerere Luftschicht, die wie eine Scholle über dem Land und den angrenzenden Teilen des Meeres liegt. Die leichtere, vom Winde geführte Luft kann diese nicht wegfehen, sondern wird im Gegenteil darüber hinweggezwungen, wie über eine schiefe Ebene hinauf, während es in dem darunterliegenden kalten Lager an der Bodenoberfläche und in den Fjorden ganz still ist. Diese kalte Schicht reicht indess nicht bis zum Gipfel der Amsterdam-Insel hinauf. Die Luft, die von Nordost über diese schiefe Ebene hinauffegt stösst daher gegen diesen Berggipfel, es entsteht ein starker Widerstand, der wirbelnde Bewegungen erzeugt, und die Luft muss plötzlich höher hinauf . . . An der steilen Lee-seite des Berges dagegen wird die Luft mit gewaltiger Kraft längs der Böschung hinabgesaugt. Die kalte Luft darunter wird hinweggefegt und die starke Fallkühle reicht hier bis zum Meer hinunter. Dieser Wind war es, den wir ein Stück südwestlich der Amsterdam-Insel antrafen, der aber gerade im Süden besonders stark blies. An der Nordostseite der Insel reichte die kalte Luft vom Land über das Meer hinaus und deshalb ging hier an der Meeresoberfläche ein wenig Wind . . . Ähnliche Verhältnisse wie die hier beschriebenen habe ich im Treibeis vor der Ostküste Grönlands beobachtet, wo auf ganz kurzen Strecken grosse Unterschiede in der Windstärke herrschen können.»

¹ Bestimmt muss die Beschleunigung bei den Fallwinden eine bedeutende Rolle spielen. Ihre Entstehung kann man sich vorstellen, teils dadurch, dass nach und nach von oben und von den Seiten kalte Luft zuströmt, teils dadurch, dass die Luft den gewöhnlichen Gesetzen für einen fallenden Körper folgt, wenn sie durch die Abkühlung stark verdichtet ist oder grössere Mengen von Treibschnee enthält, der nach SANDSTRÖM (1912, p. 5) der Luft ein grösseres spezifisches Gewicht verleiht. In einem grossen Kältegebiet müssen diese beiden Faktoren, sukzessiv vermehrte Zuströmung von kalter Luft und Fallbeschleunigung, zur Vermehrung der Windgeschwindigkeit beitragen.

Wir teilen nun das Phänomen in zwei Phasen. In der ersten erhält der Wind ausschliesslich durch die Zuströmung von Luft am Anfang des Fallgebietes oder der unteren Grenze des Kältegebietes eine gewisse Endgeschwindigkeit.

In der zweiten Phase, die sich mit dem Wind beschäftigt, nachdem er das eigentliche Fallgebiet zu durchfallen begonnen hat, tritt keine weitere Zuströmung von Luft ein, sondern es ist nur die abgekühlte Luftmasse, die über die Böschung abzufließen fort-

setzt. Wenn wir annehmen, dass das Fallgebiet unter dem Winkel α gegen die Horizontalebene geneigt ist, so erhalten wir gemäss den Gesetzen für den Fall eines Körpers längs einer schiefen Ebene, unter Ausserachtlassung der Friktion, folgende Gleichung:

$$\text{Die Beschleunigung } a = g \cdot \sin \alpha.$$

Daraus wird klar, dass eine Luftmasse mit nach und nach zunehmender Geschwindigkeit die Böschung hinabstürzen muss. Ist indess auch das Kältegebiet geneigt, so muss die Beschleunigung der Schwerkraft schon dort ihre Wirkung ausüben. Das ist ja auch meistens in der Natur der Fall. Es ist klar, dass bei einem solchen Vorgang in einem so leicht beweglichen Medium wie Luft gewisse Störungen eintreffen und dass der Verlauf nicht ein vom Kältegebiet in ununterbrochener Folge ablaufender Luftstrom wird, sondern dass sich derselbe etappenweise abspielt. Wenn sich eine Luftmasse von einer gewissen Dichte in einer anderen Luftmasse von anderer Dichte bewegt, so werden Partien der minder dichten Luft mitgerissen und zwar teils durch die ungleichmässige Struktur des Windes, teils durch das Vakuum, das sich hinter der fallenden abgekühlten Luftmasse bildet. Durch die Beschleunigung wird sicherlich eine grössere Luftmasse als die von Anfang abgekühlte fortbewegt und da die Luft, die von allen Seiten zuströmt, nicht die Dichte besitzt, die nötig ist, damit sie durch ihr Gewicht als kalter Fallwind wirken kann, so muss das Auftreten der Fallwinde intermittent werden. Innerhalb des Abkühlungsgebietes ist dieses Pulsieren vielleicht nicht so merkbar. Dort geht ja unaufhörlich eine Abkühlung und Verdichtung der Luft vor sich und es besteht dort eine allgemeine Strömung von Luft nach den tieferen Teilen. Ebenso auch in den höheren Teilen des Fallgebietes.

Nur die am meisten abgekühlten Luftmassen erreichen die tieferen Teile des Fallgebietes und das vertikale Niedersteigen muss von dem Betrag der Abkühlung bedingt sein. Je kälter die Luft ist, desto tiefer kann sie fallen und desto weiter hinaus erstreckt sich der Fallwind. Ein Nachtrupp von wärmerer Luft, der einem solchen Fallwind folgt und der von diesem mitgerissen wurde, beginnt schon auf einem früheren Stadium aufzusteigen und kann somit (auch wenn man das Trägheitsmoment mit berücksichtigt) nicht so weit hinab gelangen, sondern muss schon auf einem höheren Niveau zum Aufsteigen tendieren. In den äusseren Teilen der Fjorde und Täler tritt also, theoretisch gesehen, nur eine geringe Anzahl der Fallwinde auf, die sich vom Abkühlungsgebiet fortbewegen. Gemäss der Theorie müssten also dort nur intermittierende Winde auftreten können, was auch nach den bisher gemachten Beobachtungen der Fall ist.

Wenn die Beschleunigung durch die Schwerkraft innerhalb des Abkühlungsgebietes dem Wind eine so grosse Strömungsgeschwindigkeit verleiht, dass mehr Luft fortgeführt wird als in jenem verdichtet werden kann, so wird schon innerhalb dieses Gebietes das Auftreten der Winde intermittent, da die zuströmende Luft einer gewissen Zeit bedarf, bis sie so weit abgekühlt ist, dass sie ihrerseits als fallender Körper wirken kann.

Es erscheint nicht unwahrscheinlich, dass auch die berühmten »blizzards« in der Antarktis ihre Erklärung auf diese Weise finden können und HOBBS' Theorie über ihre Entstehung eben durch die Abkühlung von Luft innerhalb dieses Gebietes dürfte eine gewisse Berechtigung haben (cf. HOBBS, 1915, pp. 185 f.). Gewiss genügt seine Motivierung des intermittierenden Auftretens vielleicht nicht völlig, andererseits übertreibt SIMPSON (1919, p. 251) ganz gewiss, wenn er gerade bezüglich HOBBS' Theorie sagt: »It would be interesting to know what has been holding the cold air in place on the ice during 'the week or more' that it has been cooling. All theories similar to this neglect the fact that the air will start to move as soon as it commences to cool, the consequence of which is that the cooling might produce a flow of air, *but it could never produce a typical blizzard with its sudden commencement and its violent air motion.*»

Dagegen könnte der Einwand erhoben werden, dass SIMPSON's wie auch die meisten anderen Untersuchungen über »the blizzard« gerade am Rande des Kontinentes angestellt wurden. Das Intervall, das zwischen den verschiedenen Blizzards herrscht, die wirklich

Bezüglich des Auftretens dieser verschiedenen Windsysteme kann man im Allgemeinen konstatieren, dass sie mehr oder weniger regional und im Allgemeinen nach folgendem Schema auftreten.

a) **Inland und Abkühlungsgebiet:** Die Winde sind hier anfangs ziemlich indifferent und insoferne keine grösseren Unterschiede bezüglich Temperatur, Barometerstand und Höhenverhältnissen vorliegen herrscht hier ziemliche Ruhe, nur schwache Luftströmungen gegen die Aussenränder des Gebietes machen sich geltend.

b) **Fallgebiet,** zwischen dem inneren Plateau und den Talböden. Die Winde treten hier oft in Verein mit Schneegestöber als mehr oder weniger gewaltsame Strömungen entlang der allgemeinen Böschung auf, aber oft als trockene und warme Winde mit Föhncharakter. Diese Winde erfahren natürlich hier wie auch im Kältegebiet eine Beeinflussung seitens der Erdrotation, so dass man einen allgemeinen Abtrieb des Windes nach rechts auf der nördlichen, nach links auf der südlichen Halbkugel konstatieren kann.

c) **Talböden und Fjorde.** Der Wind strömt hier in der Richtung der Depressionen aus dem Lande nach aussen. Da die Bewegungsmöglichkeit nur auf die Längsrichtung der Täler beschränkt ist, findet das Drehungsgesetz hier keine andere Anwendung, als dass die vorwärts strömende Luftmasse mehr gegen den einen Rand des Talzuges gepresst wird. Wir könnten somit a priori auf den rechten Talseiten der nördlichen und auf den linken Talseiten der südlichen Halbkugel einen verstärkten Erosionseffekt voraussetzen.

zu diesem Niveau herabgelangen, kann somit und muss somit viel grösser werden, als wenn man die Beobachtungen näher dem Herzen des Kontinentes angestellt hätte. Auf Grund des Umstandes, dass unten an der Küste zwischen zwei Orkanen längere Zeit relative Ruhe herrscht, darf und kann man nicht den Schluss ziehen, dass es auch in grösserer Höhe und weiter im Land ruhig ist, sondern sicher wehen ununterbrochen kalte Fallwinde von den kältesten Teilen her, wenn auch nur eine geringe Anzahl wirklich zur Küste herabgelangt.

Nur durch die Annahme der Fallwindtheorie scheint es mir möglich, wenigstens eine theoretische Erklärung zu erhalten, weshalb »the blizzards» gerade in der Randzone der Antarktis so auftreten wie sie es tatsächlich tun.

Eines der schönsten Beispiele dafür wird uns in MAWSON'S Arbeit »The Home of the Blizzard», II, p. 157 teils in Form eines Bildes, teils in folgendem Passus geboten: »Reference has already been made to the fact that often the high winds ceased abruptly for a short interval. — — — as an example may be quoted September 6 (1913). On that day a south-by-east hurricane fell off and the drift cleared suddenly from about the Hut at 11,20 A. M. On the hills to the south there was a dense grey wall of flying snow. Whirlies tracked about at intervals and overhead a fine cumulus cloud formed, revolving rapidly. Over the recently frozen sea there was an easterly breeze, while about the Hut itself there were light northerly airs. Later in the day the zone of southern wind and drift crept down and once more overwhelmed us.»

Bei dieser Gelegenheit sah man also die untere Grenze eines Blizzards, der nicht bis zum Strand herunter reichte, sondern in einer Höhe von (nach der Zeichnung) ca. 700 feet, d. h. ungef. 200 m in die Luft hinaus blies. Hätte die Station auf dieser Höhe oder unmittelbar darüber gelegen, so hätte sicherlich im Journal gestanden »SSE. hurricane with high drift» statt »Northerly breezes». (Vergl. auch WEGENER, 1911, p. 207).

d) **Auflösungsgebiet der Fallwinde.** Dieses Gebiet muss natürlich weniger präzis bestimmt sein, da seine Lage im Verhältnis zur Landmasse und dem Meer sehr grossen Variationen unterworfen sein muss. In gewissen Fällen können sich die Winde schon drin in den Tälern auflösen, rast der Sturm aber durch die ganzen Fjorde hinaus, so ist sein Auflösungsgebiet natürlich eine Strecke weit vor der Küste gelegen. Doch erstrecken sich die Stürme nie eine längere Strecke auf das Meer hinaus, denn sobald sie nicht länger zwischen hohen Bergrücken eingeschlossen gehalten werden, haben sie die Tendenz sich in der Horizontalebene nach allen Seiten auszubreiten, wobei sie natürlich sehr rasch an Intensität verlieren. Wenn wir uns dieses Auflösungsgebiet wie ein Delta vor der Mündung des Fjordes oder Sundes vorstellen, wird es natürlich unter der Wirkung Drehungsgesetzes auf der nördlichen Halbkugel etwas rechts, auf der südlichen etwas links von der Mittellinie des Fjordes liegen.

Beispiele dafür sind z. B. der Sassenwind auf Spitzbergen, der bei seinem Ausfluss aus der Sassen Bay in den Eisfjord einen Arm des Fallwindes in die Klaas Billen Bay, d. h. nach rechts entsendet, obwohl der Fjord nach dieser Seite zu geschlossen ist, weiters der Hinlopenwind, der mit verwundernswerter Konstanz aus Hinlopenstrasse zwischen dem Nordostland und dem eigentlichen Spitzbergen herausbläst und sich nördlich von Hinlopen ausbreitet und »dem nördlichen Teil der Treurenberg Bay südöstlichen, dem Nordostland süd-südwestlichen Wind verleiht« (CHYDENIUS, 1865, p. 167).

Das Gleiche gilt z. B. auch von Scoresby Sound auf Grönland, wo die Nordseite des Fjordes nicht in derselben Weise vom Wind angegriffen ist wie die südliche. Während sowohl SCORESBY wie HARTZ (1895) die Üppigkeit der Vegetation auf Jameson Land (= dem linken, ruhigeren Strand) betonen, sagt HARTZ (1895, p. 154), dass die Nordhänge (= der rechte, mehr exponierte Strand) furchtbar steril sind. Das kann auch auf der schattenseitigen Lage beruhen, die er auch als Ursache anführt, doch findet man überall in HARTZ' vortrefflicher Arbeit Aussagen, welche die Vermutung bestärken, dass der südliche Strand von Scoresby Sound bedeutend mehr windexponiert ist als der nördliche.

Im Anschluss daran mag hervorgehoben werden, dass auf Ostgrönland die Vegetation auf der Nordseite der Fjorde, d. h. an ihrer linken Seite, am üppigsten ist, an der Westküste Grönlands dagegen an der entgegengesetzten, was aus folgendem Ausspruch bei JENSSEN (1879, p. 134) hervorgeht: »Eine Eigentümlichkeit, die in Grönland an vielen Stellen die Aufmerksamkeit erregt und anfangs Verwunderung erweckt, was hier in Egnen (Isortok Fjord) sehr hervortretend. Man sieht nämlich, dass die nach Norden gewendeten Bergeshänge mit einem frischeren und üppigeren Grün bekleidet sind als die nach Süden gewendeten, während man das Gegenteil erwarten sollte. Die Ursache dessen liegt jedoch vielleicht nicht so ferne. Auf den Bergeshängen, die der Sonne zugewendet sind, wird der Schnee schon früh im Sommer abgeschmolzen sein und die Vege-

tation kann daher hier in einem trockenen Sommer unter Wassermangel leiden. An den Nordhängen der Berge wird dagegen der Schnee, der sich hier viel länger hält, durch die vielen von ihm ausgehenden kleinen Bäche beständig eine Überrieselung der tiefer gelegenen Teile unterhalten und der Boden wird hier, selbst nachdem der Schnee abgeschmolzen ist, nie so trocken werden, wie der, welcher den steileren Strahlen der Sonne ausgesetzt ist.»

Das gilt, wie gesagt, von den Fjorden. JENSSENS Annahme, dass die grosse Trockenheit und Exposition der Südhänge die Ursache ist, weshalb dort die Vegetation dürftiger wird, hält indess nicht Stich, denn man müsste dann *ex analogia* annehmen, dass draussen in den Schären vor dem eigentlichen Fjordgebiet, wo die Dauer der Schneebedeckung bedeutend kürzer ist als drin im Lande, eine vollständige Wüstenbildung resultieren müsste, da dort eine Bewässerung von irgendwelchen Schneelagern nicht in Frage kommen kann. Das ist jedoch nicht der Fall. So ist z. B. im Egedesminde Distrikt, der ja recht weit draussen und ausserhalb des eigentlichen Fallwindgebietes liegt, die Vegetation bei südlicher Exposition am üppigsten. Auf der Nordseite der Höhen finden sich in der Regel Tundra-ähnliche Pflanzengesellschaften, Moose und Flechten, auf einem Boden, der nur im Sommer oberflächlich auftaut. Die Hauptwindrichtung ist auch in den äusseren Schären südwestlich, weshalb die Südseite als die mehr begünstigte betrachtet werden muss (cf. KRUISE, 1898, pp. 362—365).

Die jetzt geschilderten Verhältnisse dürften für das ganze nördliche Polargebiet und die angrenzenden Teile, sowie für grosse Teile des südlichen Polargebietes genereller Natur sein.

Viel spricht dafür, dass in der Antarktis die kalten Fallwinde eine grössere Rolle spielen als in irgend einem anderen Teile unserer Erde. Zunächst bildet der antarktische Kontinent mit einem Areal von 14,000,000 km² das grösste geschlossene Kältegebiet in der Welt. Dazu kommt weiter, dass dort die Mitteltemperatur bedeutend niedriger ist als in den entsprechenden Teilen der nördlichen Halbkugel. Schon das allein scheint eine hinreichende Erklärung für die grosse Sturmfrequenz in der Antarktis mit dem Vorherrschen der von dem Kontinent gegen das Meer zu gerichteten Winde zu liefern. Nimmt man dazu noch den Umstand, dass auf Grund der Temperaturdifferenz zwischen dem wärmeren Meer und dem kälteren Kontinent eine von der allgemeinen Luftdruckverteilung bedingte Luftströmung vom Land gegen das Meer zu, die wir in diesem Fall den antizyklonalen Wind nennen können, eintreten muss, so versteht man, dass die von den beiden, in derselben Richtung wirkenden Windsystemen, dem Fallwindssystem und dem Antizyklonsystem, erzeugten Winde ihren Effekt in hohem Grad verstärken müssen, auch dass man gerade darin eine der Grundursachen für die in vielen Beziehungen eigentümlichen Windverhältnisse zu finden hat und weshalb gerade die Antarktis so enorme

Windgeschwindigkeiten aufzuweisen hat, für die kein anderer Teil unserer Erde ein Gegenstück aufzuweisen hat.

Es dürfte überflüssig sein, in diesem Zusammenhange auf alle die Umstände und Angaben von verschiedenen Expeditionen einzugehen, die für diese Annahme sprechen. Der Auspruch bei SIMPSON (1919, p. 107), wo er sagt, dass ein, weder zyklonaler noch antizyklonaler, Faktor existiert, der eine grosse Rolle spielt, und dass dieser Faktor mit aller Wahrscheinlichkeit gerade »the blizzard« ist, spricht ja stark für die Richtigkeit dieser Annahme.

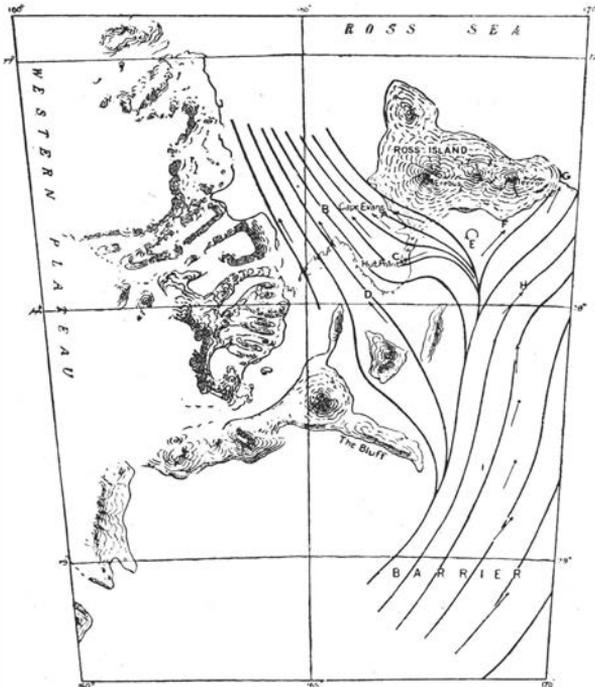


Fig. 3. Hauptwindwege an Cape Evans. Antarktis. Nach SIMPSON.

Bezüglich der Einwirkung der Topographie in der Antarktis auf die Entstehung lokaler, von der Topographie abhängiger Winde, so spielt dieselbe keine so grosse Rolle, da sie im Allgemeinen keine solchen Ungleichheiten aufweist wie im arktischen Gebiet mit seinem Fjordreichtum. Indess übt natürlich jede Unebenheit in der Topographie insoferne einen Einfluss auf die Windrichtung aus, als man in der Nähe von Bergen oder grösseren Tälern eine deutliche Deflektion des Windes wahrnehmen kann, so dass die Richtung an jeder einzelnen Stelle in der Regel mit der des Talzuges übereinstimmt usw. (Vergl. Fig. 3). Den grössten Einfluss üben natürlicher Weise die hohen Bergketten aus, wenn der Wind gegen sie gepresst wird. Folgender Ausspruch bei SIMPSON (1919, p. 218) zeigt

das: »Under the pressure distribution — — — the whole air over the Ross Sea would tend to flow to the west as an easterly wind. This, however, is not possible owing to the Western Mountains which act as a wall running north and south at right angles to the easterly wind induced by the pressure distribution. It is easy to see that the air from the western half of the Barrier would flow over to the west and would then be forced — — — to travel to the northwards parallel to the line of the Western Mountains. There would therefore be an easterly wind over the east of the Barrier and a southerly wind along the line of the mountains.»

Die geologische und geographische Arbeit des Windes.

Vergleich zwischen der Arbeit des Windes in verschiedenen Klimaregionen.

Die Arbeit des Windes in den grossen Flugsandgebieten ist schon seit langem bekannt und von einer sehr grossen Anzahl von Forschern eingehend studiert, besonders in den grossen Wüstengebieten, wo ihre Wirkungen am auffallendsten waren und wo keine anderen Erosionsagentia das Resultat der Arbeit des Windes in nennenswertem Grade beeinflussen konnten.

Über die Bedeutung des Windes als geologischen und geographischen Faktors in diesem Falle waren sich die Forscher ganz einig, was aber die übrigen Teile der Erde betrifft, die temperierten und kalten, mit in der Regel reichlicheren Niederschlägen und daraus folgender, grösserer Kohäsion der Sand- und Staubpartikel des kahlen Bodens, so waren die Meinungen sehr geteilt. Der Grund dafür ist leicht zu finden. In den ariden Gebieten, wo die Niederschläge gering, die Abdunstung sehr gross, die Temperatur hoch ist und wo der äusserst seltene Regen die Bildung einer permanenten Decke über den losen Erdschichten durch eine dichte Gras- oder Kräutervegetation nicht zulässt, lassen sich die Spuren der Arbeit des Windes ungemein besser erkennen als an anderen Orten. Gewiss kann ein Wolkenbruch gewaltige Erosionswirkungen und in gewissen Gebieten, z. B. den grossen Trockentälern, Wadis, mehr oder weniger umfassende Überschwemmungen bewirken, doch sind Wolkenbrüche relativ selten, ihre Wirkungen lokaler Natur und ein Transport von Verwitterungsmaterial ausserhalb des Gebietes der Wüste tritt in der Regel als Folge nicht ein.

Es kann daher nicht Wunder nehmen, dass man mit dem Beispiel der ariden Wüsten vor Augen und ihren Erosionsverhältnissen als Masstab in den mehr humiden Teilen unserer Erde, wo gut ausgebildete Flussysteme mit ihren verschiedenen Erosionsphasen dem Landschaftsbild ihren Stempel

aufdrücken, Schwierigkeiten hatte, sich die Wirkungen des Windes von grösserer Bedeutung vorzustellen.

Es ist wahr, dass der Wind hier ein begrenzteres Wirkungsgebiet hat. Die Vegetation schützt den Boden, die Feuchtigkeit, die hier reichlicher ist als in den ariden Gebieten, bindet die losen Erdpartikel fester und die Bedingungen für die Winderosion sind in jeder Weise ungünstiger.

Es ist indess ein grober Fehler aus diesen Umständen den Schluss zu ziehen, dass in den temperierten und kalten Gebieten unserer Erde eine Winderosion überhaupt nicht vorkommt. Überall, wo aus der einen oder der anderen Ursache die hemmenden Faktoren, Vegetation und Feuchtigkeit, fehlen oder nicht so hervortretend sind, können wir Winderosion erkennen und ihr Betrag ist wie überall durch das Vorhandensein von Driftmaterial, Exposition und Windfrequenz bestimmt. Daher finden sich lokale Flugsandfelder so gut wie unter allen Breitengraden, nirgends findet sich von jedem terrestrischen Staub freie Luft, überall lässt sich der Unterschied zwischen ruhigeren und gegen den Wind mehr exponierten Stellen erkennen.

Es ist somit offenbar, dass die Wirkungen des Windes keineswegs auf die ariden und halbariden Gebiete unserer Erde beschränkt sind, sondern dass sie sich, wenn auch mehr oder weniger distanziert oder durch andere Erscheinungen maskiert, doch unter allen Breitengraden erkennen lassen. Daraus folgt, dass die Bedeutung des Windes nicht unterschätzt werden darf; unter allen Umständen ist er ein Faktor, mit dem man rechnen muss, denn wenn er auch direkt in vielen Fällen eine untergeordnete Rolle spielt, so ist er doch für das Klima eines Landes und die daraus folgenden geologischen und geographischen Verhältnisse, nicht zum mindesten mit Rücksicht auf die Arbeit der exogenen Kräfte von ausserordentlicher Bedeutung.

Die rein mechanischen Wirkungen des Windes als Schöpfers von Umrissformen sind natürlich auf Orte beschränkt, wo Vegetation fehlt, oder auf Orte, an denen Driftmaterial so reichlich vorhanden ist, dass der Transport durch den Wind und die Akkumulation dieses Materiales über grössere Areale stattfinden kann. Grosse Areale versanden jährlich durch das Fortschreiten von Küstendünen und in diesen Gebieten besteht ein beständiger Kampf zwischen der Vegetation und dem Flugsand und, insofern dabei für den Menschen ökonomische Werte auf dem Spiel stehen, zwischen dem Flugsand und dem Menschen.

Da indess die Dünen und ihre Natur von einer grossen Anzahl von Verfassern eingehend behandelt worden sind, dürfte es ziemlich überflüssig sein, auf dieselben näher einzugehen. Es mag genügen durch die Konstatierung ihres Vorkommens und ihrer Ausbreitung in weit getrennten Teilen des temperierten Gebietes deutliche Beweise dafür zu finden, dass die Wirkung des Windes auch in diesem Gebiete ziemlich bedeutend ist.

Überall wo die Bedingungen für die Arbeit des Windes günstig sind, findet man also auch Spuren seiner Wirkungen. Das gilt besonders von

Gebieten, wo die natürlichen Verhältnisse auf die eine oder andere Weise verändert wurden, wie durch Drainierung von Torf- und Sumpfboden, wo unter gleichzeitiger Verminderung der Bodenfeuchtigkeit an der Oberfläche die Vegetationsdecke leicht zerstört wird, durch die Zerstörung des Waldes usw. Beispiele für die unheilvolle Bedeutung der Entwaldung finden sich in grosser Menge, nicht zumindest in unserem eigenen Land, besonders aber bieten grosse Gebiete der Mittelmeerländer, besonders Spanien und Auvergne Beispiele dafür (cf. HOMÉN 1917, p. 2—3). In den nordischen Ländern steht in dieser Beziehung wohl Island an erster Stelle und nur wenige Länder dürften so verhängnisvolle Wirkungen der Zerstörung der Vegetation und vor Allem des Waldes aufweisen wie dieses Land.

In den kälteren Teilen der temperierten Gürtel spielen die Winterstürme eine sehr grosse Rolle. Abgesehen von der Bedeutung der kalten Winterstürme für die Rauheit des Klimas und dergleichen besitzen dieselben eine sehr grosse Bedeutung für die Verteilung des Schneeniederschlages und die damit zusammenhängenden Phänomene. Besonders gewaltsam können diese Stürme in den skandinavischen Hochgebirgen auftreten, ihr grösstes Ausmass dürften sie aber doch in den grossen Tundra-gebieten und Steppen in den nördlichen und inneren Teilen Russlands und Sibiriens erreichen. Derartige gewaltsame Schneestürme sind auch in Amerika gewöhnlich und man misst ihnen dort wegen der Kälte, die ihnen zu folgen pflegt, eine sehr grosse Bedeutung bei.

Je mehr man sich den polaren Gebieten nähert, desto stärker wird der Eindruck von der Dominanz des Windes als erodierender Faktor. In den grossen Kältewüsten, wo sich die Temperatur nur während einer kurzen Zeit des Jahres oder überhaupt nicht über den Gefrierpunkt erhebt, kann das fliessende Wasser nur einen geringen oder gar keinen Einfluss ausüben. Während man in den ariden Wärmewüsten doch hie und da fliessendes Wasser antreffen kann, wird das in grossen Gebieten von Arktis und Antarktis zu einer physikalischen Unmöglichkeit. Gewiss kann drin auf dem Inlandseis Schmelzwasser vorkommen, seine geologische Bedeutung als transportierendes und erodierendes Agens aber dürfte, wenn überhaupt vorhanden, äusserst gering sein. Nur während einer kurzen Zeit des Jahres, nämlich dem kurzen Polarsommer, können an der Eiskante Bäche auftreten, ihre Erosionswirkung ist aber da auf die Ravinen beschränkt, in die sie sich eingeschnitten haben. Das Agens, das in Frage der Verteilung der Niederschläge, der Orientierung der Gletscher und als Beförderer des feinsten Verwitterungsmateriales die grösste Rolle spielt, ist hier der Wind, der ausser den Eisströmen selbst unzweifelhaft als die wichtigste aller denkbaren, die Oberfläche formenden Kräfte anzusehen ist.

Die Bedeutung des Windes als Beförderer von Verwitterungsmaterial in den kalten Gebieten.

Der wichtigste aller erodierenden Faktoren ist in einem vereisten Gebiet natürlich die Exaration, die im Verein mit einer meist sehr intensiven Frostsprengung unablässig an der Nivellierung des Landes arbeitet. Als Beförderer des losgebrochenen Materiales haben natürlich die Eisströme grosse Bedeutung, ihre Wirkung ist aber insoferne beschränkt, als sie nur in ihrem eigenen Stromgebiet arbeiten, während das Verwitterungs- und Erosionsmaterial von den aufragenden, nicht vereisten Gebirgspartien,



E. Stensiö, phot.

Fig. 4. Stark winderodierte Terrassen, Eisfjordgebiet, Spitzbergen.

soweit es nicht direkt auf die Oberfläche des Eises hinabfällt und im Eise eingebettet wird, von anderen Kräften übernommen werden muss, um weiter aus dem Gebiet fortgeführt zu werden.

Verwitterungsmaterial kann ja auf viele verschiedene Weise von seiner Mutterkluft auf das Eis hinaus transportiert werden, wie z. B. durch Erd- und Bergrutschungen, Lawinen, durch die katastrophale Entleerung von Nunatakkseen und Schneelagern mit Schmelzwasser während der Schneeschmelze usw., sicherlich spielen aber diese Prozesse in dieser Beziehung eine weit geringere Rolle als der Wind. Besonders während der kälteren Jahreszeit, wenn kein oberflächlich fließendes Wasser vorkommt, dürfte der Wind das einzige Agens sein, welches das feine Verwitterungsmaterial zu befördern vermag, und es ist höchst wahrscheinlich, dass ein bedeutender Windtransport von losem Material stattfindet. Eine Menge

von Beobachtungen zeugen davon und mit Kenntnis der sehr starken und oft gewaltsamen Stürme in diesen Trakten dürfte man ohne Gefahr einer Übertreibung behaupten können, dass der Wind in diesem Fall eine sehr grosse Rolle als Beförderer von losem Material und als oberflächenformender Faktor überhaupt spielt.

Der seiner Zeit viel besprochene Kryokonit, ein mehr oder weniger feinkörniger Staub, der von NORDENSKIÖLD u. A. auf dem Eis der arktischen Gebiete, hauptsächlich Grönlands, angetroffen wurde und den er als teilweise aus kosmischem Staub gebildet ansah, ist wahrscheinlich zum überwiegenden Teile aus terrestrischem Material gebildet, was auch schon aus den Untersuchungen hervorzugehen scheint, die NORDENSKIÖLD selbst veranstaltete.¹

NORDENSKIÖLDS Ansicht, dass der Kryokonit kosmischen Ursprungs sei, scheint somit eine sehr geringe Berechtigung zu haben und wenn man auch das Vorhandensein von Partikeln extraterrigenen Ursprungs in demselben nicht ganz in Abrede stellen kann, so scheint doch viel dafür zu sprechen, dass er in diesem Fall die Quantität des kosmischen Staubes, der auf die Erde niederfällt, überschätzt hat. Wenn der Kryokonit wenigstens in einer messbaren Menge aus kosmischem Staub bestünde, so wäre es einleuchtend, wenn man ihn besonders auf dem Polareis im Nördlichen Eismeere, z. B. in der Nähe des Poles, anträfe, wo die Aussichten für eine Vermischung mit terrigenem Staub geringer sind, soweit ich aber trotz eingehenden Suchens in der Literatur finden konnte, ist das nicht der Fall. Jedenfalls wird kein Fund von Staub auf dem wirklichen Polareis erwähnt. Weiters sollte man in Analogie damit den Kryokonit z. B. im Innern des antarktischen Kontinentes antreffen, aber auch dort ist dies nicht geschehen, obwohl man wirklich nach solchem Staub gesucht hat. Als Beispiel sei folgender Ausspruch von DRYGALSKI (1904, p. 312) angeführt: »Schon in geringem Abstände von dem Landrande fehlte derselbe (der Kryokonit). In unmittelbarer Nähe des Randes waren einige Staublöcher bis zu 20 cm Durchmesser vorhanden, doch alle nicht tief und an Ausbildung, wie an Zahl in keinem Vergleich zu der Überfülle solcher Löcher auf dem Inlandeise Grönlands.«² Das zeigt, dass Staub auf dem Eis nur in unmittelbarem Anschluss an Moränen oder aufragende Berge vorkommt, was wiederum darauf hindeutet, dass der Staub von diesen abstammen und daher terrestrischen Ursprungs sein muss. Staubtrift ist indess an der Leeseite von aufragenden Nunatakks, Moränen und am Eisrand auch in der Antarktis ein sehr gewöhnliches Phänomen und viele

¹ Betreffs des Kryokonit siehe u. A. NORDENSKIÖLD, A. E.: 1870, pp. 997—1002; 1874, pp. 3—12; 1880—81, I, pp. 310—317; 1882, I, p. 16; 1883—84, pp. 127—227; 1885, pp. 13, 148, 161, 208, 213, 217—224 und andere Arbeiten.

² Ähnliche Aussagen wurden von vielen anderen Verfassern über das Vorkommen von Staub auf dem Fjordeise gemacht und u. A. sagt HARTZ (1896, p. 210), dass man in den grönländischen Fjorden ganz weit draussen äusserst wenig Kryokonit findet, während in der Nähe des Landes grosse Quantitäten davon vorhanden sind.

Aussprüche einer grösseren Anzahl von Forschern zeugen davon. (Siehe z. B. SHACKLETON 1910, II, pp. 32, 253, 267, 297 usw.; GREELY 1886, I, p. 410 u. A.).

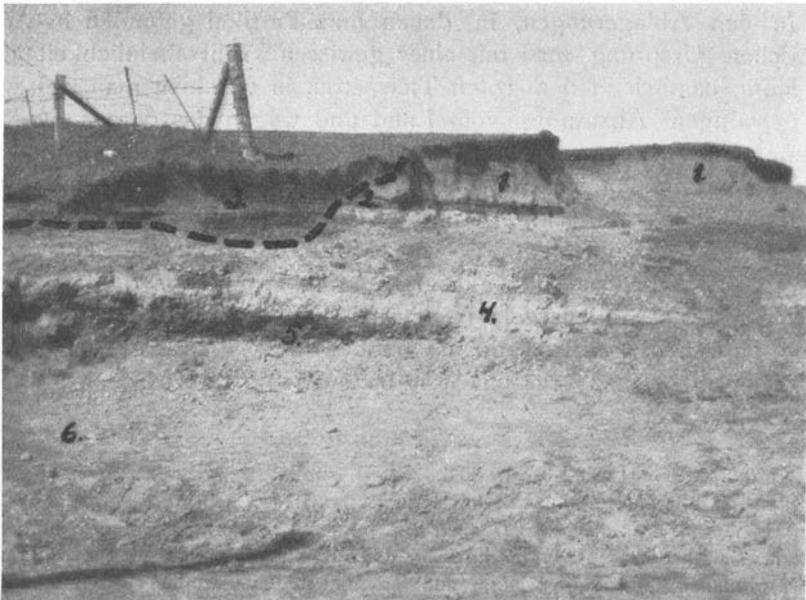
In allen diesen Fällen scheint es ausser allen Zweifel gestellt zu sein, dass es sich um terrestrischen Staub handelte, und es besteht wenig Wahrscheinlichkeit, dass während einer so kurzen Zeitspanne, wie die Dauer der Oberfläche einer Schneedecke, oder die das gleiche Lager eines Gletschers oberflächlich exponiert ist, eine messbare Menge von kosmischem Staub sich sollte ansammeln können, so dass derselbe auf dem Grunde der Schmelzgruben, in denen er sich angehäuft findet, wirkliche Lager bilden könnte.

In den Ablagerungen, in denen man Partikel gefunden hat, deren kosmischen Ursprung man mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit annehmen kann, nämlich in dem roten Tiefseeton, in welchem man sich wegen des gewaltigen Abstandes vom Land und wegen des daraus folgenden, sparsameren Vorkommens von verwehtem, terrigenem Staub ein reichlicheres Vorkommen von kosmischem Material vorstellen könnte, zeigt sich dieses doch nur eine geringe Anzahl von Prozenten der totalen Ablagerungen auszumachen. So sagt MURRAY (MURRAY & HJORT 1912, p. 154): »The materials of extra-terrestrial origin, though extremely interesting, do not bulk largely in marine deposits; indeed they are rather of the nature of rarities, and are noticed most abundantly in Red clay areas where, for many reasons it is believed the rate of deposition is at a minimum».¹

¹ MURRAY sagt (1883—84, p. 489): »It is known that the atmosphere holds in suspension an immense number of microscopic particles which are of organic and inorganic origin, and are either dust taken up by aerial currents from the ground or are extra-terrestrial bodies. A large number of scientific men, headed by Ehrenberg, Daubrée, Reichenbach, Nordenskiöld, and Tissandier, have studied this interesting problem, and have brought forward many facts in support of the cosmic origin of some of the metallic particles found in atmospheric precipitations. It is certain that serious objections may be raised against the origin of a large number of so-called cosmic dust. In a great many cases it can be shown that these dusts are composed of the same minerals as the terrestrial rocks which are to be met with at short distances from the spot where the dust had been collected, and a cosmic origin can be attributed only to the metallic iron. It is somewhat astonishing, however, that no trace is ever found in these dusts of meteoric silicates, although in a great many meteorites it might be said that the iron is only accidentally present, while the silicates predominate. On the other hand, having regard to the mineralogical composition of meteorites, it appears strange that so-called cosmic dusts should present characters so variable, from the point of view of their mineralogical composition, in the different regions where they have been collected. It might also be objected that even the iron, nickel, and cobalt could come from decomposing volcanic rocks in which these bodies are sometimes present, and this objection would seem quite natural, especially in this particular case, where there are numerous volcanic fragments in decomposition on the bottom of the sea. Again, according to numerous researches, native iron is found, although rarely, in various rocks and sedimentary layers of the globe. A reduction of the oxide of iron into metal might also be admitted under the influence of organic substances. It might still further be objected in

All dies zeigt, wie es scheint, mit aller wünschenswerten Deutlichkeit, dass ein grosser Teil des Staubes, den man früher für kosmischen Ursprungs hielt, sicherlich terrigener Natur war. Untersuchungen haben gezeigt, dass feine Staubpartikel, z. B. vulkanische Asche, sich während sehr langer Zeit in der Luft schwebend erhalten können und erst nach einer längeren Zeitspanne, vielleicht nach mehreren Jahren, zur Ablagerung kamen.

Es ist daher sehr wahrscheinlich, dass ein bedeutender Teil der Partikel, die von NORDENSKIÖLD für kosmisch gehalten wurden, somit terrestrischen Ursprungs sein dürften und wenn auch der Staub sehr weit



Verf. phot.

Fig. 5. Profil durch ein Lösslager, Nordisland. 1. Jüngerer Löss. 2. Torf. 3. Diskordant abgelagerter, jüngerer Löss. 4. Vulkanische Asche. 5. Moräne. 6. Fluvioglaziale Bildungen.

von Nunataks und anderen Stellen mit entblösten Gesteinsschichten angetroffen wird, so zeigt es sich doch ausnahmslos, dass der Staub in der Nähe solcher Örtlichkeiten reichlicher vorhanden ist als oben auf dem Inlandeis, und gleichzeitig wächst die Korngrösse in der Nähe von Küste und barem Boden, so dass es klar wird, dass der sogen. Kryokonit aus

opposition to the cosmic origin of the fine particles of native iron that they might be carried by aerial currents from furnaces, locomotives, the ashes of grates, and, in the case of the ocean, from steamers. All the materials of combustion furnish considerable quantities of iron dust, and it would not be astonishing to find that this, after having been transported by the winds, should again fall on the surface of the earth at great distances from its source.» (cf. Report on the scientific Results of the Voyage of H. M. S. Challenger &c, Narrative — Vol. I, p. 809; MURRAY 1876—77, pp. 247—261.)

verwehtem Material besteht, das zum überwiegenden Teil aus der Umgebung selbst her stammt. Dass er auch oberhalb der eigentlichen Randbergs- und Nunatakkregion auf dem Inlandseis vorkommen kann und auch tatsächlich vorkommt, dürfte auf folgende Weise zu erklären sein: Überall wo die Bedingungen im Übrigen günstig sind, d. h. wo Driftmaterial zur Verfügung steht und wo die Möglichkeit vorhanden ist, dass dieses zur Ablagerung gelangen kann, kommen in den Randgebieten rezenter oder vorzeitlicher Vereisungsgebiete Lössablagerungen vor. In Mitteleuropa trifft man solche ja an vielen Stellen vor dem Rande der grossen Vereisung an, in Amerika decken sie auf dieselbe Weise gewaltige Gebiete besonders in den westlichen Staaten und im Mississippibecken¹, auf Island und auf Grönland finden sie sich in rezenter Form.²

Wenn nun die Windverhältnisse auf Grönland von der Art sind, dass die überwiegenden Winde vom Inlandseis kommen, so führen sie das feinste Verwitterungsmaterial mit sich. Sie erstrecken sich aber auch an das Ablagerungsgebiet der Bäche am Eisrand herab und wirbeln auch auf diesem trockenen Boden eine Menge feinen Verwitterungsmateriales auf. Ein grosser Teil dieses feinen Staubes wird in bedeutende Höhen geführt. Über der relativ warmen Zone zwischen dem Inlandseis und dem Fjordgebiet besteht ja eine aufsteigende Luftströmung. Diese Luft hat dann auf höherem Niveau die Tendenz abzubiegen und geht dann als Kompensationswind über das Land und das Inlandseis hinein.

Sobald diese Luft entweder durch den Kontakt mit den kalten, mehr mit Feuchtigkeit gesättigten Winden von draussen oder durch die Ausstrahlung vom Inlandseis abgekühlt wird, tritt eine Kondensation von Wasserdampf um diese feinen Staubpartikel ein und sie fallen auf das Inlandseis herab. Wenn die oben zitierte Vermutung SIMPSONS (1919, pp. 267–268) über die Verhältnisse in der Antarktis mit ihren gleichartigen Windverhältnissen richtig ist, findet das Phänomen somit leicht seine Erklärung.

¹ Vergl. PIRSSON and SCHUCHERT 1915, pp. 17 und 949.

² Besonders merkwürdig ist in dieser Beziehung Island, dessen eigenartige Bodenbeschaffenheit und Verwitterungsverhältnisse eine besonders reichliche Menge von Verwitterungsmaterial zur Verfügung stellen. Überall in der Küstenzone und ausserhalb des eigentlichen Plateaugebietes kommen bedeutende Lössablagerungen, sogen. Mòhella, vor. In der Regel variiert die Mächtigkeit zwischen wenigen dm und wenigen m, zuweilen aber hat man das Liegende der Mòhella nicht angetroffen und es ist wahrscheinlich, dass ihre Mächtigkeit an gewissen Stellen mehr als 100 m beträgt. Dieser Löss ist auf Island die wichtigste aller losen Ablagerungen.

Über den Löss in Dänisch Südwestgrönland sagt O. NORDENSKIÖLD (1910, pp. 25–26): »Besonderes Interesse er bietet eine lössartige Erde, die in der Nähe des Eisrandes die Landschaft und besonders die meisten Höhen bedeckt. Sie stammt wahrscheinlich von dem feinsten Gletscherstaub, der von den Bächen ausgebreitet wird, und wenn er getrocknet ist, vom Wind fortgeführt und dann dort festgehalten wird, wo der Boden bewachsen ist. Der Vorgang ist interessant als Fingerzeig auf die Bildungsweise des Löss, der in den Randgebieten des nordeuropäischen Inlandseises angetroffen wird.»

Staubtreiben an Schnee gebunden.

Es dürfte also klar sein, dass ein grosser Teil der Verwitterungsprodukte des festen Anteiles des Erdbodens einem bedeutenden Windtransport ausgesetzt ist und dass während der kälteren Jahreszeit, wenn fließendes Wasser nicht vorhanden ist, der Wind der einzige Faktor ist, mit dem man für den Transport des oberflächlich liegenden Verwitterungsmateriales überhaupt zu rechnen hat.

An exponierten und gegen den Wind offenen Stellen wird die Schneedecke recht bald fortgeführt und wenn jene den Boden nicht mehr schützt, kommt die Reihe an diesen. So wird der Umstand, dass der Schnee oftmals Sand enthält, u. A. von NARES (1878, I, p. 142), RAS-



Fig. 6. Winderodierter Wiesenboden, Tasiusak. Ostgrönland. Nach Kruuse.

MUSSEN (1919, pp. 209, 210, 211, 212, 228) und vielen Anderen erwähnt. Die besten Beobachtungen über diese Art von Deflation dürften die von KRUUSE gemachten sein und sein Ausspruch sei hier in Übersetzung angeführt (KRUUSE 1911, p. 14): »In den Bergen war der Schnee nach einem Sturm weggeblasen, so dass die Pflanzen der Witterung preisgegeben waren, ja an vielen Stellen hatte der Wind die Vegetationsdecke aufgerissen und wegerodiert, so dass der Boden aus erbsengroßem Grus bestand. . . . Die Vegetation wird dann auf die kleinen steilen Kanten von ca 10 cm Höhe eingeschränkt, die sich auf dem Gebirgsboden in grosser Zahl vorfinden. Nach Sturm war der Schnee in kleinen Gruben, die Windschatten boten, mit mazerierten Blättern von *Vaccinium* bedeckt; Samen und Früchte wurden jedoch in den genommenen Proben nicht beobachtet. Andere kleine Vertiefungen im Schnee von 30—50 cm Durchmesser waren mit Sand bedeckt.»

KRUUSE berichtet an mehreren Stellen, dass der Schnee nach Sturm

oft mit einem groben Grus mit bis zu 10 mm Korngrösse bedeckt ist, der um die Berggipfel und Hügel bogenförmige Streifen bildet (l. c., pp. 225—226), was ja darauf hindeutet, dass in diesen Gegenden beträchtliche Quantitäten von Grobmaterial von den Winterstürmen in Bewegung gesetzt und über längere Strecken transportiert werden können.

Er scheint weiters der Meinung zu sein, dass die Ansammlung von Flugsandmaterial hauptsächlich im Winter stattfinden muss, dann er sagt (l. c., p. 213), der Flugsand finde sich in Ostgrönland »an der Leeseite von Klippen, wo er im Winter zusammen mit Schnee abgelagert wird».

Dass Flugsand im Schneetreiben mitgeführt wird ist auch von be-

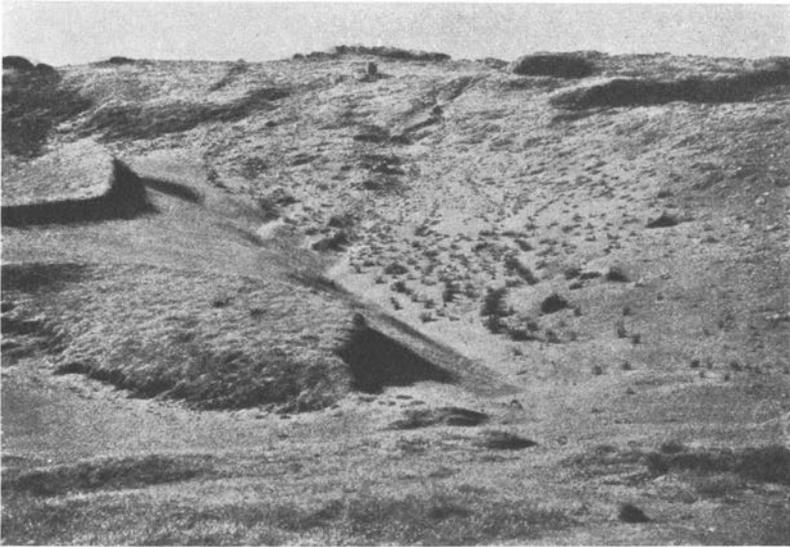


Fig. 7. Erosionszeugen in Wiesenboden. Ostgrönland. Nach Hartz und Kruse.

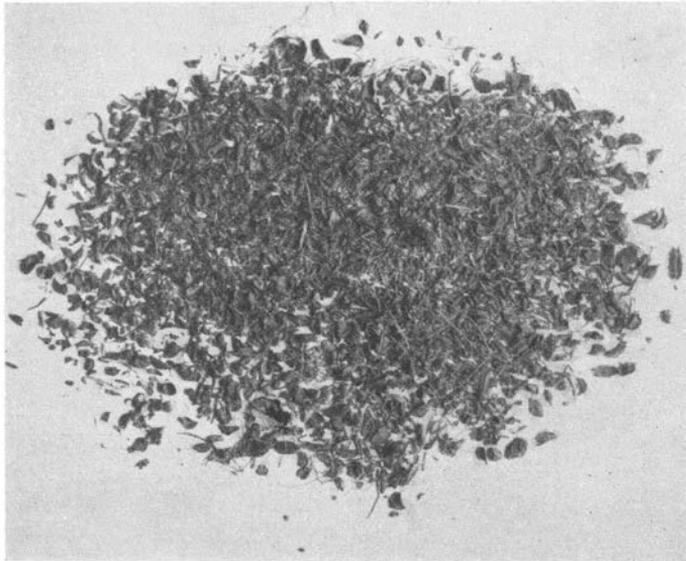
deutend niedrigeren Breitengraden ein altes, wohlbekanntes Phänomen. So berichtet schon LINNÉ (1751, p. 76), dass dies in Skåne im Winter der Fall ist und während einer Reise auf Öland erfuhr ich von dort ansässigen Personen, dass man bei starkem Wind mit Schneetreiben — sogen. »Ölandsfäk« — kaum mit Schlitten fahren kann, da der Schnee so viel Sand enthält. Bezüglich der skandinavischen Hochgebirge sagt auch SERNANDER (1915, p. 83), dass »während des Winters von den aperen Stellen Sanddrift ausgeht».

Drift von sowohl organischem als unorganischem Staub zusammen mit Treibschnee ist somit in so gut wie allen Teilen der nordischen und polaren Gebiete eine sehr gewöhnliche Erscheinung, insoferne Driftmaterial zur Verfügung steht und die Bedingungen im Übrigen günstig sind.

Das Material, das am leichtesten vom Wind in Bewegung gesetzt wird, besteht natürlicher Weise aus Blattfragmenten und anderem organischen

Material. An geschützten Stellen, wo Schneewehen gelegen hatten, sieht man somit, wie oft ganz bedeutende Lager derartigen Materiales angesammelt sind. Selbst habe ich derartige Dünen aus Pflanzenmaterial an mehreren Stellen auf Spitzbergen beobachtet (Vergl. Fig. 8) und HARTZ (1896, p. 210) erwähnt solche auch von Grönland, die offenbar zusammen mit Treibschnee getrieben hatten.

In den Wehen selbst findet man auch oft Schmutzstreifen sowohl organischen als unorganischen Ursprungs. HAMBERG gibt (1907, p. 32, Fig. 15) ein Bild einer derartigen Wehe mit Schmutzstreifen (vergl. Fig. 9), und WEGENER zeigt aus dem nordöstlichen Grönland ein Bild eines der-



Verf. phot.

Fig. 8. Ausschliesslich aus Blättern (*Dryas*, *Salix*, etc.) bestehendes Dünenmaterial. Cap Boheman, Spitzbergen. $\frac{1}{2}$ nat. Gr.

artigen Schmutzhorizontes in einer Wehe (cf. KOCH & WEGENER 1911, p. 67, Fig. 90). WEGENER nennt diese Erscheinung »falsche Jahresschichtung«, ein Ausdruck, der aller Wahrscheinlichkeit nach als richtig betrachtet werden kann.

Selbst habe ich solche mehrmals an verschiedenen Stellen auf Spitzbergen beobachtet und Fig. 10 dürfte eine gewisse Vorstellung von dem Aussehen einer derartigen Wehe vermitteln. Bezüglich der Entstehung dieser Schmutzstreifen dürfte es keinem Zweifel unterliegen, dass sie von verschiedenen Sturmperioden während eines und desselben Winters herühren, wobei jeder solche Streifen einen mehr oder weniger kräftigen Schneesturm bezeichnet. Die Wehe war nicht perennierend, denn bei einem Besuch, den ich einen Monat später an dem Platze machte, war sie mit Ausnahme eines firnartigen Eiskuchens weggeschmolzen, welcher sich

an der Leeseite der Ravine erstreckte und mit eine Schichte von Blättern, Staub und Sand bedeckt war.

Die verschiedenen Lager hatten eine etwas verschiedenartige Zusammensetzung und sowohl ihre Mächtigkeit als ihr gegenseitiger Abstand variierte beträchtlich. Untenstehendes Profil zeigt einen Durchschnitt durch die eben erwähnte Wehe, die auf Spitzbergen in einer Ravine im Pass zwischen dem Holländertal und Green Harbour angetroffen wurde. (Vergl. Fig. 11.)

Zu bemerken ist, dass auch die Teile, die ich als ziemlich reinen Schnee bezeichnet habe, teilweise von Staub gefärbt waren, jedoch nicht in dem Grade, dass man ihn als wirkliche Staubschichten ansehen konnte. In Wirklichkeit dürfte der Staub und die eingemischten Pflanzenreste mit

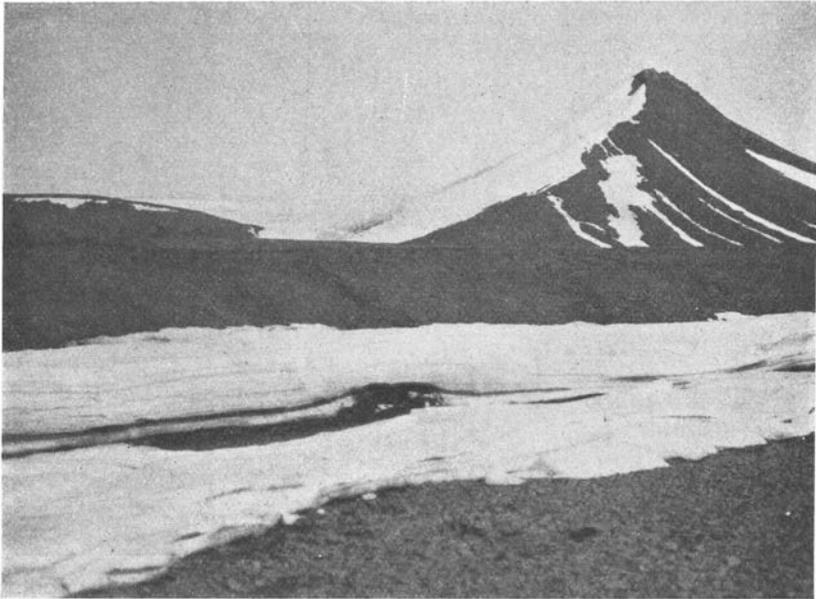


Fig. 9. Staubimprägnierte Schneewehe. Pårök, Lappland. Nach Hamberg.

kaum 1% der ganzen Schneemasse eingeschätzt werden können. Oftmals bedarf es nur äusserst wenig Staubes, um eine Färbung herbeizuführen und Versuche, die ich ausgeführt habe, zeigen, dass sehr feiner Staub schon bei einem so geringen Vorkommen wie 1:1000 eine deutliche Veränderung der weissen Farbe bewirken kann. Eine Eigentümlichkeit, die doch Erwähnung verdient, ist der Umstand, dass man zwar in einem Vertikalprofil eine Färbung des Schnees schon bei sehr geringen Staubmengen wahrnehmen kann, dass es aber nicht immer so leicht ist, das Vorhandensein von Staub auf einer horizontalen Schneefläche zu konstatieren, wenn er nicht in solcher Menge vorhanden ist, dass seine Körner eine so gut wie zusammenhängende Decke bilden. Ich habe mich über diesen Umstand oft gewundert und habe oftmals an Stellen, wo ich Imprägnierung mit Staub vermutete, keine Spur davon an der Oberfläche des Schnees wahrnehmen können, jedoch bei einer Grabung im Schnee

oder an einer abgerutschten Partie fast ausnahmslos Schmutzstreifen angetroffen.

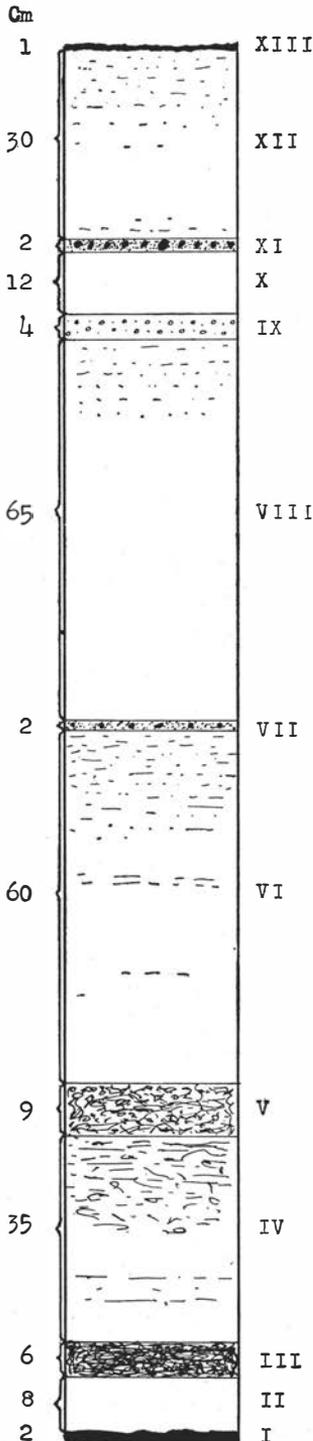
Dieses Verhalten kann vielleicht darauf beruhen, dass der Staub bei der Ausbreitung über eine im Verhältnis zu seiner Menge grosse Fläche so über dieselbe verteilt und mit dem Schnee vermischt wird, dass er der Aufmerksamkeit entgeht. Weiters kann man annehmen, dass diese Körner zufolge ihrer dunkleren Farbe mehr Wärme aufnehmen und ziemlich rasch ein Stück in den Schnee einschmelzen, sofern sie nicht in solcher Menge vorhanden sind, dass sie den Schnee bedecken und infolgedessen eine Totalabschmelzung und dadurch verursachte Oberflächensenkung der ganzen Schneewehe bewirken. Sogen. Kryokonitlöcher und andere



Verf. phot.

Fig. 10. Schneelager mit Schmutzstreifen («falsche Jahresschichtung»)
Green Harbour, Spitzbergen.

Schmelzgruben sind ja sonst gewöhnliche Erscheinungen, sie setzen aber eine solche Verteilung der oberflächlich liegenden Partikel voraus, dass gewisse Stellen relativ rein, andere dagegen reicher an Staub sind. Bei einer gleichmässigen Verteilung der Staubimprägnierung eines Schneefeldes kann man auch nicht leicht zu einer Vergleichung zwischen wirklich reinem und schmutzigerem Schnee gelangen. So kann man kilometerlange Strecken über relativ grauen Schnee gehen, ohne etwas anderes glauben zu können, als dass man mit wirklich reinem Schnee zu tun hat. Es ist jedoch ziemlich leicht, sich von der Sachlage zu überzeugen, denn man braucht in der Regel nur das oberste Schneelager aufzubrechen, um einen völlig deutlichen Farbenunterschied zwischen der oberflächlichen und der



zunächst darunter liegenden Schicht zu finden. Besonders schwer ist es, einen Farbenunterschied zwischen reinem und mehr oder weniger grauem Schnee zu sehen, da die reineren und die schmutzigeren Partien an der Oberfläche eines größeren Schneefeldes in der Regel mehr oder weniger unmerklich in einander übergehen. Wenn im Sonnenschein der Schnee glitzert und man dunkle Brillen benutzt, ist es dadurch besonders schwierig, einen Unterschied zwischen wirklich reinem und mehr oder weniger mit Staub vermishtem Schnee herauszufinden.

Dass man die Imprägnierung mit Staub in einem Vertikalschnitt leichter wahrnehmen kann, beruht darauf, dass längs der Schichtflächen eine gewisse Anreicherung stattfindet. Da die weiße Farbe des Schnees auf Totalreflexion beruht, ist es klar, dass jede Staubpartikel, die dem Schnee beigemischt ist, lichtabsorbierend wirkt und dass daher angrenzende Teile der staubführenden Schicht dunkler aussehen, selbst wenn man die eingebetteten Körner nicht direkt wahrnehmen kann. Je dichter und eisartiger der Schnee wird, desto durchscheinender wird er und desto schärfer muss

Fig. 11. Profil durch eine Schneewehe mit Schmutzstreifen. Green Harbour, Spitzbergen. Juli 1921.

- I. Ein Lager mehr oder weniger verfallener Pflanzenreste. 2 cm.
- II. Reiner Schnee. 8 cm.
- III. Lager stark zusammengefrorener Pflanzenreste. 6 cm.
- IV. Ein 35 cm mächtiges Lager von Schnee mit zahlreichen Pflanzenfragmenten, deren Zahl nach oben hin zunimmt.
- V. Ein sehr schmutziges Lager mit Pflanzenfragmenten, Sand, Grus und Staub. 9 cm.
- VI. Fast reiner Schnee. In den obersten Teilen schmale Streifen mit Staub und Pflanzenresten. In der Regel sehr kleine Körner.
- VII. Ein dichtes Lager fast ausschliesslich feinen Sandes mit verstreuten Körnern von größerem Grus. 2 cm.
- VIII. Ein Lager reinen Schnees. In den oberen Teilen vereinzelte Staubstreifen. Pflanzenmaterial. 65 cm.
- IX. Sand und Gruslager, hartgefroren. 4 cm.
- X. Reiner Schnee. 12 cm.
- XI. Lager von sehr feinem Staub und grobem Grus. 2 cm.
- XII. Fast reiner Schnee, firnartig. Pflanzenreste, Sand und Staub in dünnen Streifen. 30 cm.
- XIII. Ein dünnes Lager von Staub, Blattresten von variierender Mächtigkeit. Ca. 1 cm.

auch eine sehr dünne Staubschicht in einem Vertikalprofil als schwarzer Streifen hervortreten, da nicht nur die zu äusserst liegenden Körner zu sehen sind, sondern auch die weiter drinnen liegenden sozusagen in das Profil projiziert werden.

Im Winter, wenn die Unebenheiten des Bodens zum grossen Teil ausgeglichen sind und den Körnern, die auf den Boden niederfallen, weniger Halt geboten ist, während gleichzeitig die Luft durch den beigemischten Schnee eine vergrösserte Fähigkeit hat, schwerere Körner in sich schwebend zu erhalten als sonst, müssen die Bedingungen für den Staubtransport durch den Wind als ziemlich günstig betrachtet werden.¹ Man kann sich auch denken, dass der Staub sich des Treibschnees als Vehikel bedient (eine Ansicht, die von SVENONIUS 1898, p. 569 dargelegt wurde), und auch ich selbst habe früher eine ähnliche Vermutung ausgesprochen (SAMUELSSON 1921, pp. 132—133), indem ich sagte, es sei denkbar, »dass Staub und dergleichen an Schneekörnern haften kann, so dass dieselben für die kleineren, festen Partikel als eine Art von Transportwerkzeug dienen. Es ist in diesem Falle ziemlich offenbar, dass ein aus Sand und Schnee zusammengesetztes Korn teils dem Wind eine viel grössere Angriffsfläche bietet als der reine Sand, teils auch ein bedeutend geringeres spezifisches Gewicht hat als dieser und dass ein so zusammengesetztes Korn wegen seines grösseren Volumens von den Unebenheiten der Unterlage viel weniger abhängig ist.«

Schneetreiben.

»Die Literatur über Schnee und Schneedecke ist, wie man erwarten kann, sehr umfangreich und in Publikationen verschiedenster Art zerstreut«, sagt HAMBERG in der Einleitung seiner Arbeit »Die Eigenschaften der Schneedecke in den lappländischen Gebirgen«. Indess zeigt HAMBERG, dass nur äusserst wenige Arbeiten über die Schneedecke und ihre Eigenschaften geschrieben wurden, obwohl die Erscheinungen so allgemein sind, und sagt (HAMBERG 1907, p. 2): »es sieht aus, als ob der Schnee hier (Skandinavien) eine so allgemeine Erscheinung wäre, dass er deshalb selten zu wissenschaftlichen Studien gelockt hat.« Dieser Ausspruch über die Schneedecke und ihre Eigenschaften gilt natürlich in noch höherem Masse von der Schneedrift, sieht man aber von verstreuten Beobachtungen und allgemeinen Aussagen in der Expeditionsliteratur ab, so ist kaum eine grössere und mehr methodische Untersuchung gemacht worden, um die Grösse oder die Bedeutung der Schneedrift zu bestimmen.

In seiner oben genannten, grundlegenden Arbeit hat HAMBERG auch

¹ Vergl. einen Ausspruch von SANDSTRÖM (1912, pp. 4—5), worin es heisst, mit Schnee vermischte Luft »ist in dynamischer Hinsicht sehr schwer, weil man bei Berechnung ihres spezifischen Gewichts auch den Schnee berücksichtigen muss, der in die Luft eingemischt ist«.

viele, hierher gehörige Probleme über die Akkumulations- und Erosionsverhältnisse der Schneedecke eingehend diskutiert und auch die Bedeutung des Windes in diesem Fall ausführlich behandelt. Es erübrigt somit hier nur, eine übersichtliche Zusammenstellung der Beobachtungen über die Winddrift von Schnee zu geben und über die Auffassung, die verschiedene Forscher von deren Quantität und Bedeutung haben.

Man has sich zwar durch Laboratoriumsversuche, usw. über die Fähigkeit des Windes, Sandkörner und andere feste Körper von gewisser Beschaffenheit und unter gewissen Bedingungen in Bewegung zu setzen, eine ziemlich gute Auffassung gebildet, es ist jedoch im Grossen und Ganzen nicht näher klar gestellt, inwiefern und in welchem Grade diese Laboratoriumsversuche die Verhältnisse in der Natur decken oder mit ihnen zusammenfallen. Die angestellten Versuche können auf keine Weise einer Auffassung der natürlichen Verhältnisse zu genügen angesehen werden. Die verschiedenen Untersuchungen sind teils unter verschiedenen Bedingungen und von verschiedenen Prinzipien ausgehend ausgeführt worden, teils gründen sich die Angaben oft nur auf subjektive Schätzungen, so dass sie nicht ohne Weiteres verglichen werden können, und es ist nicht möglich, aus den gemachten Beobachtungen und Untersuchungen andere als höchst allgemeine Schlüsse zu ziehen.

Nach ANDRÉE (1883, p. 35) gab es vor NORDENSKIÖLD (1880—81) in der Litteratur keine Angaben über die Mächtigkeit der Schneedrift in den arktischen Gebieten. So viel ich finden konnte, hat auch kein Forscher vor ANDRÉE eine mehr methodische Bestimmung der Schneedrift versucht. Seitdem haben mehrere andere Forscher eine Reihe mehr oder minder subjektiver Aussprüche gemacht, die jedoch insgesamt in einer bestimmten Richtung deuten, mit Ausnahme von WEGENERS Untersuchungen von Grönland sind aber aus der Arktis wahrscheinlich keine Untersuchungen publiziert. In der Antarktis wurde mehrmals Versuche zur Bestimmung dieser Drift gemacht, irgendwelche bestimmte Data habe ich jedoch nicht gefunden. MAWSON erzählt in dem populären Bericht über The Australasian Antarctic Expedition 1911—1914 (1915, pp. 122—123), dass Versuche und kontinuierliche Messungen mit einer besonders konstruierten »drift gauge» gemacht wurden, da ich aber die wissenschaftlichen Bearbeitungen nicht gesehen habe und er in der oben erwähnten Arbeit über die Quantität keine Data angibt, muss ich darauf verzichten, irgendwelche präzisere Angaben zu machen.

NORDENSKIÖLD (1880, p. 467) sagt an der von ANDRÉE gemeinten Stelle, dass der Schnee beim Winterquartier der »Vega» so lose war, dass er »beim mindesten Windhauch hin und her wirbelte. Bei Sturm oder starker Brise wurde der Schnee in höhere Luftschichten geführt, die bald mit einem so dichten, feinen Schneestaub gefüllt wurden, dass Gegenstände im Abstand von wenigen Metern nicht mehr unterschieden werden konnten . . . Aber auch bei schwachem Wind und unter wolkenfreiem Himmel bewegte sich ein Schneestrom von wenigen cm Höhe den Boden

entlang in der Richtung des Windes — — — Die Wassermenge, die in gefrorenem Zustand in diesem, gewiss nicht mächtigen, aber ununterbrochenen und windschnellen Strom über die Nordküste Sibiriens nach südlicheren Gegenden geführt wurde, muss mit der Wassermasse in den Riesenflüssen der Erde vergleichbar sein und spielt in klimatischer Hinsicht eine hinreichend grosse Rolle, unter anderem als Kältebringer nach den nördlichsten Waldgebieten, um der Beachtung der Meteorologen wert zu sein.»

Um für diese Schneedrift irgend ein Mass zu erhalten, wurden von ANDRÉE im Jahr 1882—83 bei der Schwedischen Station auf Kap Thorsen eine Reihe von Untersuchungen angestellt. Er berechnete aus den experimentell gefundenen Werten, dass bei einer Windstärke von 6 Beauf. (ca. 10,7 m/s) und einer Temperatur von $-10,7^{\circ}$ C durch einen Querschnitt von einem Quadratmeter eine Schneemenge von rund 425 kg in der Stunde hindurchströmt. »Ein derartiger Schneestrom von 10 Kilometer Breite befreit in 48 Stunden ein Areal von 10 Quadratkilometern von einer Schneedecke von 25 cm Dicke. (Die Dichte des Schnees ist zu 0,08 angenommen).» ANDRÉE sagt, dass diese Werte als Minima zu betrachten sind, da der Schnee nicht mitgerechnet wurde, der in grösserer Höhe als 1 m über dem Boden trieb. Es sind aber nicht nur Winde von dieser Grössenordnung und darüber, die den Schnee in Bewegung setzen, denn trockener und feinkörniger Schnee wird schon von einem sehr leisen Windhauch aufgewirbelt und ANDRÉE sagt: »es muss daher angenommen werden, dass der lose Schnee in den Polartrakten beständig in Bewegung oder wenigstens nur ausnahmsweise in Ruhe ist.« (ANDRÉE 1883, pp. 35—41).

Dass es sich so verhält, wurde später von allen Expeditionen bestätigt, die in späteren Zeiten die Polartrakte, besonders die Antarktis, besucht haben, denn es war völlig unmöglich irgendwelche zuverlässige Niederschlagsmessungen anzustellen, da die grosse Masse von Treibschnee, welche die unteren Luftschichten erfüllt, nicht zu bestimmen gestattet, inwiefern der an einer Stelle fallende Schnee derart aufgewirbelter oder neugefallener Schnee ist. (cf. BODMAN 1908, pp. 25—26; MEINARDUS 1911, pp. 152—154; SIMPSON 1919, pp. 159—162 u. A.).

Während der Danmark-Expedition nach der Nordostküste Grönlands 1906—08 wurden von WEGENER eine Reihe von Beobachtungen und Untersuchungen über die Schneedrift und die Beschaffenheit des Schnees bei verschiedenen Windstärken ausgeführt. Folgender Ausspruch sei in extenso wiedergegeben (WEGENER 1911, p. 345):

»Wenn der Schneefall bei lebhaftem oder gar stürmischem Winde stattfindet, so gerät der neu fallende Schnee sofort ins Fliessen, wobei die zierlichen Skelettbildungen der Schneekristalle in Körner verwandelt werden. — — — Der Schwellenwert der Windstärke, bei welcher ein solches Mitfliessen des am Boden liegenden Schnees beginnt, variiert naturgemäss etwas mit der Lufttemperatur und mit der Beschaffenheit der Schneebedeckung. Als Mittelwert kann man aus den zahlreichen, wengleich

unsystematischen Beobachtungen, zu denen namentlich die Drachenaufstiege Anlass gaben, etwa 6—7 m p. s. annehmen. Bei dieser Windgeschwindigkeit setzt sich der Schnee am Boden in eine fließende Bewegung, ohne sich jedoch mehr als einige Dezimeter über ihn zu erheben. Wie ausserordentlich gleichmässig dieses Fließen an geeigneten Stellen vor sich gehen kann, zeigt die im Wetterjournal vom 17. Februar 1908 (S. 287) beschriebene Erscheinung des Schneeschattens, die wir bei einem Gange über das Glatteis beobachteten. Wenn die Windgeschwindigkeit auf etwa 10—15 m p. s. wächst, so erfüllt der fließende Schnee bereits eine mehrere Meter dicke Schicht, so dass er den Blick behindert. Eine Geschwindigkeit von 15 m p. s. aufwärts gilt daher im allgemeinen im Polargebiet mit Recht als Sturm. Die stärksten Stürme auf der Danmark-Expedition, bei denen die Geschwindigkeit nicht nur in einzelnen Stößen, sondern längere Zeit hindurch 20 m p. s. und mehr betrug, wirbelten den Treibschnee etwa 15—20 m hoch auf, was sich meist an den (30 m hohen) Schiffsmasten kontrollieren liess. Indessen muss hervorgehoben werden, dass die Höhe der mit Treibschnee gefüllten Luftschicht sehr von der lokalen Bodenbeschaffenheit abhängt. Einmal hatte ich z. B. Gelegenheit — — — zu beobachten, wie der Schnee in einem gewaltigen Bogen über den Thermometerfjæld fortgetragen wurde. Er bot den Anblick einer mächtigen, gerade über den Berg fortschiessenden brandenden Woge. In Lee dieses Berges betrug die Höhe des Treibschnees damals sicherlich 100 m oder mehr. Auch die im Wetterjournal S. 283 abgebildete Erscheinung ist hier zu nennen. Damals zog sich von dem Höhenrücken der grossen Koldewey-Insel eine gewaltige Wolke von Treibschnee etwa 10 km weit nach Osten, in diesem Gebiet waren also die ganzen untersten 800—900 m mit Treibschnee erfüllt. Schliesslich wären in diesem Zusammenhange noch die Schneewirbel zu nennen, die in den kluftartigen Fjorden und Seen in dem Gneisplateau westlich der Hauptstation, also namentlich an der Station Pustervig häufig beobachtet wurden. Da der Treibschnee der Menge nach doch nur ein recht dürftiges Material darstellt, boten diese Wirbel auch nur selten für das Auge eine besonders auffallende Erscheinung. Sie wanderten meist mit dem Winde aus dem Fjord hinaus und reichten von der Oberfläche des Meereises bis zur Höhe des Gebirgsplateaus, also 600—700 m hoch. Die Stärke dieser Wirbel war oft eine sehr bedeutende, und dass eigentlich zerstörende Wirkungen nicht zur Beobachtung gelangten, lag wohl meist daran, dass es an geeigneten Objekten hierfür fehlte. — Es sei gleich an dieser Stelle erwähnt, dass bei einer weiteren Steigerung der Windgeschwindigkeit schliesslich auch das kleinere Steingeröll mit ins Fließen gerät. Am Danmarks-Havn kam dies nur bei den schwersten Stürmen vor, und es muss dazu wohl eine Windgeschwindigkeit von 25—30 m p. s. angenommen werden. Wenn man zu solchen Zeiten im Freien ist, wird man fortwährend mit kleinen Steinen bombardiert, die sich allerdings immer in der Nähe des Erdbodens halten. Den feineren Erdstaub bemerkt man nicht, kann ihn aber nach

beendigtem Sturm in dem starken Schmutzgehalt aller neu entstandenen Schneewehen wiederfinden.»

Er versuchte auch einige Male die Schneemenge zu messen, die den Boden entlang geführt wurde und fand, dass 1 Kubikmeter Luft bei Stürmen von etwa 20 m/s an der Bodenoberfläche 33,4 g und in einer Höhe von 1,8 m 5,5 g Schnee enthielt. Mit Rücksicht auf den unvollkommenen Apparat — er bediente sich des Regenmessers, dem er mit der Öffnung gegen den Wind stellte — konnte er bei Weitem nicht all den Schnee auffangen, der vom Wind in einem dem des Regenmessers entsprechenden Querschnitt einhergetrieben wurde und sagt daher: »Höchst wahrscheinlich sind diese Zahlen aber erheblich zu klein, da wohl viel Schnee durch das seitliche Ausbiegen des Windes vor dem Regenmesser an ihm vorbeigeführt wird, statt in ihm zur Ablagerung zu kommen. Immerhin dürften diese Zahlen doch einen ungefähren Begriff davon geben, um welche Mengen es sich handelt.« (WEGENER 1911, pp. 345—347).

Es hat also den Anschein, dass WEGENER als den Mittelwert der Windstärke, bei welcher die Schneedrift beginnt, 6—7 m/s setzt, und er bemerkt, dass dieser Wert teils von der Beschaffenheit der Schneedecke, teils von der Temperatur der Luft abhängig ist. Indess sagt ANDRÉE (1883, p. 41), die Bedeutung der Schneedrift müsste »ziemlich untergeordnet sein, wenn die Wirkungen nur bei Stürmen oder grossen Windgeschwindigkeiten bemerkbar wären« und dass die Untersuchungen gezeigt haben, »dass der lose Schnee auch von viel schwächeren Winden in Bewegung gesetzt wird, ja sogar von so schwachen, dass sie von einem Beobachter auf der Windskala zu unterst gesetzt werden konnten.«

Bei einer Reihe von Untersuchungen, die ich selbst in der gleichen Absicht vorgenommen habe, hat es sich auch gezeigt, dass sehr schwache Winde den Schnee ziemlich leicht aufwirbeln und in Bewegung setzen konnten. Da diese Untersuchungen kaum von grösserem Interesse sein können und der verfügbare Raum begrenzt ist, seien nur gewisse allgemeine Charakterzüge, die anscheinend regelmässig auftreten, hier angeführt. Wenn die Temperatur während und nach einem Schneefall niedrig ist und ein schwacher Wind zu blasen beginnt, setzen sich die Schneeflocken auch bei einem so schwachen Wind wie 1—3 m/s in Bewegung. Nimmt die Windstärke zu, so tritt schon bei 3—5 m/s eine völlig deutliche Schneedrift ein, jedoch nicht über der ganzen Fläche, sondern in Form von durch grössere Zwischenräume getrennten Schneeschleiern von einigen cm Mächtigkeit und man beobachtet, dass sich kleine Wehen zu bilden beginnen. Weiters kann man sehen, dass sich an der Luvseite von aufragenden Gegenständen, wo eine Zusammendrängung der Stromlinien der Luft eintritt, der Beginn einer Erosion bemerkbar macht. Bei 5—6 m/s werden diese Schleier dichter und es bilden sich nur gewisse tritfreie Flecken und bei einer Windstärke von 6—8 m/s treibt der Schnee sehr rasch, aber mit dem Unterschied, dass im Vorderende eines derartigen Schneeschleiers, der mehr etappenweise vorrückt, eine Erhe-

bung und Aufwirbelung des Schnees bis zu einigen m Höhe eintritt. Es ist jedoch zu bemerken, dass nicht aller Schnee aufgewirbelt wird, sondern nur der vordere Teil des Schneeschleiers. Der Rest desselben setzt sein Fortschreiten fort, wobei er auf seinem Wege mehr und mehr Schnee aufnimmt, bis nach einer Weile neuerdings eine solche Aufwirbelung stattfindet. Ich habe vergebens nach einer gültigen Ursache dieses intermittenten Aufwirbelns gesucht, konnte aber nicht finden, dass daselbe durch irgend eine Unebenheit im Boden oder dergleichen verursacht ist. Ich kann das Phänomen nur so erklären, dass es auf Ungleichmässigkeiten in der Struktur des Windes beruhen muss, welche die Entstehung von Vertikalturbulenzphänomenen bewirken, in denen die aufwärtsgerichtete Komponente so gross ist, dass sie die Schneekörner in die Höhe zu heben vermag. Es ist zu bemerken, dass diese Aufwirbelungen auf einer gleichmässigen Ebene weder stets an derselben Stelle noch mit bestimmten zeitlichen Intervallen eintreten, sondern dass das Ganze anscheinend völlig regellos verläuft. Bei grösseren Windgeschwindigkeiten wird der Schnee zu grösseren Höhen aufgewirbelt und bei Windgeschwindigkeiten von 10—15 m/s und mehr ist WEGENERS Regel ohne Zweifel richtig. Der Unterschied zwischen einem Wind von z. B. 10 m/s und einem Wind von 6—7 m/s besteht in dieser Beziehung nur darin, dass die Aufwirbelungen bei Ersterem mit viel kürzeren Intervallen eintreten. Wenn man mit dem Gesicht gegen den Wind gewendet steht oder auf einer Ebene das Schneetreiben die Aussicht nach allen Seiten verschliessen sieht, hat es allerdings den Anschein, als ob der Wind die Schneekörner fast in gerader Linie führte; befindet man sich aber einem dunklen Gegenstand so nahe, dass man ihn durch den Schneeschleier ausnehmen kann, so kann man recht leicht sehen, dass der Schnee nicht in einem gleichmässigen Strom einherkommt, sondern in einer Serie mehr oder weniger dicht auf einander folgender Schneeböen, die durch klarere und durchsichtigere Zwischenräume getrennt sind. Es tritt weiters hervor, dass die Schneekörner auf einem freien Feld auch bei recht bedeutenden Windstärken nicht geradlinige Bahnen beschreiben, sondern mehr oder weniger deutlichen Kurven folgen. So ist es sehr leicht zu bemerken wie Schneekörner hie und da auf den Boden niederfallen, um rasch wieder aufgehoben und fortgeführt zu werden. Der ganze Schneetransport erfolgt da in einer Reihe auf einander folgender Sprünge. Indess beruht der Abstand zwischen der Stelle, wo ein Schneekorn aufgenommen wurde und wo es niederfällt teils auf der Windgeschwindigkeit, teils auf dem Windfang sowie einer Masse anderer Faktoren; als allgemeine Regel dürfte jedoch der Satz zu betrachten sein, dass mit der wachsenden Windstärke die Sprünge der einzelnen Schneekörner länger werden. Vollständig geradlinig dürfte die Bahn einer Schneepartikel unter keinen Umständen werden, was darauf beruht, dass der Wind seiner inneren Struktur nach auch in ziemlich bedeutenden Höhen keineswegs eine gleichmässige Strömung von Luft ist, was man ja leicht beobachten kann. Schöne Beispiele dafür erhält man, wenn man

die treibenden Rauchwolken aus hohen Schornsteinen beobachtet, die niemals geradlinig verlaufen, wenigstens nicht auf einer längeren Strecke, sondern früher oder später in eine wälzende, »qualmende« Bewegung geraten, die auf eine anschauliche Weise die Bewegung innerhalb der Luftmasse illustriert.

Es zeigt sich, dass die Schneedrift (und in gewisser Beziehung auch die Staub- und Sanddrift) nach einer längeren Zeit mit konstanten Winden aufhört oder zumindest beträchtlich abnimmt. Das kann auf verschiedenen Ursachen beruhen. Die wichtigste derselben ist natürlich die, dass aller lose Schnee weggeführt ist, es kann aber auch der Fall eintreten, dass der Schnee zusammengetrieben wurde und Wehen gebildet hat, die gerade für den während der ganzen Trift herrschenden Wind stabilisiert sind. Die Wehen wurden nach dem Verlauf der Stromlinien für die herrschende Windstärke aufgebaut und eine Veränderung in der Geschwindigkeit oder Richtung des Windes kann von Neuem Schneetreiben hervorrufen.

Bläst der Wind aus derselben Richtung, so bedarf es in der Regel stärkeren Windes, um neuerdings Schneetreiben zu Stande zu bringen.

Wenn der Wind nur die Richtung ändert, so dass in den Wehen neue Angriffspunkte entblösst werden, so kann Trift wieder auftreten und es ist da zu bemerken, dass dieser Wind zur Erzielung einer recht beträchtlichen Trift bei Weitem nicht der Stärke bedarf, welche der Wind besass, unter dem die Trift abzunehmen begann.

Es ist daher anzunehmen, das starke, ziemlich konstante Winde, die zeitweise von anderen, entgegengesetzten oder variablen Winden abgelöst werden, ein Gebiet von neu gefallenem Schnee auf eine viel effektivere Weise reinzufegen vermögen, als nur einfach gerichteter, wenn auch stärkerer Wind.

Besonders für die Antarktis mit ihren in vielen Beziehungen eigentümlichen Windverhältnissen dürfte man auf diese Weise eine plausible Erklärung für die besonders starke Schneetrift finden können, die dort stattfindet. Als ein besonders eigentümlicher Umstand ist oft angeführt worden, dass der Wind, nachdem er während einer kürzeren oder längeren Zeitspanne aus einer bestimmten Richtung geblasen hatte, plötzlich und anscheinend ohne die geringsten Vorzeichen umsprang und während einer gewissen Zeit aus der gerade entgegengesetzten Richtung blies. Dann begann der zuvor herrschende Wind, ebenso unvermutet und plötzlich, neuerdings mit derselben Stärke wie zuvor zu blasen und führte da in der Regel gewaltsames Schneetreiben mit sich. Die Beispiele für derartige Winde sind zahlreich. Besonders zahlreich dürften sie in Süd Victoria Land und Westantarktis sein und viele Autoren führen mehrere Beispiele von solchen an (cf. SIMPSON 1919, pp. 115—129, BODMAN 1908, pp. 36—41, u. A.).

Dass die Schneetrift, wenigstens was die Antarktis betrifft, keineswegs unbedeutend ist, dürfte aus folgendem Ausspruch bei MAWSON (1915, I, p. 119) hervorgehen: »Whatever else happened, the wind never

abated, and so, even when the snow had ceased falling and the sky was clear, the drift continued until all the loose accumulations on the hinterland, for hundreds of miles back, had been swept out to sea. Day after day deluges of drift streamed past the Hut, at times so dense as to obscure objects three feet away, until it seemed as if the atmosphere were almost solid snow.» Wie schon bemerkt, geht aus MAWSONS Arbeit hervor, dass gewisse Versuche zur Bestimmung der vom Wind über die Erdoberfläche geführten Schneemengen gemacht wurden, da ich aber eine wissenschaftliche Bearbeitung des Materiales dieser Expedition noch nicht gesehen habe, ist es mir nicht möglich, mir über den Betrag der Schneetrift eine zuverlässige Auffassung zu bilden. Nur eine Äusserung bei MAWSON (l. c., p. 124) zeigt wenigstens seine Auffassung von dem unerhörten Umfang dieser Trift, nämlich wo er sagt: »In regard to the drift, a point which struck me was the enormous amount of cold communicated to the sea by billions of tons of low-temperature snow thrown upon its surface.» Diese Äusserung MAWSONS zeigt auch eine interessante Übereinstimmung mit NORDENSKIÖLDS oben erwähnter Ansicht von der grossen Bedeutung des Treibsnees als Übermittler von Kälte und es ist deutlich, dass beide fest davon überzeugt waren, dass diese Schneetrift eine ausserordentlich grosse Rolle spielt, da der eine ihre Quantität »mit der Wassermasse in den Riesenflüssen der Erde vergleichbar« betrachtet, der andere in seinem populären Bericht über seine Reise von »billions of tons« spricht.

Es ist klar, dass die Formen der Erdoberfläche in höchst wesentlichem Grad die Merkmale dieser Stürme mit intensiver Schneetrift und umfassendem Materialtransport zeigen müssen. Die Folge wird eine unablässig vor sich gehende Umlagerung alles losen Materiales, ein unaufhörliche Wanderung von Schnee und Verwitterungsmaterial in der Richtung des vorherrschenden Windes, was wahrscheinlich zu einer allmählich eintretenden Entlastung der polaren Gebiete führen muss. Viel spricht auch dafür, dass z. B. in der Antarktis das Inlandseis auf diese Weise unaufhörlich abgeschliffen wird und in der Gegenwart im Abnehmen begriffen ist. Wegen der Schwierigkeit, einerseits die totale Niederschlagsmenge, andererseits den Schneetransport zu bestimmen, stellen sich einer bestimmten Aussage in dieser Frage unübersteigliche Hindernisse entgegen, doch scheinen viele Beobachtungen z. B. über lokale Gletscher, die Lage des Eisrandes u. dgl. gegen eine solche Annahme hinzudeuten. Hier mögen nur einige Aussprüche bei SHACKLETON (1910, II, p. 256) angeführt werden: »Die Teile des Hochplateaus, die von der Küste in einem grösseren Abstand als 50 miles gelegen sind, erhalten hingegen vermutlich gegenwärtig nur einen geringen Teil des Schneeniederschlags. Es kann übrigens in Frage gestellt werden, inwiefern nicht dieses Schneefeld weit drin im Lande überhaupt dadurch verkleinert wird, dass der Schnee von den Stürmen weggeblasen wird und der Schmelzprozess langsam fortschreitet. Es ist von Interesse zu bemerken, dass mitten vor dem

Mount Nansen-Gletscher eine ausserordentlich alte Moräne liegt, die offenbar eine Mittelmoräne ist. Wir konnten dieselbe volle 23 miles vor die gegenwärtige Gletscherspitze verfolgen und man könnte daraus den Schluss ziehen, dass sich der Mount Nansen-Gletscher in verhältnismässig später geologischer Zeit mindestens so weit wie der oben angeführte Abstand zurückgezogen hat.» Von nicht geringerem Interesse ist folgender, von ihm gemachter Ausspruch (l. c., pp. 267—268): »Es wurde bereits eine Erklärung geliefert, in wie bedeutenden Mengen fein zerkleinertes Gestein, hauptsächlich in der Form von Sand, von den Winden beständig zum Meere geführt wird. Innerhalb eines gewissen Abstandes vom Land muss dieses Material einen nicht unwesentlichen Teil der Ablagerungen ausmachen, die den Meeresboden bedecken.

Durch ihre Fähigkeit, die Verdunstung von Schnee und Eis zu beschleunigen und durch ihre erodierende Wirkung auf die Oberfläche der Schneefelder müssen die Stürme bei der gegenwärtigen Enteisung der Antarktis eine bedeutende Rolle spielen. Die Schneemenge, die alljährlich gegen das Meer hinaus geweht wird, muss sehr gross sein, umso mehr als während der Stürme, die oft mehrere Tage andauern, die Luft oftmals mit feinen Schneepartikeln so dicht angefüllt ist, dass man nicht mehr als einige wenige yards vor sich sehen kann. Wir beobachteten, dass unsere Schlitten- und Fusspuren im Schnee sowohl in den Trakten an der Küste als auf dem Inlandsplateau fast immer nach Verlauf nur weniger Wochen blossgelegt waren. Es zeigt dies, dass in der Gegenwart an vielen Punkten der Antarktis die allgemeine Schnee- und Eisdecke durch Abschleifung durch die Winde beständig vermindert wird.»

Es hat den Anschein, als ob SHACKLETON das grosse antarktische Inlandeis als in Verminderung begriffen betrachten wollte und viele Zeichen deuten auch in dieser Richtung. Was jedoch in diesem Zusammenhang vom grössten Interesse ist, ist doch seine hier zitierte Ansicht, dass diese hypothetische Verminderung zum grossen Teil durch den Windtransport und die Winderosion verursacht sein sollten, was auch einen Beweis dafür liefert, dass er der Arbeit des Windes eine ausserordentlich grosse Umfassung und Bedeutung zuschreibt.

Fassen wir nun die Resultate der verschiedenen Untersuchungen zusammen, die in Hinsicht der Schneetrift und ihrer Bedeutung in den polaren Gebieten angestellt wurden, so können wir folgende Schlussätze ziehen:

Die Schneetrift durch den Wind ist die wichtigste Weise, wie die polaren Gebiete ihres Schneeüberschusses entledigt werden, wenigstens was die höheren und am weitesten von der Küste gelegenen Teile betrifft, wo man sich nicht vorstellen kann, dass Gletscherströme und andere Bewegungen in der Eisdecke selbst eine Rolle spielen können.

Abgesehen davon, dass die Schneedrift also die für die Polargebiete wichtigste Drainierungsweise ist, spielt sie auch für die Auflösungsgebiete der Fallwinde oder die Stellen, an welchen der Schnee zur Ablagerung

gelangt, eine Rolle, da die Temperatur dieser Plätze durch die Kältemengen, die ihnen gerade durch die Schneetrift zugeführt werden, in hohem Grade beeinflusst wird. Diese Tatsache wurde, wie oben angeführt, von NORDENSKIÖLD und MAWSON gezeigt und da nicht der geringste Anlass vorliegt, die Richtigkeit der Aussagen dieser Forscher zu bezweifeln, dürfte man sagen können, dass die Schneetrift in den Polartrakten und ihren Grenzgebieten in beträchtlichem Grade auf die Temperatur dieser Gebiete und die allgemeinen klimatischen Verhältnisse einwirkt. (Vergl. auch RYDER 1895, p. 78).

Schneetreiben als erodierender Faktor.

Auch als rein erodierender Faktor dürfte das Schneetreiben und die Drift von Harschtstückchen selbst auf Fels eine gewisse Wirkung ausüben. Besonders dürfte das in den eigentlichen Polargebieten denkbar sein, wo die Schneedrift ja grossartige Dimensionen annimmt und wo nicht nur der lose Schnee, sondern sogar Klumpen von hartem und festem Schnee sowie Stücke von hartgefrorenem Harscht und Eis vom Wind fortgeführt werden können, von denen man sich vorstellen kann, dass sie durch ihren bombardierenden Einfluss auf den Fels eine polierende und abnutzende Wirkung ausüben. Es ist sowohl aus der Antarktis als von Grönland eine bekannte Tatsache, dass vorspringende und aufragende Bergpartien und Schichtköpfe ein abgenutztes und abgeschliffenes Aussehen erhalten und diese Bildungen sind auch oft als durch das Schneetreiben verursacht gedeutet worden.

So sagt HARTZ (1892, p. 210), wo er von den Verhältnissen im Föhnfjord in Ostgrönland spricht: »Vorspringende Punkte von weicherem, leicht verwitterndem Gneis oder Glimmerschiefer waren vom Föhn oft stark erodiert«. Und MAWSON (1915, I, pp. 123—124) liefert folgende Schilderung von der erodierenden Fähigkeit von Flugschnee und Schneedrift, die verdient, in extenso wiedergegeben zu werden: »The abrasion-effects produced by the impact of the snow particles were astonishing. Pillars of ice were cut through in a few days, rope was frayed, wood etched and metal polished. Some rusty dog-chains were exposed to it, and, in a few days, they had a definite sheen. A deal box, facing the wind, lost all its painted bands and in a fortnight was handsomely marked; the hard, knotty fibres being only slightly attacked, whilst the softer, pithy laminae, were corroded to a depth of one-eighth of an inch.¹

¹ Auf der Südseite von Green Harbour, Spitzbergen, fand ich 1921 bei den sogenannten Holländergräbern ein Stück eines Grabkreuzes. Auf demselben zeigten sich in Relief die Nagelköpfe, Äste im Holz und Teile der Buchstaben, die durch die Ölfarbe, mit welcher der Name gemalt war, geschützt waren. Alles andere war bis zu einer Tiefe von 1 cm erodiert. Hier kann kaum etwas anderes als der treibende Schnee erodierend gewirkt haben, da das Kreuz hoch auf einer Landzunge im Fjord stand und der vorherrschende Wind hier quer über denselben streicht.

The effect of constant abrasion upon the snow's surface is to harden it, and, finally, to carve ridges known as sastrugi. Of these much will be said when recounting our sledging adventures, because they increase so much the difficulties of travelling.

Even hard, blue ice may become channeled and pitted by the action

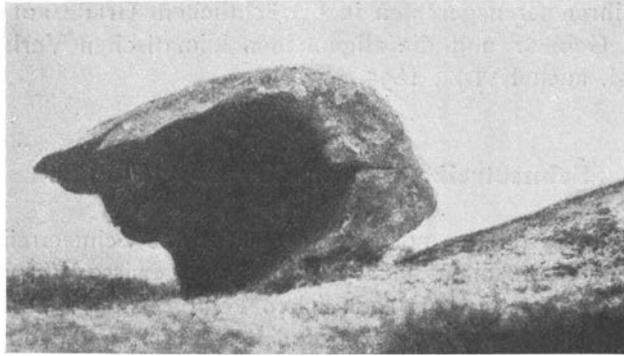


Fig. 12. Stark erodierter Block. Dänisches Südwestgrönland. Nach O. Nordenskjöld.

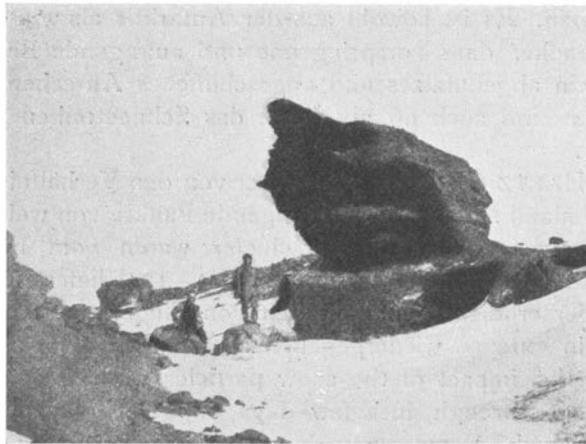


Fig. 13. Stark winderodierter Kenyitblock. Cape Royds, Ross Island, Antarktis. Nach Shackleton.

of drift. Again, both névé and ice may receive a wind-polish which makes them very slippery.

On the effect of wind and drift upon rock, there was ample evidence around the Winter Quarters. Regarded from the north, aspect of the rocks was quite different from that of the southern side. The southern, windward faces were on the whole smooth and rounded, but there was no definite polish, because the surface was partly attacked by the chip-

ping and splitting action of frost. The leeward faces were rougher and more disintegrated. More remarkable still were the etchings of the non-homogenous banded rocks. The harder portions of these were raised in relief, producing quite an artistic pattern.»

SHACKLETON (1910, I, p. 157) spricht von derartigen Bildungen aus der Antarktis in der Nähe des Winterquartieres und gibt auch ein Bild eines erodierten Kenyitblockes, der dem Angriff der Stürme ausgesetzt war. (Siehe Fig. 13). Er erwähnt weiteres (l. c., p. 272) einen »Granitpfeiler, der durch die Einwirkung des Windes eine abgerundete und vollkommen symmetrische Form erhalten hatte«.

DRYGALSKI, der die während der Gauss-Expedition beobachtete Schneerosion eingehend studiert und beschrieben hat, sagt, dass die Erosion im festen oder harten Schnee oft von der Schichtung unabhängig sein kann und dass wirkliche Hohlkehlen gebildet werden, die dem Schnee ein phantastisch zerschnittenes Aussehen verleihen. Er nimmt dabei an, dass harte Schneepartikel als Projektile dienen und durch ihre bombardierende Wirkung den harten Schnee und das Blaueis aushöhlen und abschleifen (cf. DRYGALSKI 1904, pp. 394—397, sowie NARES 1878, I, p. 222 u. A.).

Wenn auf diese Weise bei der Bildung von Sastrugis und anderen Erosionszeugen einzelne Partien untergraben und hervorskulptiert werden, so werden leicht grössere Stücke losgebrochen, die natürlich mit ihrer rein bombardierenden Kraft eine bedeutend grössere Wirkung ausüben können als der lose Schnee.

Von Interesse ist in diesem Zusammenhange J. G. ANDERSSONS Ausspruch (J. G. ANDERSSON, Antarctic, II, 1904, p. 313): »Wenn der Sturm zum Orkan anschvull, zerschnitt er die Wehen, die er zuvor gebildet hatte, und ganze, harte Schneekuchen wurden vom Winde fortgeführt. Als wir während der langen Winterstürme eingeschlossen lagen, tanzte ein ununterbrochener, vom Innern des Festlandes kommender Strom von Schneestaub und Harschtgrus über unser Dach auf dem Wege zum Meere.« (Vergl. ähnliche Aussprüche bei DUSE 1914, p. 141).

In meiner Arbeit über die Winderosion in arktischen Trakten (Ymer 1921, pp. 137—138) ist von Spuren von Windschliff an festem Felsen die Rede, die ich auf Spitzbergen an der Ostseite des Pyramidenberges beobachtet habe. Schon als ich vor mehr als fünf Jahren diesen Aufsatz schrieb, hatte ich einen sehr starken Verdacht, dass der Windschliff an der Stelle, von welcher hier die Rede ist, von Schneeschliff herrührt, denn sollte es sich hier in einer so bedeutenden Höhe wie ungef. 500 m über dem Meere, an einer Stelle des Berges, die gegen die hier ca. 10 km breite Klaas Billen Bay gewendet ist, um Staubschliff handeln, so müsste dieser Staub von dem Land auf der anderen Seite des Fjordes oder von Bünsow Land stammen. Nun zeigt es sich, wie früher gesagt ist (siehe Fig. 2), dass die vorherrschenden Winde an dieser Stelle von Nordenskiölds Gletscher und quer über den Fjord, in Mimers Tal hinein, über Dickson

Land und die Dickson Bay hinaus streichen, welcher Windstrich einer der markanteren und gleichzeitig der eigentümlichste auf Spitzbergen ist.

Somit kann der Staub auch nicht aus dem Küstengebiet stammen, sondern muss so weit wie von den zentralen Gebieten zwischen Billen Bay und Storfjord irgendwo in der Nähe von Svanbergs Gebirge her sein.

Ich kann mir schwer vorstellen, dass ein so weit transportierter Staub, dessen Quantität zufolge des Abstandes immer mehr abnehmen muss, so dass möglicher Weise nur die feinsten Partikel sich über einen so grossen Abstand und in so bedeutender Höhe, wie hier in Frage steht, schwebend erhalten können, wirklich eine Wirkung ausüben kann. Gewiss bestand der Fels hier aus dem relativ harten Cyatophyllumkalk, es dürfte aber doch die Frage zu stellen sein, ob hier nicht doch hartgefrorener Schnee schleifend, abnutzend und polierend wirken kann.

Die Frage möge bis auf Weiteres offen bleiben. Von Interesse dürfte es jedoch sein, dass es dieser Theorie nicht vollständig an Fürsprechern gemangelt hat. Allerdings galt früher die Ansicht, dass Schnee und Eis bei niedrigen Temperaturen eine sehr grosse Härte annehmen, ja sogar bei grosser Kälte so hart werden sollten, dass sie nicht einmal von Stahl angegriffen werden sollten. (Nach STEENSTRUP (1893, pp. 119—120) soll diese Theorie von HEIMS »Handbuch der Gletscherkunde« ausgegangen sein, das zu Ende 1884 erschien).

Durch Versuche von STEENSTRUP (1893, pp. 119—120) wurde gezeigt, dass Eis allerdings seine Härte von 1,5 bis gegen 3 vermehren kann, wenn es bis gegen -70°C abgekühlt wird, dass es aber nicht, wie früher angenommen wurde, mit dem härtesten Stahl wetteifern kann. Wenn nun auch die ältere Ansicht von der Härte des Schnees offenbar unrichtig ist, so bleibt doch unter allen Umständen die Frage bestehen, ob nicht treibender Schnee als solcher selbst auf Fels eine erodierende Wirkung sollte ausüben können.

Ohne in diesem Fall ein positive Aussage machen zu wollen, glaube ich doch gewisse Gesichtspunkte anführen zu dürfen, die vielleicht in diesem Zusammenhang eine gewisse Berechtigung haben. Ich will jedoch mit Bestimmtheit hervorheben, dass, so viel ich weiss, keine direkten Beobachtungen vorliegen, aus denen man mit absoluter Sicherheit entscheiden könnte, inwieferne treibender Schnee von einem Härtegrad zwischen 1,5 und 3 (nach dem oben angeführten Ausspruch von STEENSTRUP) Fels von bedeutend grösserer Härte erodieren könnte. Auch dürfte man nicht vollkommen sicher sein können, dass nicht unter gewissen Umständen Staub mit dem Schneetreiben mitgeführt werden konnte, selbst wenn man vernünftiger Weise annehmen kann, dass dies für Winde aus einer gewissen Richtung nicht der Fall war. Es kann eine gewisse Veränderung in den geographischen und übrigen Verhältnissen eingetreten sein, so dass die gegenwärtig herrschenden Verhältnisse nicht immer gleichartig gewesen sind.

Was jedoch dafür sprechen zu können scheint, dass wirklich trei-

bender Schnee als solcher vielleicht auch auf Gegenstände von grösserer Härte als er selbst eine gewisse Wirkung ausüben kann, ist in erster Linie der oben zitierte Ausspruch von MAWSON, wo er erzählt, wie »rusty dog-chains (vermutlich Stahl) after being exposed to the snow drift in a few days became polished and got a definite sheen«. Es ist höchst wahrscheinlich, dass der mit den ununterbrochenen Stürmen aus dem schneebedeckten Inlande kommende Schnee so gut wie keinen Staub oder Sand mit sich führte. Man trifft ja erst an der Leeseite von Strandklippen und Nunatakks Staub an und die Menge von Staub, die zufälliger Weise aus der grossen Eiswüste im Innern der Antarktis hätte mitfolgen können, muss in diesem Fall nach Verlauf von einigen Tagen als so gering angesehen werden, dass sie völlig zu vernachlässigen sein dürfte. Wenn man somit diese aus der Eiswüste kommende Trift als praktisch staubfrei betrachten darf, dann muss die Abschleifung der Rostflecken durch den treibenden Schnee bewirkt worden sein. Es kann kaum als wahrscheinlich betrachtet werden, dass auf eine so kleine Fläche, wie die windwärts gewendete Seite im Glied einer Hundekette losgerissene Rostpartikel von der Kette selbst schleifend eingewirkt haben. Damit dies der Fall sein könnte, müssten die Partikel eine gewisse Aufschlagskraft haben, die eine losgerissene Partikel wohl kaum der Unterlage gegenüber besitzt, von der sie losgerissen wurde. Erst ein Stück von ihrer Ursprungsstelle erreicht sie wohl eine so bedeutende Geschwindigkeit, dass dies der Fall sein kann, und die wenigen Millimeter, die hier in Frage kommen können, dürften keine hinreichend grosse Distanz darstellen, damit eine direkt von der Oberfläche stammende Partikel sollte schleifend wirken können, wofern nicht die Richtung der Kette ganz mit der des Windes zusammenfiel.

Bei grösseren Flächen, wie aufragenden Felsen und dgl., ist es dagegen denkbar, dass durch den Wind und das unausgesetzte Bombardement der Schneekörner losgerissene Partikel sich loslösen und nun ihrerseits auf angrenzende Flächen schleifend und polierend wirken können.

Die Frage dürfte aber dahin erweitert werden können, inwiefern nicht einzelne Kristalle von der Schneetrift korrodiert werden. Es dürfte unter allen Umständen als unbestreitbar anzusehen sein, dass die Schneedrift eine gewisse Rolle spielt; es ist noch zu erforschen, inwiefern nicht auch staubfreier und reiner Schnee harte Mineralkörner von vielemal grösserem Härtegrad mechanisch beeinflussen kann.¹

¹ Dr. H. U. SVERDRUP hat mir mitgeteilt, dass er während der Maud-Expedition 1918—1925 an anstehendem Fels Spuren von Windschliff angetroffen hat, die unmöglich auf andere Weise als durch Schneetrift erklärt werden können. Besonders merkwürdig sind in dieser Beziehung die Verhältnisse bei den Vier Pfeiler Inseln nördlich der Kolymanmündung. Es zeigt sich, dass die grossen Granitpfeiler, die den Inseln ihren Namen gegeben haben, bis zu einer, der oberen Grenze der Schneetrift entsprechenden Höhe sehr stark abgeschliffen sind. Die Orientierung des Windschliffes deutet auf einen Wind von N bis NW. Da sich jedoch an dieser Seite keine Landmassen befinden, von denen mineralischer Staub herkommen könnte, ist es nach Dr. SVERDRUPS Aussage absolut ausgeschlossen, dass dieser Windschliff durch eine andere Ursache als treibender Schnee hervorgerufen wurde.

Einwirkung des Windes auf die Vegetation.

Die Einwirkung des Windes auf die Vegetation kann ganz natürlich in eine direkte und eine indirekte eingeteilt werden mit Rücksicht darauf, ob der Wind bei der Ausführung dieser Arbeit selbst das hauptsächlichste Agens ist oder ob er sich dabei des einen oder andern Mittels wie z. B. Sand, Staub, Eis (Schnee, Harschtscherben u. dgl.), spritzenden Meerwassers, Gase usw. bedient.¹

Da es sich indess zeigt, dass die direkte Arbeit von der indirekten in der Regel nicht unterschieden werden kann und die Aufteilung daher kein anderes als ein rein theoretisches Interesse hat, werde ich im Folgenden eine solche nicht durchführen.

Wo reine Ausnahmefälle vorkommen, was, wie gesagt, äusserst selten ist, werden sie besonders erwähnt werden.

Zusammenhang zwischen Bodenbeschaffenheit und Vegetation unter verschiedenen Stadien des Deflationszyklus in verschiedenen Gebieten.

Der intime Zusammenhang zwischen der Bodenbeschaffenheit und der Vegetation scheint mir so hochgradig zu sein, dass auch eine strenge Scheidung zwischen den Erosions- und Akkumulationsverhältnissen des Bodens einerseits und denen der Vegetation andererseits nicht notwendig oder nicht einmal berechtigt ist. Bei der strengen Abhängigkeit der Vegetation von dem Boden, auf welchem sie wächst, und bei der strengen Abhängigkeit des Bodens von den allgemeinen Erosions- und Akkumulationsverhältnissen, stehen Beschaffenheit der Vegetation und des Bodens in einem so intimen Kausalnexus zu einander, besonders was die Wirkung der Winde betrifft, dass sich bei einem Versuch, Ursache und Wirkung klarzulegen, oft grosse Schwierigkeiten erheben. Das Verhältnis dürfte am Besten durch einige Beispiele von verschiedenen Plätzen, z. B. Island und den skandinavischen Küstengebieten, beleuchtet werden. Auf dem isländischen Löss (das Wort »Löss« ist hier ein Sammelname für feineres

¹ Die unbedingt durchgreifendste Verödung der Vegetation wird natürlich von den giftigen Gasen ausgeübt, welche der Luft beigemischt sind und bei ihrer Ausbreitung in der Richtung des Windes jede Vegetation vollkommen töten können. Gegen andere Verunreinigungen der Luft kann die Vegetation wenigstens lokal temporären oder vereinzelt Schutz finden, gegen giftige Gase aber, welche mit der Luft gut vermischt sind oder in einer mehr oder minder dicken Schichte über der Landschaft liegen, gibt es keinen Schutz. So habe ich auf Island Gebiete gesehen, wo die Bedingungen für Vegetation sehr günstig gewesen wären, wo aber die Landschaft durch den Gasgehalt der Luft vollkommen steril geworden war. Während man in der wirklichen, sowohl der ariden als der kalten Wüste manchmal eine vereinzelt Pflanze finden kann, wächst nicht eine einzige in der Nähe der grossen Solfatarengelände, z. B. bei Krisuvik auf Reykjanes. Die Landschaft ist absolut tot.

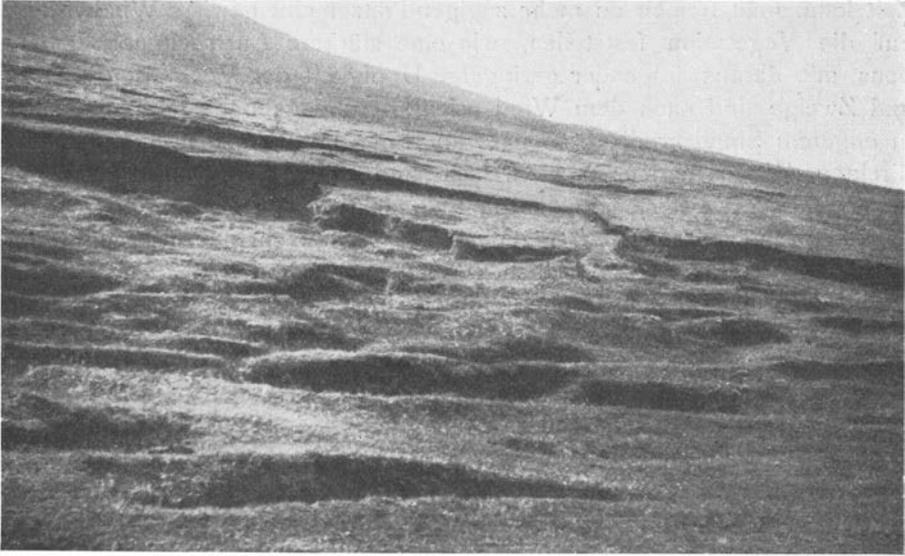


Fig. 14. Erstes Stadium des Erosionszyklus. Nordisland.

Verf. phot.

und gröberes Staubmaterial äolischen Ursprungs) findet sich in der Regel ein dichter Teppich von Gras und Kräutern, der, solange er ganz und unbeschädigt ist, teils den Boden vor jeder Art von Erosion schützt, teils umherfliegende Partikel auffängt, so dass eine Akkumulation von Staub vor sich geht. Das ist die Akkumulationsfazies. Während dieser

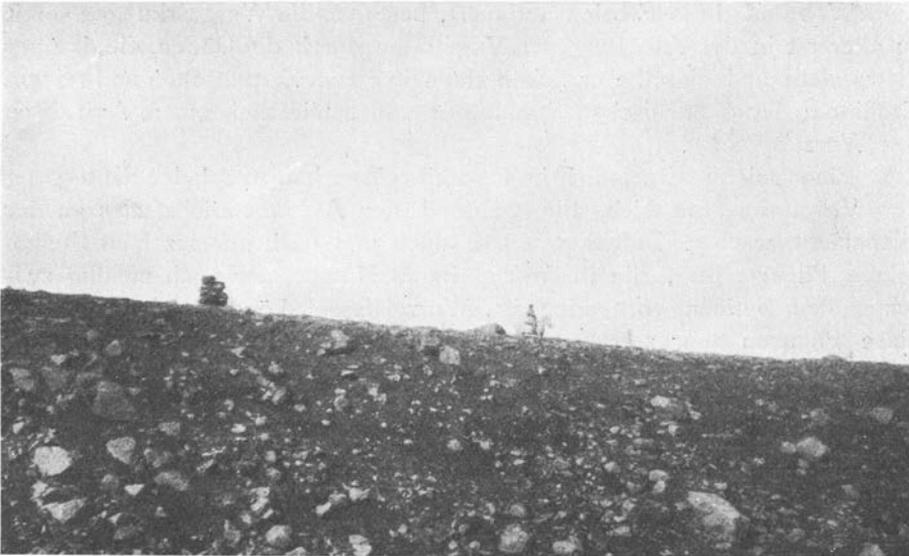


Fig. 15. Endstadium des Erosionszyklus. Nordisland.

Verf. phot.

Zeit kann man freilich an mehr zugigen Plätzen eine gewisse Windwirkung auf die Vegetation feststellen, wie eine stärkere Austrocknung des Bodens mit daraus folgender geringerer Üppigkeit der Vegetation; Büsche und Zweige sind nach dem Wind orientiert und gebogen usw., aber nicht in engerem Sinne erodiert, so dass an Rinde und Knospenschuppen keine direkten Wundschäden nachzuweisen sind. Der von weither transportierte Staub erweist sich in diesem Fall nicht so stark erodierend wie der von nahegelegenen Plätzen stammende, was wahrscheinlich darauf beruht, dass der erstere nicht in solcher Menge vorkommt und auch nicht mit solcher Geschwindigkeit einhergeführt wird, dass seine rein bombardierende Wirkung so gross werden kann. Weiters kommt dazu noch der Umstand, dass ein Staubkorn, das auf pflanzenbedeckten Boden niederfällt, in der Regel definitiv aufgefangen wird, so dass es nicht wieder aufhüpfen und vom Winde wieder verwendet werden kann.

Wenn aus der einen oder anderen Ursache in dieser Vegetationsdecke eine Wunde entsteht, so dass der Boden blossgelegt wird, so beginnt die Erde zu wirbeln. Mit jedem Windstoss werden neue Körner losgerissen und nach und nach werden neue Partien aufgerissen und den Angriffen des Windes ausgesetzt. In unmittelbarer Nähe der Wunde wird die Vegetation getötet, indem sie unter dem losgerissenen Material begraben wird und wenn das geschehen ist, kann die Wunde sich in der Richtung des vorherrschenden Windes zu erweitern fortsetzen und diese Erosion dauert an, bis der Boden von allem feineren Material so entblösst ist, dass nur eine Schutzoberfläche von Steinen, eine Hammada, übrig ist, oder der Boden das wird, was auf Island als »örfoka«, d. h. er wirbelt nicht mehr, bezeichnet wird. Das ist die Erosionsfazies.

Während diese Erosion andauert, bestehen die Windwirkungen somit zu allererst in der Abtötung der Vegetation durch die Dünen, die darüber hinwandern und dieselbe ersticken, dann in einem Zerpeitschen und reinem Erodieren der oberirdischen Stammteile und schliesslich einem Aufreissen des Wurzelsystems.

Eine solche Erosion bringt somit einen katastrophalen Untergang der Vegetation mit sich, die während der Akkumulationsfazies an der Örtlichkeit wächst. Indess wandern nach und nach an einzelnen Stellen solche Pflanzen ein, die in dem geringen Humus, der noch zufällig zwischen den Steinen vorhanden ist, Wurzel fassen können. Anfangs sind diese Pflanzen sehr zerstreut und haben ein unterdrücktes und dürftiges Aussehen, aber indem immer mehr hinzukommen und an Grösse zunehmen, bilden sich nach und nach einzelne grüne Flecken und Polster, die schliesslich zusammenhängende Matten bilden können. Die Pflanzen, welche zuerst einwandern, scheinen *Dryas*, *Silene*, *Saxifraga*, *Salix herbacea* und ähnliche Gewächse zu sein, d. h. mehr oder weniger kriechende, perennierende Formen von Stauden und Kräutern. Während die Vegetation in dieser Weise zunimmt, bildet sie selbst an der Bodenoberfläche einen Windschatten, in dem nun eine neue Ablagerung von Staub, verwelkten

Pflanzenresten und dergleichen eintritt. Unterdessen wandern neue Pflanzentypen ein und nach und nach, im selben Tempo, wie das Nahrungssubstrat aus steinigem Boden in immer tiefere Feinerde verwandelt wird, treten auch anspruchsvollere und lebenskräftigere Pflanzen auf, welche nun ihrerseits die frühere Vegetation verdrängen, so dass sich als Endresultat ein Gras- und Kräuterboden vom selben Typus ergibt, wie er vor dem Eintreten der ersten Erosionsfazies vorhanden war.

In einem Fall wie diesem stehen die Veränderungen, die sowohl der Boden als die Zusammensetzung der Vegetation erleiden, im aller intimsten Zusammenhang mit einander und all das ist ganz und gar von den Windverhältnissen bedingt.



Fig. 16. Windgepeitschte Bäume auf dem Gipfel einer Düne. Beachte den Zusammenhang zwischen der Form der Düne und der Bäume. Nach M. Sjöbeck.

Gewiss gibt der Entwicklungsgang der isländischen Lössvegetation während des Fortschreitens der Erosions- und Akkumulationsphasen ein zusammengedrängtes und konzentriertes und vielleicht für die isländischen Verhältnisse spezielles Bild, doch findet man andererseits überall, wo die Winde freien Spielraum haben und die Bedingungen für Deflation und andere Windarbeit günstig sind, Erscheinungen, die, wenn sie auch dem eben beschriebenen Beispiel von Island nicht im Detail gleichen, doch in wesentlichen Zügen an diesen Entwicklungsgang erinnern, auch wenn an anderen Orten zur Vollendung eines Erosionszyklus vielmals grössere Zeiträume erforderlich sein sollten als in dem isländischen Löss. Um nur einige Beispiele zu nennen, so bieten u. a. die Flugsandgebiete der Ostseeprovinzen analoge Exempel und die durch Übersandungen verursachten Deforestierungen sind ja zahlreich. Wenn die Dünen einen Wald überschritten und getötet haben, wenn sie dann weiter wandern und ihren Saum nach und nach über neue Gebiete vorschieben, wandert in die ero-

dierten Gebiete eine neue, von der ursprünglichen Waldvegetation scharf unterschiedene Flora ein. Die Arten, die jetzt einwandern, sind solche, für deren Gedeihen der Sand kein wesentliches Hindernis ausmacht und in deren oberirdischen Teilen eine Akkumulation stattfindet, die mit dem Höhenwachstum der Pflanzen gleichen Schritt hält. In diese Bodenvegetation können dann neue Pflanzen z. B. Waldbäume einwandern. An den Küstendünen tritt eine Art Ablagerung von Sand und Driftmaterial an der Windseite des Gebietes ein, die von dem bedingt wird, was ich Luvlee nennen will.

Es ist dasselbe nicht ein Lee im eigentlichen Sinne des Wortes, sondern nur eine schmale Zone in der Nähe des Strandes, wo die grös-



Fig. 17. Ablagerung von Sand zwischen Strand und Wald. Fårö.

Verf. phot.

sere Friktion über Land auf den Seewind hemmend wirkt, so dass vor dem Vegetationsgürtel eine Auflagerung von Sand stattfindet.¹ Diese

¹ Für diese Annahme — dass der Sand an der Luvseite angesammelt werden kann — spricht u. a. ein von HESSELMAN (1908, p. 6) gemachter Ausspruch, wo er sagt, dass auf der Fårö am Meere eine Düne vorkommt, die, »wenn auch langsam, gegen das Meer wandert«, d. h. gegen den vorherrschenden Wind und gegen den Wind, der die Düne selbst abgelagert hat. Weiters sagt er in derselben Arbeit (p. 37): »Wenn ein Wind gegen einen Wald weht, wird er in gewissem Grade vor dem Wald aufgehalten. Es entstehen eine Menge Luftstöße, die der Windrichtung entgegengehen. Dadurch entsteht ein relatives Lee vor dem Wald. Eine Düne, die gegen einen Wald wandert, kann dadurch sehr hoch werden und erhält auf der Leeseite eine sehr steile Böschung. Wird der Wald auf der Leeseite der Düne durchforstet, so wird der Widerstand des Waldes gegen Wind vermindert. Ist der Zustrom von Sand derselbe wie zuvor, so wird die Düne niedriger, während gleichzeitig der Sand in den Wald hinein geweht wird. Wird der Wald vollständig abgeholzt, so wird die Düne, wenn sie nicht irgend einen Widerstand findet, völlig zu einem weiten Sandfeld verweht.«

Auflagerung setzt einige Zeit fort und die Mächtigkeit der Dünen ist da von der Effektivität der windbrechenden Fähigkeit des hinter den Dünen liegenden Landes bedingt. Je mehr die dahinter liegende Busch- und Baumvegetation an Höhe zunimmt und an Stärke gewinnt, desto mehr steigern sich auch die Möglichkeiten für eine nach und nach wachsende Mächtigkeit der Dünen, und diese ihrerseits, die nach den Stromlinien des Windes aufgebaut werden, können durch das von ihnen erzeugte Lee und den Schutz vor dem sprühenden Salzwasser u. dgl., den sie der Vegetation gewähren, deren Zuwachs begünstigen. Indess kann dieses Höhenwachstum von Düne und Vegetation nicht in die Unendlichkeit fortsetzen. Wir können den Zuwachs der Düne, bzw. der Vegetation als in einem labilen Gleichgewichtszustand stehend betrachten, wobei auf Seiten der Vegetation ein gewisses Übergewicht erforderlich ist, damit die Düne nicht über das Land hinein wandern soll. Nach und nach hört jedoch mit steigendem Alter der Höhenzuwachs der Vegetation auf, während

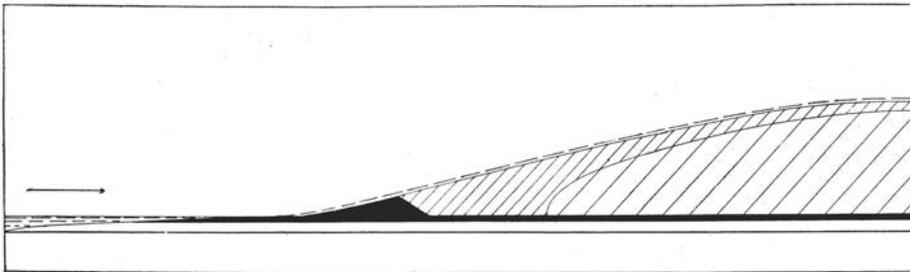
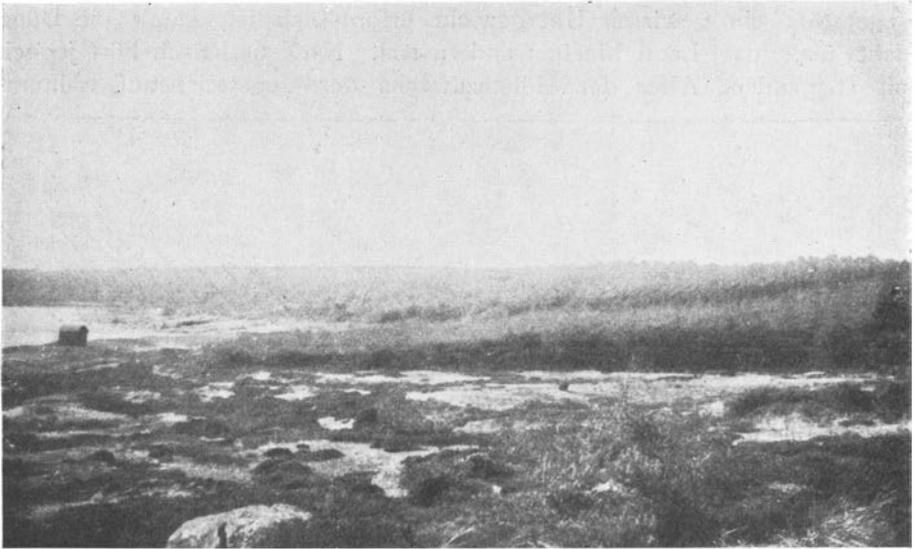


Fig. 18. Schematische Figur, die den Zusammenhang zwischen den Stromlinien des Waldes und der Dünen zeigt. Schwarz = Dünen, Dicht gestrichelt = Sturmschicht, Schütter gestrichelt = Der Hochwald, wo nur die Gipfelschicht sturmfest ist.

fortgesetzt jeder neue Wogenschlag neuen Sand mit sich führt, der in der Düne angesammelt wird. Das muss schliesslich dahin führen, dass die Düne nicht mehr weiteren Sand in sich aufspeichern kann. Gewiss wirkt deren eigene Vegetation bindend an den Sand und gewiss kann der Mensch durch gewisse Schutzmassregeln die Wanderung der Düne über Land verzögern, aber schliesslich muss, wenn die Sandzufuhr kontinuierlich vor sich geht, während das Höhenwachstum der Vegetation und damit ihre windbrechende Fähigkeit begrenzt ist, der Fall eintreten, dass in der Stranddüne nicht mehr Sand akkumuliert werden kann, worauf dieselbe zu wandern beginnt.

Wenn schliesslich so viel Sand an der Luvseite des Waldes angesammelt ist, dass das Gleichgewicht labil wird, so genügt meist eine äusserst unbedeutende Störung desselben, damit die Düne zu wandern beginnt. Die Ursache kann sein, dass ein kräftiger Sturm ein Loch in die eigene Vegetation der Düne reisst, so dass der Sand zu treiben beginnt, oder dass das Profil des im Lee der Düne liegenden Waldes gebrochen wird, so dass die Richtung der Stromlinien gestört wird, oder man kann sich schliesslich auch vorstellen, dass beide Ursachen zusammenwirken.

Wir sehen nun völlig von den Ursachen ab, die man sich als Folge der Einwirkung des Menschen entstehend vorstellen kann. Und hat die Düne einmal verheerend und verödend über den Wald hinein zu wandern begonnen, so hat sie damit ihr schwierigstes Hindernis überwunden. Wenn erst der Waldsaum, der aus den sturmfestesten und von Anfang an abgehärteten Bäumen des Waldbestandes besteht, getötet ist, wird die Arbeit mit dem dahinter liegenden Wald leicht. In der Regel besteht dieser aus schlankeren und weniger widerstandskräftigen Bäumen, welche nicht dieselbe individuelle Widerstandskraft besitzen wie die ältere Sturmvegetation und daher leichter vom Sturm gefällt werden. Wenn die eigentliche Wehr des Waldes, der niedrige Sturmbrecherwald, einmal vom Flugsand zer-



Verf. phot.

Fig. 19. Allgemeine Höhenzunahme des Waldes mit vermehrtem Abstand vom Saum. Halland.

stört ist, dann wird auch der dahinter liegende Wald zerstört, soweit es der verfügbare Flugsand zulässt.

Wenn man von den ausländischen Teilen des Balticum wie z. B. der Kurischen Nehrung, dem Finländischen Meerbusen usw. absieht, so gibt es auch in unserem Land eine grosse Menge von Beispielen für derartige Sandtrift und Zerstörung des wachsenden Waldes durch dieselbe. Auf der Gotska Sandön, Färö, Öland, in Skåne und Halland findet man zahlreiche Fälle und die verhängnisvolle Rolle, die der Treibsand hier gespielt hat, ist allzu bekannt, als dass sie in diesem Zusammenhang hervorgehoben zu werden brauchte. Betreffs dieser Flugsandfelder kennt man in vielen Fällen die Ursache des Sandtreibens und meist hat es den Anschein, als ob eine Zerstörung des Waldes im Lee der Dünen mindestens eine der Ursachen gewesen sei. Bezüglich des Ulla Haus Dünen-

gebietes auf Färö weiss man durch HESSELMANS Untersuchungen (HESSELMAN 1908, p. 9), dass die Wanderung der Dünen gegen den Wald hinein hauptsächlich an den Stellen eintritt, wo die Abholzung am stärksten war, was ich auch selbst beobachtet habe.

Während einer Reise im Sommer 1924, die ich unternahm, um die Wirkungen des Flugsandes in Westschweden in der Gegenwart und Ver-

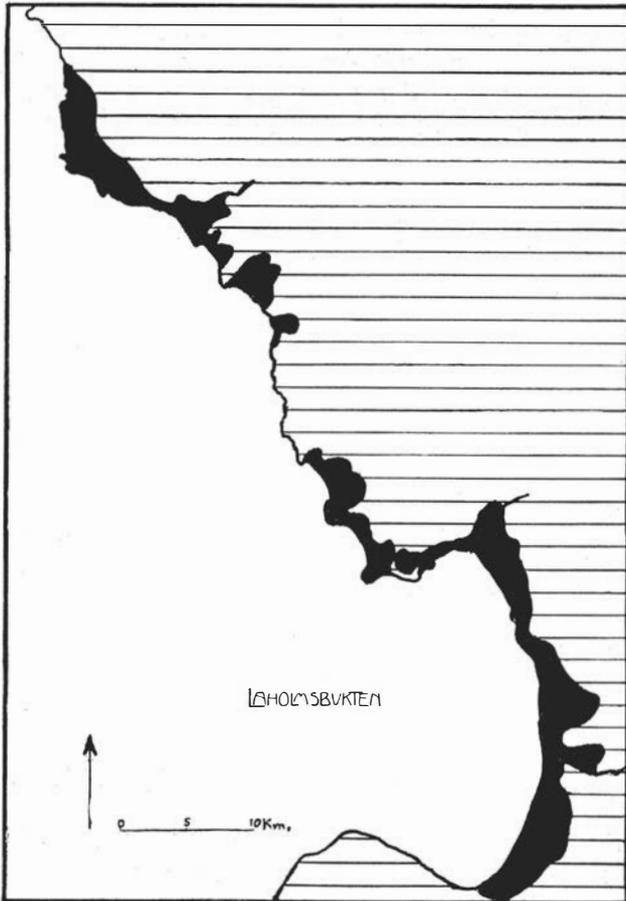


Fig. 20. Kartenskizze über die Küstendünengebiete in Halland.

gangenheit zu studieren, hatte ich Gelegenheit mich von der Richtigkeit der Ansicht von der Wanderung der Sanddünen (besonders Küstendünen) landeinwärts zu überzeugen, die eintritt, auch wenn der Mensch dieselbe durch gewisse Vorkehrungen zu hemmen versucht. Längs eines Teiles der Küste von Halland, auf der Strecke Varberg—Båstad, findet man so gut wie überall in kürzerem oder längerem Abstand von der Küste Spuren von alten oder rezenten Dünen, die auf einer mehr oder minder breiten Front ihre Sandmassen über Wälder und Gehöfte gewälzt haben. So soll

sich zwischen 1780 und 1790 die letzte grosse Sandtrift im Süden von Halmstad ereignet haben, die zwei Gehöfte im Gebiet der Lagamündung (Lagaoset) zerstörte und noch früher, unter der Regierung Karl XI., soll ein grosses Sandtreiben grosse Areale vermüstet haben (cf. JÖNSSON 1893).

Eines der schönsten Beispiele ist die Dünenkette von ca. 4 km Länge, die in einem Abstand von 1,5 bis 4 km von der Küste im Wald zwischen Högsered und Vilshärad in Harplinge unmittelbar NW von Halmstad liegt. Jetzt ist diese Düne von ca. 30 m Höhe, die aber früher bedeutend höher war, mit Ausnahme des höchsten Hügels so gut wie völlig überwachsen. In der Spur der Düne ist Wald eingewandert und nun ist draussen am Strand eine neue Düne in Bildung begriffen,



Verf. phot.

Fig. 21. Eine Düne im Walde ca. 3 km von der Küste. Lynga, Vilshärad, Halland.

zu der jeder Sturm neues Material liefert. Gleiches hat sich bei Lagaoset an mehreren Stellen ereignet. Das bedeutendste Zerstörungsgebiet der Hallandsdünen ist sicherlich das Gebiet, das, jetzt mit Schutzwald bepflanzt, die Gegend bei Snapparp bei Lagaoset einnimmt, das seinerseits durch Lagan von Höka kronoflygsandsfält getrennt ist. (Über Höka kronoflygsandsfält siehe SCHOTTE 1916, pp. 220—225). Das Zerstörungsgebiet nimmt hier ein Areal von ca. 14 Quadratkilometer ein und an allen diesen Gebieten ist an der Küste ein neuer Saum von Dünen in Bildung begriffen.

Die Katastrophen, die Halland am Ende des 17. Jahrhunderts und etwa 100 Jahre später heimsuchten, verdanken ihren Ursprung dem Abbrennen des Waldes in der Nähe des Strandes.

Es bedarf jedoch keineswegs einer so katastrophalen Zerstörung des

Waldes wie durch einen Waldbrand, damit die Dünen treiben sollen. Von Fårö hat, wie schon bemerkt, HESSELMAN die grosse Bedeutung der Abholzung dafür nachgewiesen und er sagt, dass »eine unvorsichtige Abholzung auf diesen Dünen leicht Veranlassung zu einer neuen Sandtrift geben kann«. (HESSELMAN 1908, p. 41).

Von der Gotska Sandön hat man ähnliche Erfahrungen und ENGSTRÖM (1923, p. 8) berichtet von dort ein Beispiel wie eine anscheinend unbedeutende Wunde in der Grasdecke zu einer Deflationsfläche von mehreren Tausend Quadratmetern erweitert wurde. Er betont weiter, dass die Abholzung dem Wind freieren Spielraum gewährt und ist der Meinung, dass die grösste Gefahr, die der Gotska Sandön drohen kann, eine eventuelle Abholzung ist.

Als allgemeine Zusammenfassung, die nicht nur in den mehr oder minder mit Wald bewachsenen Küstendünengebieten unseres Landes von genereller Anwendbarkeit sein dürfte, sondern auch für gleichartige Bildungen in anderen Gebieten ausgedehnte Gültigkeit haben dürfte, könnte man den Satz aufstellen, dass das Vorschreiten der Dünen in der Regel davon bedingt ist, dass dem Wald an der Leeseite der in Akkumulation begriffenen Düne der eine oder andere Schaden zugefügt wurde, oder dass in der Pflanzendecke, welche die Düne selbst band, auf die eine oder andere Weise eine Wunde entstanden ist. Es scheint indess, dass der erste Fall die allgemeinste Ursache für das Wandern der Dünen gewesen ist.

In diesen Gebieten findet man weiters oftmals drin im Wald und in grösserem oder geringerem Abstand vom Strand Dünen, welche dafür zeugen, dass die Dünen in grösseren oder geringeren Intervallen in den Wald eingewandert sind. Weit drin im Wald kann man grosse, gewaltige Dünen treffen, wie z. B. Höga Åsen auf der Gotska Sandön oder Sanddrivan in Vilshärad in Halland, welche zeigen, dass die Sandtrift gross war und in breiter Front vorgegangen ist, oder kleinere, verstreute Dünenhügel im Wald, die dafür zeugen, dass die Einheitsfront des Waldes zu verschiedenen Zeiten und an verschiedenen Stellen gebrochen wurde, so dass der Sand nur an einzelnten Stellen treiben konnte.

Aus der obigen Darstellung geht hervor, dass zwischen dem Wald und seinem Höhenzuwachs einerseits und der Düne und ihrem Höhenzuwachs andererseits ein gewisses Gleichgewicht und eine gewisse gegenseitige Stützung vorhanden ist.

Das Luvlee kann als vom Wald bedingt angesehen werden und man kann sich denken, dass der Wald seinerseits einen gewissen Schutz durch die Düne vor ihm geniesst. In diesem idealen Fall muss man sich denken, dass Höhenverhältnisse und Profil des Waldbestandes eine gleichmässige, ungebrochene Kurve repräsentieren, die sich vom Strande erhebt und die Dünenkämme und Baumwipfel berührt, ungefähr auf die Weise, wie ich das auf Fig. 18 dargestellt habe.

Tritt indess in dieser gleichmässigen Stromlinie irgend eine Veränderung ein, so muss sich dieselbe durch eine ungleichmässigeren Verteilung des Winddruckes auf Boden und Wald in den angrenzenden Teilen bemerkbar machen und diese muss ihrerseits auf die übrigen Teile des Profiles störend einwirken.

Wenn wir annehmen, dass das der Fall ist, so führt das dahin, dass der Sand gegen den Wald hinein zu treiben beginnt und im gleichen Masse wie er landeinwärts treibt, werden ununterbrochen neue Teile des Waldes verheert. Schliesslich kommt der Sandflug zum Stillstand. An der Stelle, wo zuerst Dünenakkumulation vor sich ging, ist nun aller Sand weggeführt und statt der Akkumulation hat nun Erosion geherrscht. Diese Erosion dauert an, solange überhaupt Sand vorhanden ist, der weggeführt werden kann, und die Deflation kann fortsetzen, bis das Grundwasserniveau erreicht ist. Dann tritt eine neue Veränderung ein. Eine neue Vegetation wandert auf die Deflationsfläche ein, eine Vegetation, die der früher auf dem Gebiet vorhandenen gegenüber ganz andere Arten enthält. Inzwischen wandern wieder neue Waldbäume auf der alten Deflationsfläche ein und die Entwicklung bewegt sich dann von einer Gras- und Kräuter- zu einer Jungwaldvegetation. Diese Vegetation ist durch niedrige, von Wind und Sandtrift stark beeinflusste und unterdrückte Individuen repräsentiert, die aber selbst sturmfest und sturmhart sind. Zwischen und im Schutze dieser ersten Pioniere innerhalb des Sturmgürtels wachsen dann neue Individuen der gleichen Art auf, die aber nicht jedes für sich sturmfest sind. Man kann sich gut vorstellen, dass die Sturmfestheit des Bestandes als Ganzen vermehrt wird, indem die Kronen dichter werden und eine zusammenhängende Fläche bilden, die recht wohl einen Widerstand gegen die Angriffe des Sturmes bietet, diese Sturmfestheit ist aber von der Kooperation zwischen den einzelnen Individuen äusserst abhängig. Die jüngeren Individuen, die im Schutz der älteren aufwachsen, besitzen Sturmfestheit und Abhärtung in geringerem Grade als ihre Vorgänger und während im Laufe der Zeit die älteren Bäume den jüngeren und lebenskräftigeren, gleichzeitig aber gegen äussere Einflüsse schwächeren weichen müssen, vermindert sich die Widerstandskraft des Bestandes. Gewiss ist der Höhenzuwachs und die Durchschnittshöhe immer noch durch den Abstand vom Saum und die Leeverhältnisse bedingt, wenn aber die Bäume in dem jüngeren Wald vom Winde gebeugt werden, ist es nicht die Stärke des einzelnen Baumes, die bestimmend ist, sondern die Stütze, die Bäume einander gewähren. Deshalb kann ein Schneesturm mit schwerem, feuchtem Schnee, der Schneebruch verursacht, den Wald niederbrechen und zerstören und ein Sturm im Übrigen leichter die schlanken Bäume fällen, die den knorrigen und durch ihre eigene Kraft widerstandskräftigen Bäumen der ersten Generation folgten.

Eine Entwicklung vom Zwergholz zum Hochwald bedeutet in diesem Fall nicht eine Entwicklung in günstiger Richtung. Hand in Hand mit

der grösseren Widerstandskraft des ersten Bestandes folgt dann ein Einnisten und schliessliches Überhandnehmen von gewiss lebenskräftigen, aber, als Individuen betrachtet, wenig widerstandskräftigen Elementen, was mit Notwendigkeit zur Zerstörung des Bestandes führen muss, wenn derselbe solchen Kämpfen mit Wind und Wetter ausgesetzt werden sollte wie die ersten Pioniere auf dem reingefegten Flugsandfeld.

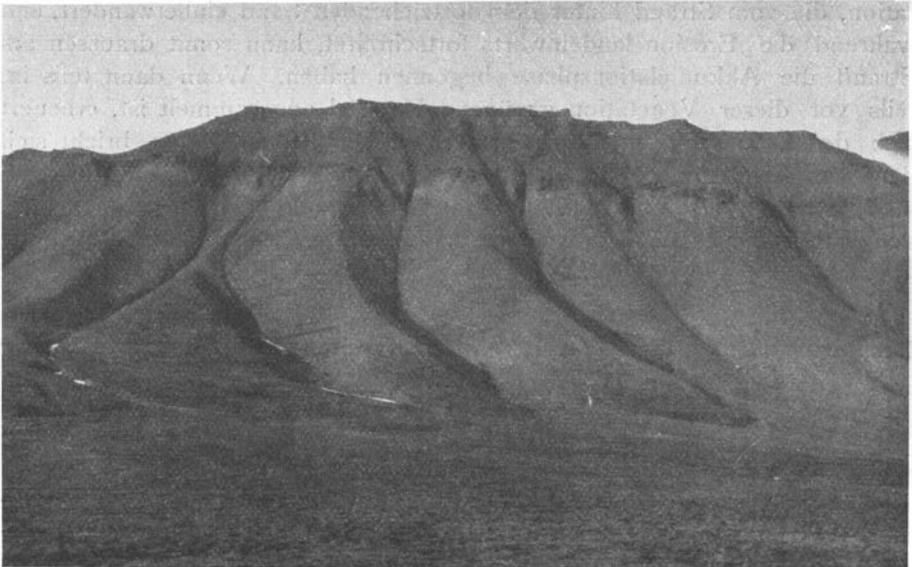
An den Plätzen, wo nicht der Mensch auf die eine oder andere Weise regulierend und stützend eingreift, folgt die eine Phase auf die andere in ununterbrochener Reihenfolge. Am Strand wird Sand abgelagert, der dereinst landeinwärts treiben wird. In seiner Spur folgt dann die Vegetation, die vom Strand hinter dem fortziehenden Sand einherwandert, und während die Erosion landeinwärts fortschreitet, kann somit draussen am Strand die Akkumulationsphase begonnen haben. Wenn dann teils in, teils vor dieser Vegetation genügend Material angesammelt ist, erneuert sich der Zyklus; mit grösseren oder kleineren Ruheperioden, bricht sich der Sand Bahn und so dauert eine Wanderung von treibenden Sandwogen an, so lange das Meer und die Stürme wirken können und solange mit den Wogen neuer Sand auf den Strand geworfen wird.

Die Einwirkung des Windes auf Aussehen und Ausbreitung der Vegetation in den Polargebieten und im Hochgebirge. Barflecken, Fliesserde.

Gewiss lässt sich die Arbeit der Winde an den Dünen und Akkumulationen aus vom Wind transportierten Material leicht erkennen, ausserdem auch durch die rein erodierende Arbeit, die sie in losem Material ausführen, diese Bildungen sind aber oft mehr oder minder unsichere Indikatoren, wenn es sich darum handelt, die vorherrschenden Winde zu beurteilen. Man kann sagen, dass Dünen und Schneewehen in den allermeisten Fällen nach dem letzten Sturm orientiert sind, und nur in dem Fall, dass der innere Bau der ganzen Düne zeigt, dass sie zur Gänze von den gleichen Winden aufgebaut ist, die ihr ihre endgültige Form gegeben haben, ist man berechtigt anzunehmen, dass die durch die Düne angedeutete Windrichtung die vorherrschende ist.

Ganz anders ist die Sachlage mit vom Wind beeinflussten Pflanzen. In den jetzt in Frage stehenden Gebieten wird man an jeder Stelle, an der man von einer herrschenden Windrichtung sprechen kann, auch sehr leicht finden, dass die meisten Pflanzen nach einer bestimmten Richtung, nämlich in der vorherrschenden Windrichtung, orientiert sind. Mit einiger Übung kann man in den allermeisten Fällen nach dem allgemeinen Habitus einer Pflanze diese Sachlage beurteilen und daraus auf die Hauptwindrichtung, ja sogar auf die durchschnittliche Stärke des Hauptwindes schliessen.

Besonders die Vegetation der Hochplateaus und Tundren zeigt sich oft vom Wind beeinflusst, vor Allem wo Hügel und andere Unebenheiten vorkommen. Während die Vegetation auf der Luvseite schütter und kümmerlich ist, zeigt sie in der Regel an der Leeseite eine bedeutend üppigere Entwicklung und in vielen Fällen kann man sogar finden, dass die Vegetation nur auf letztgenannter Seite vorkommt. An besonders windigen Plätzen findet man oft, dass jeder Hügel, jeder Stein oder andere Gegenstand, der auf die eine oder andere Weise ein lokales Lee schaffen kann, auf der Leeseite eine relativ üppige Vegetation beherbergt, während



E. Stensiö, phot.

Fig. 22. Stark vom Winde angegriffene Abhänge, Mt. Harbour, Spitzbergen. Auf den höheren Partien fehlt jede Vegetation vollständig; nur in den Ravinen und an anderen geschützten Stellen finden sich vereinzelt bewachsene Flecken.

der Boden auf der Luvseite vollkommen nackt ist. Besonders schöne Beispiele der Leeorientierung findet man auf Spitzbergen, wo man oft, besonders auf höheren Niveaus, an der Leeseite jedes Steines u. dgl. einen Schwanz von Pflanzenwuchs findet, während der Boden auf der Luvseite kahl und oft in der Nähe des Blockes ausgehöhlt ist, so dass wirkliche Windkessel entstehen. Weiters findet man, dass Blöcke, die auf der Leeseite in der Regel mit Flechten bewachsen sind, auf der Windseite von Staub- und Schneetrift abgenutzt und geschliffen sind.

Es verhält sich somit so, dass nicht nur die einzelnen Pflanzen eine einseitige Entwicklung erfahren, sondern dass ganze zusammenhängende Pflanzenbestände eine Orientierung erhalten, die von der vorherrschenden

Windrichtung und den Möglichkeiten für Lee, die Topographie und andere Faktoren bieten, abhängig ist.¹

Gewisse Pflanzen wie z. B. *Dryas octopetala*, *Salix polaris*, *Silene acaulis*, *Empetrum*, *Saxifraga oppositifolia*, *Loiseleuria procumbens* u. a. sind besonders gute Indikatoren sowohl für die Richtung der Winde als



Verf. phot.

Fig. 23. Winderodiertes Gebiet in Mimers Tal, Spitzbergen. Die vorherrschende Windrichtung ist östlich, d. h. von rechts auf dem Bild.

für die Kraft und Intensität, mit welcher der Wind seine Wirkung ausübt. So habe ich sowohl auf Spitzbergen als auf Island Pflanzen von *Dryas* gefunden, die vom Wind in sehr hohem Grad beeinflusst waren und die dafür zeugten, dass eine bedeutende Trift von losem Material stattfinden muss. Wenn ein Dryaspolster an einer ziemlich geschützten



Fig. 24. Schematische Figur, welche die Winderosion an polsterbildenden Pflanzen zeigt. a. von der Seite. b. Von oben.

Stelle wächst, so breitet es sich nach allen Seiten aus und bedeckt den Boden ziemlich vollständig, wächst es dagegen an einem exponierten und den Angriffen der Winde ausgesetzten Platz, so verkümmern nach und nach die Knospen und Sprossen der Windseite und sterben ab und die

¹ Der erste Verfasser, der von der Leeorientierung von Pflanzen auf Spitzbergen sprach, dürfte FRIEDRICH MARTENS gewesen sein, der sagt (MARTENS 1675, p. 20): »Die Kräuter wachsen am meisten, bey den abfallenden Wassern von den Bergen (auch wo sie vor dem Nord- und Ostenwind beschützt sind) davon allezeit etwas Staub oder Muss herab fällt — — —».

Pflanze kann nur nach der Leeseite zu wachsen fortsetzen. Deshalb nehmen die Pflanzen ein solches Aussehen an, wie es aus Figg. 23—26 hervorgeht. Nur die alleräussersten Sprosse an den Zweigen der Leeseite tragen einige Blätter. Reingewehte Wurzeln und Stammteile zeigen oft eine bedeutende Abnutzung und Abschleifung durch die einem Sandstrahlgebläse zu vergleichende Wirkung des Triftmaterials — oft findet man sogar, dass nicht nur die Rinde abgeschliffen, sondern auch das Holz angegriffen wurde, so dass der Stamm an der Windseite bis auf das Mark abgeschauert ist. Schöne Beispiele liefert u. A. KRUISE (1911, Figg. 32 & 35) an einem vom Wind erodierten Stamm von Angmagsalik auf Grönland. 1921 fand ich auf Spitzbergen in Ebba Valley im inneren Ende der Klaas Billen Bay eine fast abgestorbene Dryaspflanze, deren Stamm in der Nähe der Wurzel so gut wie völlig durchgeschauert war. Nur an der Unterseite fand sich ein Streifen von lebendem Bast und Rinde und eine schwache Callusbildung zeigte, dass ruhigere Perioden mit geringerer Trift solche mit stärkerer ablösen mussten. In dem reisigen Zweigwerk, dass in Lee wie ein Fächer ausgebreitet war, hatte sich eine ganze Menge losen Materials angesammelt, so dass die äusseren Teile der Sprossen mit Ausnahme der äussersten Zweigspitzen begraben waren. Ein solches Dryasgelände erhält ein eigentümlich undulierendes Aussehen. Auf der Luvseite der Wogenkämme sieht man die kahlen oberirdischen Stammteile und einige reingewehte Wurzeln und auf der Leeseite jedes Wogenkammes findet man die grünen, relativ unbeschädigten Blätter und Blumen (cf. Fig. 23).

Polster von *Saxifraga oppositifolia*, *Silene acaulis* und anderen Pflanzen von ähnlicher Wachstumsweise entwickeln sich an ruhigen, geschützten Stellen oft sehr regelmässig. An windigen Stellen dagegen findet man, dass die Pflanzen ein unregelmässiges, verkümmertes Aussehen erhalten und meist verhält es sich so, dass die eine Seite der Pflanze mit wohl entwickelten Blumen und Blättern ein sehr üppiges Aussehen bieten kann, während die andere Seite alle Anzeichen einer Beeinflussung in der einen oder anderen Weise zeigt. In allen Fällen, in denen ich dieses Verhalten studiert habe, hat es sich gezeigt, dass diese Orientierung der frischen, bzw. beschädigten Seite des Polsters nicht so sehr auf der Exposition nach den Sonnen-, bzw. Schattenseite, sondern so gut wie ausnahmslos auf den Windverhältnissen beruhte. Das geht mit aller wünschenswerten Deutlichkeit aus den 1917 und 1921 auf Spitzbergen und 1923 auf Island gemachten Beobachtungen hervor. Beide Örtlichkeiten stimmten mit einander in folgender Tatsache überein: wenn an einer gewissen Stelle sowohl beschädigte als unbeschädigte Pflanzen zu finden waren, so war die beschädigte Seite immer nach einer gewissen Seite gerichtet, und die unbeschädigten Pflanzen waren immer mit Rücksicht auf einen aufragenden Gegenstand auf die gleiche Weise orientiert wie die gesunde Seite einer Pflanze zu der beschädigten. Es zeigte sich da auch, dass diese Orientierung in keiner Weise von der Himmelsrichtung und den

Beleuchtungsverhältnissen abhängig war, sondern dass die gesunde Seite talabwärts gerichtet, während die erodierte und verkümmerte Seite talaufwärts gewendet war. Ich möchte hier darauf aufmerksam machen, dass es sich in den fraglichen Fällen nicht um Erscheinungen anderer Art, wie Erdfließen oder dergleichen, sondern um reine Windwirkungen handelte. Um vollkommen sicher sein zu können, dass es sich nicht um derartige Möglichkeiten handelte, habe ich sorgfältig solche Plätze vermieden, wo Erdfließen in grösserer Masse vorkommt.

Die grossartige Forschungsarbeit, die durch dänische Gelehrte auf Grönland betrieben wurde, beweist auch in sehr hohem Grad den ausser-



Fig. 25. Winderordierter Dryaspolster, Grönland. Nach Hartz und Kruuse.

ordentlich grossen Einfluss, den der Wind auf die Vegetation nicht nur durch seine direkten Wirkungen, sondern auch durch die Erosion der Unterlage ausübt. Das wurde hervorgehoben u. A. von WARMING (1886, 1888), HAMMER (1883), KRUISE (1898, 1905, 1911), HARTZ (1896), die sämtlich die Bedeutung des Lee für das Gedeihen der Vegetation betonen. Diese Bedeutung wird von HAMMER (1883, p. 58) erwähnt, der sagt, dass jede Kluft, die vor dem Winde schützt, und jeder geschützte Wasserlauf zu einer verwundernswert üppigen Vegetation Anlass gibt, und auf S. 64 (l. c.) sagt er, dass der Boden von gewaltsamen Stürmen, die aus dem Innern des Landes kommen, äusserst kräftig erodiert wird, so dass sich in ihm gewaltige Furchen bilden, in denen die Pflanzenwurzeln entblösst und vom Wind zerrissen sind. Von der Bedeutung des Windes spricht auch WARMING (1886, p. 186), wo er betont, dass das Meer mit

seinen Nebeln und kalten Winden für die Vegetation eine sehr grosse Rolle spielt, und noch stärker wird diese Auffassung in einer späteren Arbeit (WARMING 1888) hervorgehoben, in der er an mehreren Stellen von den Dünen und ihren Vegetationsverhältnissen spricht, und auf S. 206 & 208, wo er die Bedeutung der Sturmtrift für die Verbreitung der Vegetation erwähnt. WARMING (1888, p. 69) erwähnt auch die Akkumulation von Staub und Grus in Polstern und dergl. und sagt (p. 72), dass durch diese Akkumulation die Pflanzen teilweise begraben werden, so dass nur ein Teil der Gipfelsprossen aus der Erde ragt, was den Eindruck hervorruft, als ob eine Pflanze in mehrere kleinere geteilt wäre. Er zeigt auch,



Fig. 26. Winderodiertes Polster von *Loiseleuria procumbens*. Tasiusak, Ostgrönland.
Nach Kruuse.

dass die Mehrzahl der Heidebüsche zerstreut und verkümmert ist, was er der verderbenbringenden Arbeit des Sandtreibens und der Stürme zuschreibt und sagt, in dieser traurigen Natur herrscht »eine grossartige Ruhe, wenn nicht die Stürme den Boden peitschen und Steine und Sand über ihn hinfegen».

Bezüglich der Heidevegetation sagt er weiters (1888, p. 46): »Auf den Heiden hält sich alles niedrig, mehr oder minder gegen den Boden gedrückt, besonders wo die kalten Meerwinde darüber hinblasen. Einige Arten, wie Weide, Zwergbirke und Wachholder legen sich in Spalierform über den Boden hin, indem sie sich oft sehr deutlich und gewiss immer von der Himmelsgegend wegwenden, aus der die kältesten Winde blasen, und hinter Steinen oder in kleinen Vertiefungen Lee suchen, indem alle

Zweige, die sich etwas höher erheben, sozusagen quer vor den Wind ausgetrocknet werden und absterben.»

HARTZ (1895) hat eine an Beobachtungen über die Winderosion auf Ostgrönland sehr reiche Beschreibung der Vegetationsverhältnisse gegeben und scheint in dieser Beziehung den Wirkungen der lokalen Föhnwinde sehr grosse Bedeutung beizumessen und sagt (l. c., p. 162): »Es ist der Föhn, der einzige Wind von nennenswerter Bedeutung in Scoresby Sound, der die Ausbreitung und Lage der Schneedecke bestimmt, er ist es daher, der nicht nur die Verteilung der Arten, sondern auch der Pflanzenformationen bestimmt, er ist es, der der Landschaft, dem Land und den Fjorden, dem Hochland und dem Tiefland, ihr Gepräge gibt, besonders im Winter, wo man seine

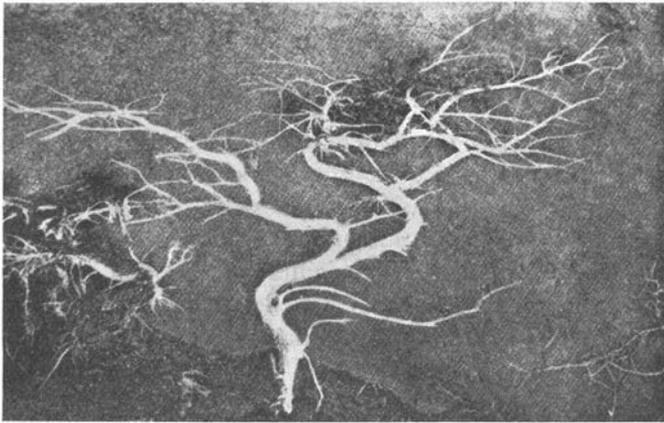


Fig. 27. Durch Schneedruck deformierter und durch Schneetreiben entrindeter Wachholderbusch. Tasiusak, Ostgrönland. Nach Kruuse.

Wirkungen deutlich sieht und wo er auch am häufigsten und kräftigsten bläst.» Er führt auch zahlreiche Beispiele an, wie sich die Pflanzen in der Richtung des Windes fächerförmig ausbreiten (p. 169), wie der Wind die Luvseite der polsterbildenden Pflanzen usw. wegerodiert (p. 187), wie Rinde und Knospenschuppen von *Salix* und *Betula* an der Windseite wegerodiert (pp. 189—90) und wie aus verwehten Pflanzenresten wirkliche Dünen gebildet werden (p. 210). HARTZ gibt auch eine Anzahl sehr instruktiver Bilder von winderodierter Vegetation.

In etwa demselben Grad betont auch KRUUSE (1898, 1905 und 1911) diese Bedeutung, hat aber offenbar (1898, p. 372) eine teilweise andere Auffassung von der Entstehung der Spalierbäume als die meisten anderen Forscher z. B. MIDDENDORFF, der den Begriff »Spalierbäume« in die Literatur eingeführt hat und sie als typische Windformen betrachtet (cf. MIDDENDORFF 1867, p. 600). KRUUSE betrachtet sie wenigstens im Egedsminde Distrikt auf Grönland als von den Wärmeverhältnissen bedingt,

indem sie in der Regel an der Südseite von Steinblöcken u. dgl. auftreten und nie über deren Kontur hinausragen (cf. KRUISE 1898, p. 372).

Es handelt sich hier jedenfalls um zwei weit getrennte Dinge und die durch KRUISE beschriebenen Spaliere von *Salix glauca* haben offenbar wenig oder nichts gemeinsam mit der durch MIDDENDORFF beschriebenen Wachstumsform der nordsibirischen Lärchen, die durch die Windverhältnisse der freien Ebene bedingt ist. Inzwischen tritt die wirkliche Windspalierform an windigen Stellen auf Grönland sehr oft auf und wenn man auch an dafür geeigneten Stellen Wärmespaliere findet, so ist es doch deutlich, dass KRUISE, auch wenn er es nicht direkt erwähnt, die Spaliere in der Hauptsache als typische Windform betrachtet, denn in einer späteren Arbeit (KRUISE 1911, p. 7) sagt er, dass man leicht die vorherrschende Windrichtung finden kann, wenn man die Richtung der Pflanzenpolster, Spaliere oder Sanddünen beobachtet.

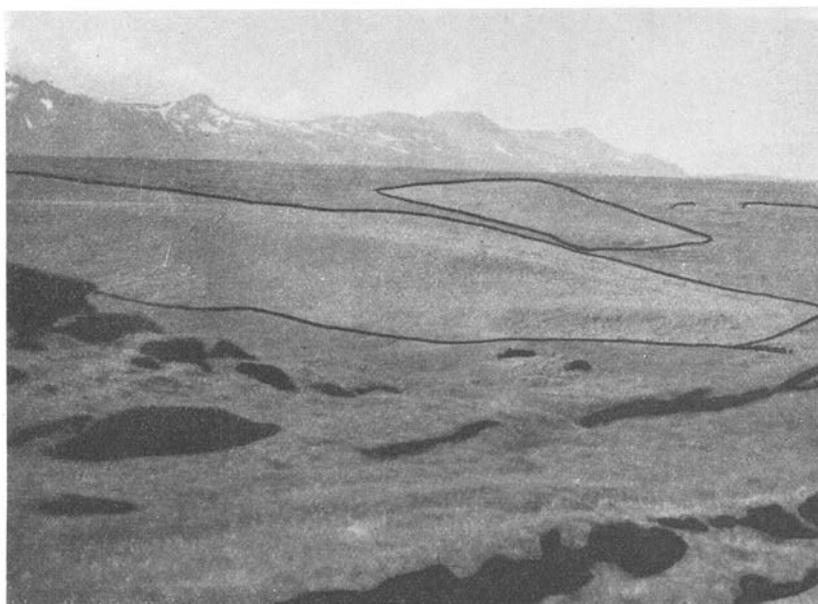
KRUISE liefert auch viele beleuchtende Beispiele für die zerstörende Wirkung des Windes auf die Vegetation und sagt, dass ein kräftiger Föhnsturm nicht nur allen losen Schnee wegfegt, sondern sogar den festen Harscht zu erodieren und den Boden blozulegen vermag, so dass die Erosion die Pflanzendecke völlig zum Verschwinden bringen kann (1911, p. 29). Er sagt weiter (l. c., p. 52), dass der Treibschnee zur Winterszeit während eines starken Sturmes eine sehr starke erodierende Fähigkeit hat, so dass die über den Schnee aufragenden Weidenzweige so stark angegriffen werden, dass sie Pinseln gleichen. Er gibt auch eine Anzahl von Bildern vom Wind angegriffener Pflanzen verschiedener Art.

Barflecken. Eine Erscheinung, die sowohl in den polaren Gebieten, Spitzbergen, Grönland, usw., als in dem subpolaren Island, Kerguelen usw. sowie in den Hochgebirgen bedeutend wärmerer Gebiete sehr gewöhnlich ist, sind die vegetationslosen sogen. Barflecken. Diese Barflecken sind als rein topographische Erscheinungen anzusehen, indem sie sich an den Stellen bilden, die den Angriffen der Winde am meisten ausgesetzt sind. Besonders treten sie an den Luvböschungen und an solchen Stellen auf, wo die Winde gegen Bergrücken oder dergl. deflektiert werden und wo eine Zusammendrängung der Stromlinien der Luft stattfindet.

Es ist überflüssig die Erscheinung näher zu beschreiben, da sie Allen, die solche Plätze besucht haben, wohlbekannt ist.¹ Ich will mich hier

¹ SERNANDER sagt (1905, pp. 82—83: »Nichts ist gewöhnlicher als auf der Bergheide bare Flecken oder Gruben zu sehen, von denen die Winde Sand und Grus von nicht geringer Korngrösse mit sich spülen. — — — Der Strauchflechtenteppich platzt unter der Dürre des Hochsommers und der Wind reisst manchmal die Stücke los. Wo in den Torfmooren Krustenflechten den ausgetrockneten Sphagnumteppich zu überziehen begonnen haben, entstehen Krebswunden, die zu Anfang vom Wind erweitert werden und später, wenn sie weiter und tiefer geworden sind, von dem Wasser, dass sich in den auf diese Weise ausgehöhlten Gruben gesammelt hat. Die Einleitung der Winderosion sind in vielen Fällen Frostphänomene oder das Weiden und Stampfen der Renntiere, woneben im Winter von den aperen Stellen Sandflug ausgeht; es dürfte jedoch nicht zu leugnen

nur darauf beschränken, sie in ihrer schönsten Ausbildung zu beschreiben, wie ich sie auf Island gesehen habe. In meiner Arbeit »Några studier över erosionsföreteelserna på Island« (Ymer 1925) teile ich das Land mit Rücksicht auf Vorkommen und Auftreten von Winderosion in drei Teile, das Plateauland über 500 m ü. M., das Übergangsgebiet zwischen 200 und 500 m ü. M. und schliesslich das Tiefland von der Küste bis zu 200 m über dem Meeresspiegel. Innerhalb dieser verschiedenen Gebiete ist die Windwirkung mit überwiegender Deflation im Plateauland am grössten, im Tiefland mit überwiegender Akkumulation am kleinsten. Im Übergangsgebiet variieren die Verhältnisse. Geht man eine Talböschung auf-



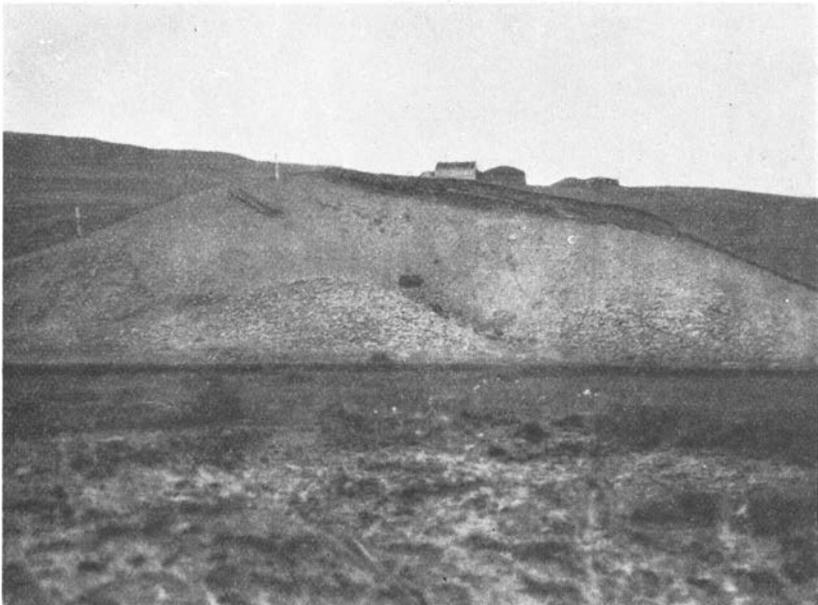
Verf. phot.

Fig. 28. Einzelne nackte Flecke auf im Übrigen vegetationsbedecktem Boden. Nordisland. Die dunklen Stellen sind Wunden in der Grasdecke mit beginnender Erosion.

wärts, so findet man in den unteren Teilen Barflecken auf Hügeln und Unebenheiten und auch dort nur an ihrer dem Hochland zugekehrten Seite. Je weiter man hinauf kommt, desto grösser werden die Barflecken und desto weniger zusammenhängend die Pflanzendecke. Ganz droben findet man die Vegetation nur an vereinzelt, besonders geschützten Stellen als kleine Oasen in einem im Übrigen kahlen und öden Boden. Es macht einen eigentümlichen Eindruck, wenn man sich in der Mitte eines Tales befindet und den Blick talaufwärts richtet. Das ganze Tal sieht da wie mit einer üppigen Vegetation bewachsen aus. Wendet man

sein, dass die Deflation ohne die relative Dürre der Vegetationsperiode nicht von so grossartigen Dimensionen sein könnte, wie sie sie seit einer sehr nahen geologischen Zeit angenommen hat.»

den Blick talabwärts, so sieht man nichts anderes als die kahlgewehten Luvseiten der Hügel und kaum eine Spur der Vegetation. Das rasche Anwachsen im Umfang der Barflecken je mehr man sich dem Inland nähert ist so auffallend, dass es der Aufmerksamkeit nicht entgehen kann und sicherlich dürfte der ganze, grössere Teil des Inlandes als ein einziger grosser Barfleck zu betrachten sein. Es besteht kein Zweifel, dass man sich dort droben in einem wirklichen Wüstengebiet befindet. Es dürfte jedoch Zweifel unterworfen sein, inwieferne man den hauptsächlichsten Teil der grossen Wüsten und Einöden oben im Land oder die grossen wüsten Gebiete auf tieferen Niveaus als Kältesteppen oder Kältewüsten



Verf. phot.

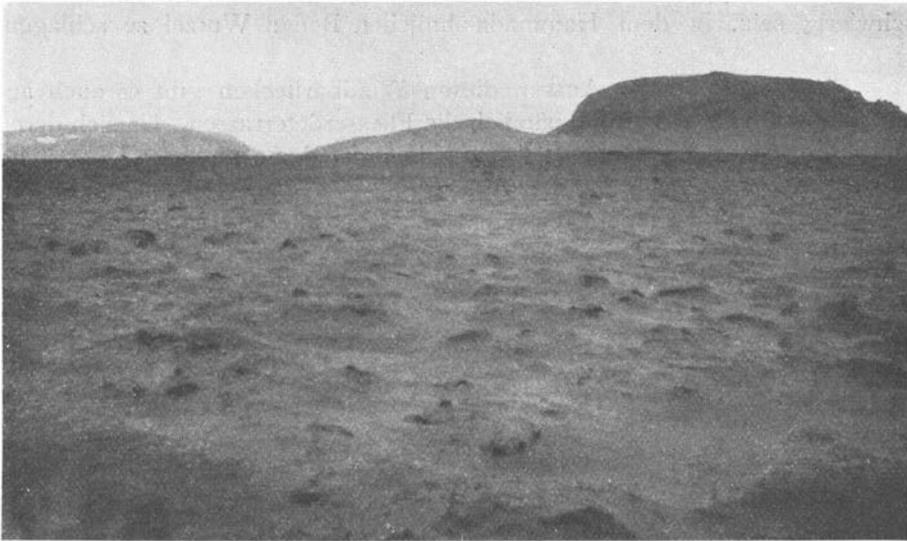
Fig. 29. Verteilung zwischen Löss und nacktem Boden in einem Tal, Nordisland. Der Wind kommt von Süden, d. h. von links auf dem Bild.

betrachten darf, wie es durch PASSARGE (1921, p. 131) vorgeschlagen wurde.

Gerade wegen der Orientierung der Barflecken und ihres vermehrten Vorkommens je weiter man sich den meist exponierten Öden nähert, lässt sich vermuten, dass man bezüglich der Wüstengebiete Islands der Wahrheit bedeutend näher kommt, wenn man sich statt der durch PASSARGE vorgeschlagenen Ausdrücke »Kältesteppen« und »Kältewüsten« des durch SCHIMPER und WERTH (WERTH 1906, p. 135) für Kerguelen eingeführten Begriffes »Windwüste« bedienen wollte.

In den skandinavischen Hochgebirgen kommen ja Barflecken so gut wie überall in den höheren Lagen, d. h. in der Regio alpina und der Regio subalpina vor. Manchmal trifft man sie aber auch in recht geringer

Höhe an und dann hauptsächlich an den Seiten der Gebirge, die den Angriffen der Winde besonders ausgesetzt sind.



Verf. phot.

Fig. 30. Stark winderodiertes Gebiet im Hochland südlich vom Langjökull, Island. Die Vegetation wurde zuerst von Sandwehen zum Absterben gebracht. Bei stärkerem Wind werden bedeutende Massen von Sand und Staub aufgewirbelt, die das Entstehen eines graugelben Nebels, des sog. »Mistur«, veranlassen. Beachte den Berg im Hintergrund, dessen Gipfel sich scharf über dem Nebel abzeichnet.

In der Regel entstehen diese vegetationslosen Barflecken an denselben Stellen wie die schneefreien Barflecken des Winters und eine der wichtigsten Ursachen für ihre Entstehung liegt sicher darin, dass somit während

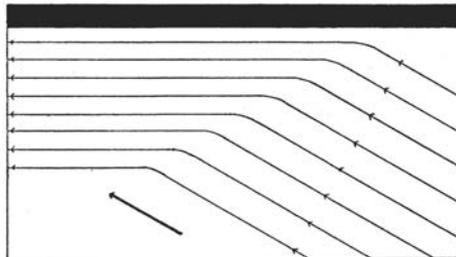
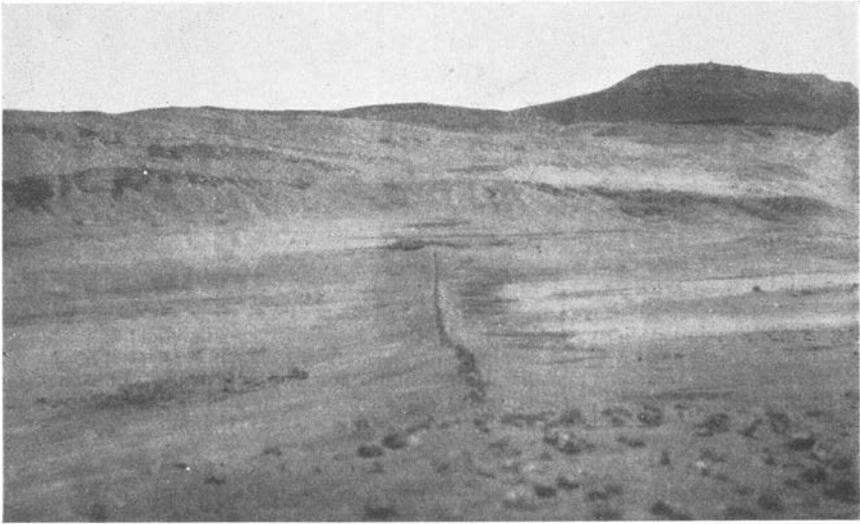


Fig. 31. Schematische Darstellung des Verlaufes der Stromlinien der Luft, wenn der Wind an einem Hindernis deflektiert wird.

des Winters keine schützende Schneedecke vorhanden ist, welche die Überwinterung der Vegetation erleichtern kann, wie auch darin, dass die ev. Pflanzen, deren Vorhandensein während des Winters man sich vorstellen könnte, hier eine sehr elende Existenz führen müssen, beständig den Angriffen der Stürme und der Kälte ausgesetzt und beständig mit

treibendem Schnee und anderen Körpern bombardiert. Weiters sind ja gerade diese Plätze einer grossartigen Deflation ausgesetzt, so dass alles Feinmaterial weggeweht wurde. Es kann dann für eine Pflanze äusserst schwierig sein, in dem Hammada-ähnlichen Boden Wurzel zu schlagen.

Fliesserdeboden. Ausser diesen Windbarflecken gibt es auch andere vegetationslose Partien, nämlich die Fliesserdeterrassen. Da sich deren Masse in einer gleitenden Bewegung befindet, kann an ihrer Oberfläche keine kräftigere Vegetation zur Ausbildung gelangen. Auf diesem kahlen Boden kann die Winderosion eine gewisse Rolle spielen und oft findet



Verf. phot.

Fig. 32. Skardsfjall, Südland. In dem von Sandwehen verheerten Gebiet, Landsveit, steht dieser Berg wie eine Mauer schräg gegen den herrschenden Wind. Aus diesem Grund entsteht hier eine starke Zusammendrängung der Stromlinien der Luft, der treibende Sand schleift hier und greift den Bergeshang an. Er gelangt indess nicht höher als ungefähr 100 m über den Fuss des Berges und über dieser Grenze findet sich daher eine Kappe von Gras und Kräutern.

man gerade an der Windseite der Fliesserdeterrassen wirkliche Deflationsphänomene, wie Ausbildung von Hammadalagern, typische Deflation und Windschliff von Pflanzen usw.

Über Winderosion auf Fliesserdeboden in den skandinavischen Gebirgsgegenden hat SERNANDER (1905) eine Reihe sehr interessanter Beobachtungen gemacht und hebt in seiner vortrefflichen Arbeit an mehreren Stellen die grosse Bedeutung der Winderosion für die Vegetation in der Gegenwart hervor (cf. SERNANDER 1905, pp. 56, 57—58, 61, 63—64, 66, 69—71, 82—83). In seiner Arbeit gibt er auch sehr instruktive Bilder von dieser Erosionsform auf fossilen Fliesserdeterrassen. (SERNANDER 1905, Figg. 8 & 9). Selbst habe ich Deflationsphänomene an rezenter Fliesserde sowohl auf Spitzbergen als auf Island beobachtet. Bei der

grossen Ähnlichkeit zwischen den Phänomenen, die an diesen Örtlichkeiten und in Skandinavien ausgebildet sind, dürfte man mit aller Wahrscheinlichkeit annehmen können, dass eine solche Erosion auch in den Skandinavischen Hochgebirgen vorkommen kann und vermutlich auch vorkommt, wenn sie auch natürlich nicht so markant werden kann wie auf fossiler Fließerde. Auf der rezenten Fließerde wird die Arbeit der Winderosion gerade von dieser Fließbewegung maskiert, welche die Erdmasse knetet und unaufhörlich neue Teile exponiert, aber überall, wo ich das Phänomen in verschiedenen Windlagen beobachtet habe, zeigte es sich, dass eine Anreicherung des schützenden Steinlagers und andere ty-



Fig. 33. Windwüste auf Kerguelen. Nach Werth.

pische Windphänomene an der Windseite der Fließerdeterrassen am stärksten war. Dass eine Winderosion von Fließerde nicht vorkommt, solange der Boden bis zur Oberfläche mit Wasser durchtränkt ist, ist ganz natürlich, bei eintreffenden Trockenperioden aber, z. B. während des Sommers oder im Herbst, wenn die Temperatur unter 0° C sinkt und eine Menge Staub- und Sandkörner lose in der Oberfläche liegen, hindert nichts das Eintreten von Deflation. Ich habe mich zu wiederholten Malen davon überzeugt und habe oftmals wahrgenommen, wie an Tagen, an denen die Temperatur unter den Gefrierpunkt gesunken war, Staub und Sand von solchem Boden aufgewirbelt wurde (cf. SAMUELSSON 1921, p. 133—34).¹

¹ NEHRING erwähnt auch (1890, p. 16) eine bedeutende Staub- und Sandtrift in den Tundragebieten von NW-Russland. Ebenso MIDDENDORFF (1867, pp. 383 f.), indem er von Sand- und Grustrift zusammen mit Schnee spricht, an Stellen, an denen der Boden im Sommer, soweit aus dem Zusammenhang im Übrigen zu entnehmen ist, ein rezenter Fließerdeboden sein muss.

Auf den nackten Fliesserdeterrassen, die in den arktischen und Hochgebirgsgebieten bedeutende Flächen einnehmen, spielt also die Deflation eine gewisse Rolle.

Es besteht kein Zweifel darüber, dass wir gerade in der Deflation mit einem der Faktoren zu rechnen haben, die zu der Sortierung des Oberflächenmaterials auf derartigem Boden beitragen. Weiteres findet man oft in der Vegetation, die auf der Kante der Fliesswülste vorhanden ist, Steinsplitter und Grus in solcher Lage, dass diese Körper unmöglich durch fließendes Wasser dorthin haben transportiert werden können. Auch die Annahme dürfte nicht berechtigt sein, dass die Frostsprengung derartiges erzielen konnte, wenigstens nicht in solchem Umfange.



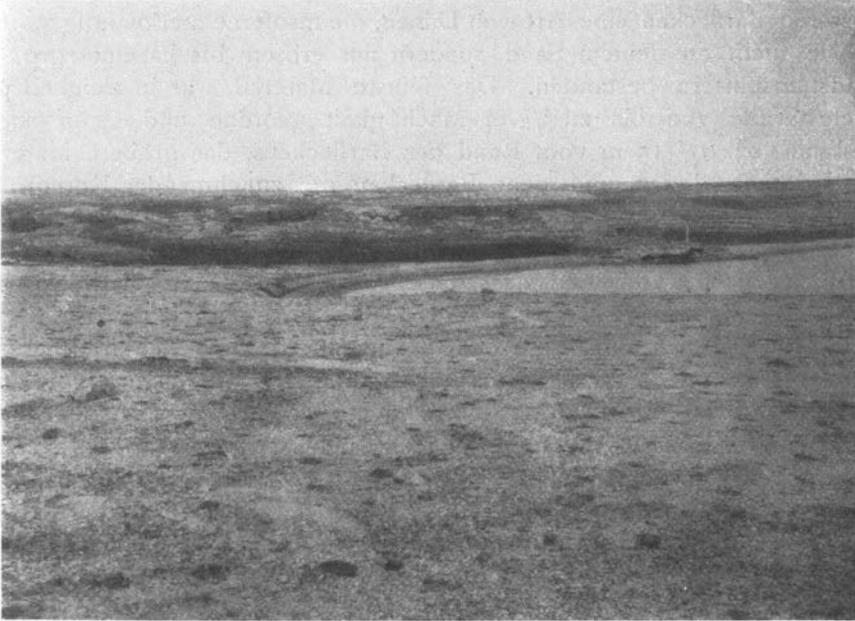
A. Reuterskiöld phot.

Fig. 34. Stark winderodierter fossiler Fliesserdeboden, Spitzbergen.

Selbst habe ich bei starkem Wind eine bedeutende Trift, selbst von Grobmaterial, von solchem Boden wahrgenommen und ich will zum Schluss eine Beobachtung von einem sehr flachen Hügel mit starkem Erdfließen aus dem Holländertal auf Spitzbergen anführen.

Der Hügel selbst sprang aus einem Berghang vor und wurde von einem Schneelager auf demselben mit Wasser versehen. An der talwärts gewendeten Seite, d. h. an der Leeseite, fand man in der Vegetation Splitter und kleine Steine in bedeutender Menge, nicht dagegen an der bergwärts gewendeten Seite. Auf dem eigentlichen Gipfel des Hügels, wo ein nennenswertes Erdfließen nicht vorkam, waren sehr schöne Polygone mit einer Seitenlänge von bis zu 1 m ausgebildet. Auf beiden Seiten, wo das Erdfließen sich geltend zu machen begann, waren diese

dann zu »stone stripes« ausgezogen. Der Polygonboden war auf dem Gipfel stark durch einen aus dem Tal gegen den Fjord wehenden Wind erodiert. Überall fand man, dass die Decke aus Schieferstücken, die auf der Fliesserde angereichert war, gerade für diesen Wind stabilisiert war. Diese Anordnung musste vom Wind verursacht sein und kann nicht dem Erdfließen zugeschrieben werden, denn in diesem Fall würde sich nicht die Tatsache ergeben, dass die Scherben auf der einen Seite des Hügels zur Fliessrichtung der Erde, auf der anderen aber von derselben geneigt waren.



G. J. van Oordt phot.

Fig. 35. »Van Oordt's Hammada«, Kap Boheman, Spitzbergen. Der Boden besteht hier aus durch Deflation angereicherten Schotter- und Steinlagern mit bis zu $\frac{1}{2}$ m Tiefe.

Ich für meinen Teil halte es für absolut unmöglich, dass man sich dabei einen anderen Faktor als den Wind wirkend vorstellen kann.

Die Deflation, die auf den Barflecken vorkommt, kann in ihren Wirkungen manchmal recht bedeutend werden, besteht aber hauptsächlich in einer Art Sortierung des Materiales, da die verfügbare Menge von Feinmaterial oft sehr wechselnd ist und der Boden aus einem meist sehr heterogenen Material besteht. Der feine Staub wird fast vollständig weggeblasen und auf den Barflecken bleibt ein Lager von Grobmaterial übrig, das der Wind nicht fortzuführen vermochte.

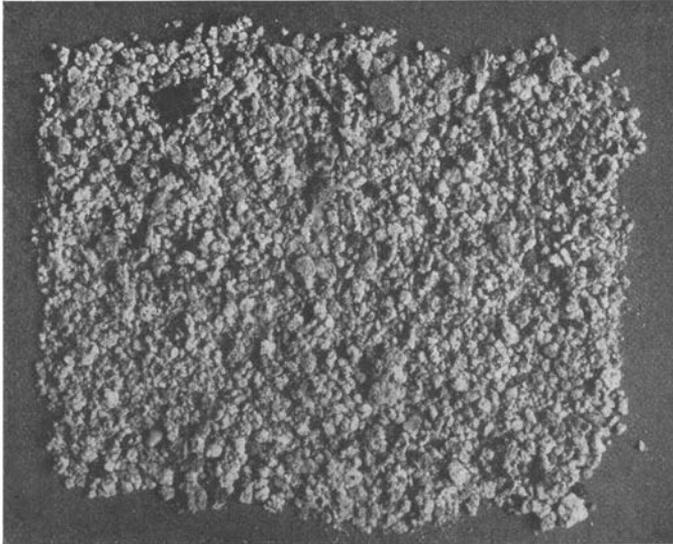
Auf Cap Boheman im Eisfjord finden sich zahlreiche und äusserst bezeichnende Spuren einer derartigen Deflation. An gewissen Stellen findet man wirkliche Barflecken, wo der Wind jede Spur von Vegetation

und Feinmaterial so vollständig weggefegt hat, dass der Boden bis zu einer Tiefe von 20—30 cm ausschliesslich aus angereichertem gröberem Material besteht. In grösserer Tiefe findet man Feinerde, Wurzelfilz-lager und Stammteile, die vom Grobmaterial begraben wurden. Im Lee von grösseren Steinen konnten einige wenige Pflanzen Wurzel fassen, sobald aber dieses Lee aufhörte, war der Boden von der oben beschriebenen Beschaffenheit. Ich habe an vielen Stellen vergebens nach Dünen und anderen Zeichen einer Ablagerung des Materiales, das offenbar fortgeführt worden war, gesucht. Alles war offenbar direkt in den Fjord hinaus geweht worden. Dagegen fand ich gerade am Rande eines der grösseren Barflecken eine Art von Dünen, die insoferne merkwürdig waren, als sie nicht aus feinem Sand, sondern aus erbsen- bis haselnussgrossen Sandsteinsplittern bestanden. Das feinste Material war in ziemlich parallele Wälle von bis zu $\frac{1}{2}$ m Mächtigkeit geordnet und lag in einem Abstand von 10—15 m vom Rand des Barfleckens, das gröbere Material lag zwischen diesen und dem Barflecken mit zunehmender Korngrösse gegen Luv. Bei vorgenommenen Grabungen zeigte es sich, dass diese Dünen in ziemlich später Zeit über früher mit Vegetation bedecktes Gebiet gewandert waren und dass dieser Vorgang noch andauerte, konnte ich bei einem besonders starken Sturm leicht konstatieren.

Es zeigte sich, dass nach dem Sturm eine gewisse Stabilisierung eingetreten war, auf die Weise, dass flachere Platten von Schiefer und Sandstein sich gerade für einen Wind von dem Typ und der Richtung angeordnet hatten, wie er bei diesem Sturm geherrscht hatte. Ausser dem groben Material von Steinen und Blöcken, das auf dem kahlen Boden eine zusammenhängende Decke bildete, lagen die oben genannten flachen Scherben auf eine solche Weise, dass sie einander gewissermassen dachziegelartig deckten, so dass die Scherben in Luv auf der Vorderkante der folgenden, deren Hinterkante auf den nächstfolgenden ruhte usw. Da diese Anordnung auf einen Wind von NNW deutet, der eine solche Stärke besass, dass er die Scherben wohl zu bewegen, nicht aber fortzuführen vermochte, ist es deutlich, dass die vorherrschenden und gewaltsamsten Winde von dieser Seite kommen. Ein südlicher oder südöstlicher Wind, der gegen die aufragenden und entgegen gewendeten Kanten der Scherben blasen, sie leicht aufheben und in diese Scherbendecke Unordnung bringen würde, kommt offenbar nicht vor. Man ist, wie mir scheint, berechtigt, daraus den Schluss zu ziehen, dass bei Erosion auf aus heterogenem Material bestehenden Boden die Deflation das feinere Material wegführt, so dass zuerst ein Schutzlager aus gröberem Material gebildet wird und dass dann nach und nach eine Stabilisierung der verschiedenen Teile dieses Schutzlagers eintritt.

Es wird jedoch ziemlich schwer, den eigentümlichen Umstand zu erklären, dass in der Nähe von Barflecken und Fliesserdeterrassen im Allgemeinen keine Akkumulation von feinerem Material anzutreffen ist, obwohl die Erosion anscheinend intensiv und lange gewirkt hat. Man wäre

geneigt anzunehmen, dass im Lee dieser Wälle aus gröberem Material Akkumulationen aus feinerem und immer feinerem Material anzutreffen sein müssten, je mehr man sich von den Erosionsflächen entfernt. An einer Reihe von Stellen, besonders solchen mit dichter, buschartiger Vegetation, kann man allerdings abwechselnde Lager von Triftmaterial, Pflanzenresten und dergleichen antreffen, was andeutet, dass Akkumulation wirklich stattgefunden hat, der Übergang aber zwischen dem groben und dem allmählich immer feineren Material ist an keinem einzigen der untersuchten Plätze kontinuierlich, sondern abrupt, so dass man hinter den Wällen, deren Material aus ungefähr erbsengroßem Grus bestand, im



Verf. phot.

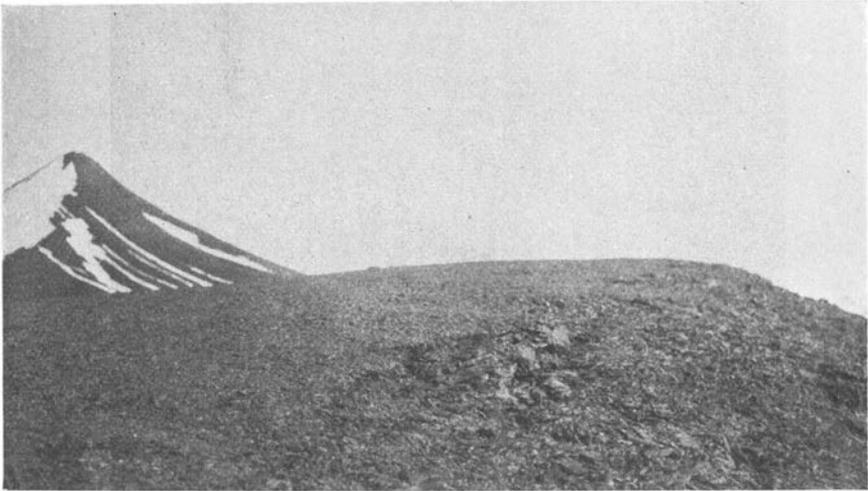
Fig. 36. Dünenmaterial, aus groben Sandsteinflittern bestehend. $\frac{1}{2}$ nat. Gr.
Boheman, Spitzbergen.

Allgemeines von einer weiteren Sortierung des Materiales nicht sprechen kann.

Die Ursache davon dürfte die folgende gewesen sein: Damit auf einem Boden, der seiner Natur nach gewöhnlich feucht ist, Erosion durch den Wind überhaupt eintreten können, ist in der Oberfläche ein gewisser Grad von Trockenheit erforderlich. Das trifft ein nach längeren regenlosen Perioden im Sommer und zu den Zeiten, wenn die Temperatur unter 0°C ist, d. h. während der kälteren Teile des Jahres. Wenn Schnee fällt, so wird er zuerst von den Plätzen, die der Vegetation entbehren, weggefegt und an geschützten Stellen angesammelt, d. h. in erster Linie an solchen, die Vegetation tragen. Dann tritt die Erosion des Bodens der Barflecken ein. Das feinste Material, das der Wind aufzuheben vermag, wird am weitesten geführt, bevor es zu Boden fällt, und wenn dieses

Material mit dem treibenden Schnee vermischt wird, der nach SANDSTRÖM (1912) bewirkt, dass die Luft schwerer wird, muss es natürlich weiter weggeführt werden und da die Vegetation für den vorwärtseilenden Wind und den Treibschnee kein Lee mehr bietet, werden auch die mittransportierten Sand- und Staubkörner viel weiter geführt, als es der Fall wäre, wenn der Boden bar wäre. Das Resultat wird dann eine bedeutend geringere Anhäufung von Triftmaterial in unmittelbarer Nähe der Erosionsfläche, als man von den Verhältnissen während des Sommers erwarten kann.

Wenn das feinere Material weggefegt ist, kommt die Reihe an das gröbere. Dieses ist indess zu grob, als dass es auch von den stärksten



Verf. phot.

Fig. 37. Hammadabildung auf einem Hochplateau, Green Harbour, Spitzbergen. Alles feinere Material fehlt und das Grobmaterial ist für einen Wind von rechts stabilisiert.

Winden, die im Allgemeinen vorkommen, aufgehoben werden können sollte, es wird nur nach Lee gerollt und dann entstehen die genannten Wälle, die ihrerseits zu einem temporären Lee Anlass geben können, aber nach und nach von den Stürmen beeinflusst werden, so dass sich eine gewisse Sortierung ergibt. Es hat somit den Anschein, als ob dieses manchmal wallbildende Material ziemlich gewöhnlichen Stürmen von solcher Stärke entspräche, dass sie auf ebenem Boden wohl ein Korn zu rollen oder bei Seite zu wälzen, es aber nicht aufzuheben und längere oder kürzere Zeit in der Luft schwebend zu erhalten vermögen. Man kann somit diese vom Sturm zusammengetriebenen Gruswälle als die Stürme im Winter repräsentierend betrachten, wenn der Boden im Übrigen mit Schnee bedeckt war, so dass alles feinere Material weggeführt wurde, während der Sturmgrus selbst nie aufgehoben, sondern nur über die Oberfläche der Barflecken gerollt und am Leerand angesammelt wurde.

Gleichartige Bildungen werden auch von PJETURSSON (1898, p. 339) vom Egedesminde Distrikt auf Grönland erwähnt: »Auf den Terrassen nördlich des Baches (Ilivilik) kann offenbar zeitweise bedeutende Sandtrift herrschen: teils fand sich dort eine Menge regelmässiger, ungef. 0,3 m hoher Wogen aus gröberem Sand und kleinen Steinen — — —, teils war der feinere, gelbe Sand zu unregelmässigen, niedrigen Haufen zusammengefügt, die stellenweise mit *Elymus arenarius* bewachsen waren».

KRUUSE (1911) führt aus Ostgrönland Beispiele an, dass 9—10 mm grober Grus vom Wind in Bewegung gesetzt wird, so dass er Pflanzen von *Empetrum* und *Silene* erodiert, die dann nur an der Leeseite zuwachsen können (l. c., p. 154), und sagt weiter (l. c., pp. 156—164), dass Sand und Grus vom Wind direkt weggeführt werden können, ohne Wehen oder Dünen zu bilden.

Die Einwirkung des Windes auf die Waldbäume innerhalb der eigentlichen Waldgebiete.

Bei der Behandlung der Wirkung auf die Vegetation, besonders die Waldvegetation, scheint es mir angezeigt, zwischen seiner Wirkung in den eigentlichen Waldgebieten und den Waldgrenzgebieten einen gewissen Unterschied zu machen. Die Wirkungen und die Wirkungsweise sind ja verschieden und da die extremen Verhältnisse, die in den Grenzgebieten in der Kampfregion des Waldes mit denen in den eigentlichen Waldgebieten z. B. in Skandinavien nicht gleichartig sind, glaubte ich diese verschiedenen Gebiete getrennt behandeln zu sollen. Desgleichen erbieten ja die Waldgrenzgebiete gewisse Übergangsformen zwischen dem Wald einerseits und dem Gebirge andererseits, weshalb ich mich für berechtigt gehalten habe, der von mir gewählten Disposition zu folgen.

Es scheint, dass die Bedeutung des Windes für die Waldbäume und die Baumvegetation schon seit Alters her den meisten Forschern bekannt war. Bevor ich jedoch auf ein Problem eingehe, will ich einen Ausspruch eines der früheren Verfasser, die sich mit dem Norden beschäftigt haben, anführen, nämlich eine Stelle aus OLAUS MAGNUS, der in seiner berühmten Arbeit »*Historia de gentibus septentrionalibus*» (Roma MDLV) unter anderem auch auf die Winde und in gewisser Hinsicht auch auf ihre Bedeutung eingeht. In dieser Arbeit stützt er sich teils auf eigene Beobachtungen, teils auf Aussprüche u. A. der Verfasser des Altertums, und erscheint von der Bedeutung des Windes für die Waldvegetation eine klare Auffassung gehabt zu haben, denn er sagt (Upsala-Ausgabe 1919: I, pp. 28—29) im ersten Buch, X. Kapitel, anlässlich des gewaltsamen Windes Circius: »Wie greulich und gefährlich die Sturmwinde in den Strandgebieten des westlichen Norwegen sein können, davon wissen sowohl die Bewohner der Örtlichkeit als die Fremdlinge, die dort zusammen strömen, Bescheid, denn der genannte Wind ist in diesen Trakten so gewaltsam,

dass man dort weder Bäume noch Büsche grünen sieht». Er führt weiters eine ganze Reihe von Beispielen für die Gewalt der Winde an und scheint von ihrer demolierenden und zerstörenden Wirkung eine ausgesprochene Auffassung gehabt zu haben.

In späteren Zeiten scheint die Einwirkung des Windes auf die Vegetation, besonders die Waldvegetation, immer mehr Beachtung gefunden zu haben und in der Literatur begegnet man oft Aussprüchen, aus denen hervorgeht, dass die betreffenden Verfasser die Bedeutung des Windes in diesem Fall als so selbstverständlich betrachtet haben, dass sie eine nähere Motivierung oder Beschreibung der Erscheinungen nicht für nötig erachteten.



Verf. phot.

Fig. 38. Typische Windform von Birken an der Küste, Laholmsbucht.

Über die Einwirkung des Windes auf die Waldbäume in den Küstendünengebieten wurde schon in der Darstellung über den Zusammenhang zwischen der Bodenbeschaffenheit und der Vegetation gesprochen, so dass eine weitere Erwähnung derselben nicht notwendig sein dürfte. Ich will mich daher im Folgenden nur mit den Erscheinungen beschäftigen, deren Entstehung man sich in jedem Wald ohne Rücksicht auf die Bodenbeschaffenheit oder die Veränderungen, welche dieselbe eventuell im Zusammenhang mit Abholzung oder anderen Ereignissen erleiden kann, vorstellen kann.

Wenn man somit von der Bodenbeschaffenheit oder den Veränderungen, welche dieselbe eventuell erleiden kann, absieht, so kann man bezüglich der Einwirkung des Windes auf den Wald wie auch auf jede andere Pflanzengemeinschaft zwischen zwei Arten von Windwirkung unterscheiden,

nämlich der direkten und der indirekten, je nachdem sie durch den Wind selbst oder durch ein von dem Wind benutztes Agens hervorgerufen wurde.

In seinem vortrefflichen, sehr übersichtlichen Aufsatz über »Skogens skydd mot yttre faror« ist KALLIN (1909) auch auf die Einwirkung des Windes auf die Waldbäume eingegangen und aus seiner glänzenden Darstellung sei Folgendes wiedergegeben (KALLIN 1919, p. 13 f.):

»Eine mässige Bewegung in der Luft übt auf die Wälder eine günstige Wirkung aus, indem für die Bewachsung eine frische Ventilation entsteht, der Pollen und die Früchte der Bäume verbreitet werden usw. Wenn indess diese mässige Bewegung in starken Wind oder Sturm übergeht, können durch Erschöpfung des Bodens, Zerbrechen oder Umstürzen der Bäume bedeutende Schäden angerichtet werden.

Besonders in stark exponierten Lagen, wie an der Meeresküste oder im Gebirge, haben die Winde einen grossen Einfluss auf die Baumvegetation. Die Kronen der Bäume werden einseitig ausgebildet, indem der gegen die Windseite orientierte Teil stark verkümmert, und der ganze Baum im Übrigen erhält ein knorriges, missgebildetes Aussehen. Die rein mechanische Wirkung der Winde ist nicht die einzige Ursache davon. Von grosser Bedeutung ist die starke Verdunstung, welche die kräftigen Winde an der Windseite der Bäume bewirken und welche Vertrocknung der hier gebildeten Blätter, Knospen und Sprossen verursacht.

Betreffs der Widerstandskraft der Bäume gegen die Stürme können wir zwischen deren Sturmfestigkeit und deren Sturmhärte unterscheiden.

Unter der Sturmfestigkeit eines Baumes verstehen wir seine Fähigkeit, dem Umgestürztwerden durch den Sturm und dem Windbruch zu widerstehen. Die verschiedene Sturmfestigkeit der Bäume beruht auf verschiedenen Umständen, wie der Grösse und Beschaffenheit der Baumkronen, der Länge, dem Bau und der Elastizität der Stämme, der Wurzelbildung, ihrem Alter, sowie ihrem frischen oder kranken Zustand. — —

Beispiele für sturmfeste Baumarten sind Kiefer, Silbertanne, Weiss-tanne, Lärche, Eiche, Birke, Ulme, Esche und Mehlbeerbaum (*Sorbus suecica*); wenig sturmfest sind Tanne, Bergkiefer und Buche.

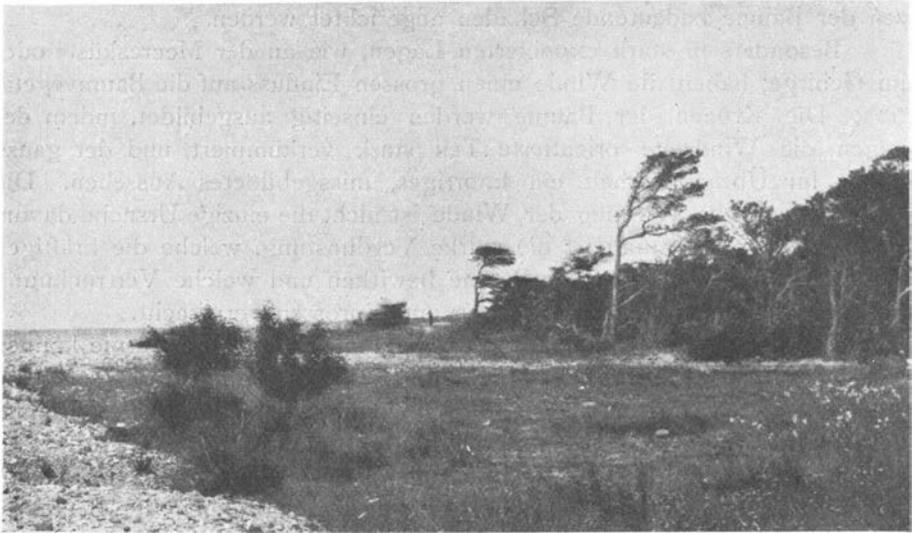
Unter der Sturmhärte eines Baumes versteht man die Fähigkeit, welche die über der Erde befindlichen Teile desselben (besonders Nadeln, Blätter und Zweige) besitzen, den ermüdenden Wirkungen des Windes zu widerstehen, sturmhart sind Weisstanne, Bergkiefer, Birke und vor Allem Mehlbeerbaum sowie in gewissem Mass Fichte. Wenig sturmhart sind dagegen Kiefer und Lärche.

Unter unseren gewöhnlichen Waldbäumen ist die Fichte dem Umgeblasenwerden durch den Sturm weit mehr ausgesetzt als die Kiefer.

Die Laubbäume sind Verheerungen durch die Stürme weniger ausgesetzt als die Nadelbäume. Die entlaubten Kronen bieten nämlich den rasenden Herbst- und Winterstürmen einen geringeren Widerstand als die Nadelbäume, an denen die Nadeln sitzen bleiben. — — —

Es sind die Herbststürme, welche die grössten Verwüstungen hervorzurufen pflegen. Wenn der Sturm durch den Wald jagt, kann er, wie viele Beispiele gezeigt haben, vor sich her breite Gassen niederreißen. Auch die kräftigsten Bäume können da zu Boden gefällt oder abgeknickt werden. Manchmal kann man schwere Folgen von Wirbelwinden sehen, die innerhalb eines Bestandes stellenweise die Bäume umstürzen, während der Bestand im Übrigen völlig unversehrt sein kann.

Der Sturm ist nicht nur durch diese seine direkten Wirkungen schädlich. Wie schon erwähnt, wirken die Winde in gewissen Fällen durch die vermehrte Verdunstung von Wasser ermüdend auf Knospen und Blätter. Einen indirekten Schaden bringt der Wind auch durch die sogen. *Wind-*



Verf. phot.

Fig. 39. Sturmwald, Snäckgårdsbaden, Visby. Die Bäume am Waldrand sind sowohl sturmfest als sturmhart.

peitschung hervor. Wir verstehen darunter die schädigende Wirkung, die entsteht, wenn der Wind die Zweige und Äste eines Baumes in schaukelnde Bewegung setzt und diese dann die Krone eines nahestehenden Baumes peitschen. Es ist z. B. gewöhnlich, dass die Birke, wo sie zusammen mit Kiefer und Fichte vorkommt, die nahestehenden Nadelbäume durch ihre langen, schaukelnden Zweige beschädigt.

Weiters gehört der Sturm zu den Gefahren, welche an vielen Orten den Wald für andere Schädigungen empfänglich machen. Das ist besonders mit älterem Fichtenwald der Fall. Dadurch, dass der Wind die Bäume ins Schwanken bringt, werden leicht die feinen Wurzelfäden abgerissen, deren Hauptaufgabe die Entnahme der Nahrungsstoffe aus dem Boden ist. Auf diese Weise werden die Bäume in einen kränklichen Zustand versetzt, der sie für den Angriff durch Insekten oder für Pilzkrankheiten

empfänglich oder wenigstens weniger widerstandskräftig macht. Die sturmgefallten oder abgebrochenen Stämme können auch wirkliche Krankheitsherde werden, indem eine Reihe von für den Wald schädlichen Insekten, hauptsächlich die sog. Borkenkäfer, in diesen kranken oder toten Stämmen für ihre Entwicklung günstige Umstände vorfinden; auf diese Weise kann eine Massenvermehrung derselben zu Stande kommen. Dadurch kann ein ganz kleines, vom Sturm beschädigtes oder gefälltes Gebiet ein Ansteckungsherd für den ganzen Wald werden.

In diesem Zusammenhang wollen wir auch die Krankheit des Fichtenwaldes nennen, die von den Forstleuten *Fichtendürre* genannt wird.

Unter Fichtendürre verstehen wir das plötzliche, oft gruppenweise



Verf. phot.

Fig. 40. Birkenwald, Wapnö, Halland. Der Bestand als Einheit ist sturmfest, aber die einzelnen Bäume sind es nicht.

Vertrocknen des Fichtenwaldes. Über die Ursachen der Entstehung der Fichtendürre ist oft gesprochen worden und die Ansichten darüber sind geteilt. Manche halten den Sturm für die ursprüngliche Ursache, anderen schieben die Schuld auf die Borkenkäfer. Wie es sich damit auch verhält, sicher ist, dass der Wind für die Entstehung der Fichtendürre eine wichtige Rolle spielt.»

Es muss ausserhalb des Rahmens dieser Abhandlung fallen, die katastrophale Zerstörung gewaltiger Waldgebiete durch einen einzigen Sturm oder eine einzige Sturmperiode zu schildern, zumal dadurch der verfügbare Raum zu stark in Anspruch genommen werden würde. Weiters enthält die gewöhnliche Forstliteratur oft Notizen über das Hausen der Stürme in den Wäldern, von unseren gewöhnlichen Zeitungen zu schweigen, die oft Artikel dieser Art enthalten.

Folgende, auf gut Glück gewählte Beispiele mögen indess dazu die-

nen, eine Vorstellung von den Schäden zu geben, welche ein Sturm in wachsendem Wald anrichten kann:

Den 2.—3. Okt. 1912 herrschte in dem Küstengebiet von Västerbotten ein orkanartiger Sturm, wobei auf einem Areal von ca. 45,000 ha ungefähr 230,000 Bäume vom Wind gefällt wurden. Von diesen wurden 212,700 Bäume mit einer Mitteldimension von ca. 20 cm in Brusthöhe gestempelt. Die geringste vermessene Dimension in Brusthöhe war 10 cm (Nach CHATILLON-WINBERG 1913, pp. 197—199).

Durch einen Sturm am 29.—30. Aug. 1917 wurde ein Gebiet im nördlichen Dalarne verheert. Längs der Strecke Funästjäll bis zur Grenze gegen Härjedalen betrug sich der Wind auf einer 25—30 km breiten Front



Verf. phot.

Fig. 41. Nach den Stromlinien des Windes an der Leeseite eines Hauses deformierter Baum. Halland.

sehr gewalttätig und innerhalb dieses Gebietes wurden allein in Älvdalens besparingsskog nicht weniger als ca. 85,000 Bäume beschädigt. Die Ziffer ist sicher zu niedrig, da nur direkt vermessene Bäume angegeben wurden, die in diesem Windbruch bis zum Jahr 1920 aufgearbeitet waren und eine ganze Menge von Bäumen beschädigt wurde, die ökonomisch nicht verwertbar waren. (Nach L. MATTSSON 1918 und A. LEO HOLMGREN 1921).

Der grösste und gewaltsamste Effekt wird natürlich von Wirbelstürmen erzielt und die zerstörende Wirkung, die ein solcher Sturm auf wachsenden Wald ausüben kann, kann manchmal jedem Versuch einer Beschreibung trotzen. Während ein gewöhnlicher, einfach gerichteter Sturm nur die schwächsten Bäume fällt und die gefällten Stämme alle in einer Richtung zu liegen kommen, demoliert ein Zyklon das bedeckte Gebiet vollständig. Die gestürzten Bäume und abgebrochenen Wipfel bilden ein

absonderlich zusammengedrehtes, herumgeworfenes und regelloses Wirrwarr, anscheinend ohne die geringste Ordnung, und ohne Axt oder anderes Werkzeug ein solches, vom Sturm verwüstetes Gebiet zu passieren, ist oftmals völlig unmöglich. Doch kann man manchmal selbst in diesem Wirrwarr ein gewisses System finden. Es zeigt sich nämlich, dass an der Seite, an welcher die Rotation des Zyklon und seine allgemeine Bewegungsrichtung zusammenfielen, die Bäume in der Bahn des Zyklon vorwärts gefällt sind, und oftmals liegen dort die Bäume parallel mit dem Boden. Auf der anderen Seite, wo Rotations- und Bewegungsrichtung einander entgegengesetzt waren, können die Bäume entweder nach hinten oder nach innen gefällt liegen und oft hat auf dieser Seite ein Teil der Bäume dem Angriff des Windes trotzen können, so dass sie, zwar mit abgebrochenem Wipfel, dennoch grösstenteils noch aufrecht stehen. Dieser Unterschied zwischen der linken und rechten Seite einer Zyklonbahn tritt natürlich nur dann auf, wenn die Bewegungsgeschwindigkeit des Zyklon sehr gross war.

Oft kann eine ganze Reihe verschiedener Ursachen zusammenwirken, wie starke Schneebelastung im Verein mit Sturm, wobei die Bäume leicht am Wipfel abgebrochen oder gefällt werden. Während des schneereichen Winters 1914—15 traf das oft an vielen Stellen in Mittelschweden ein und ich habe selbst in einigen Fällen der Hergang beobachtet. So traf in dem genannten Winter auf Kolmården eine grosse Anzahl von Wipfelbrüchen ein und dabei handelte es sich ausschliesslich um hohen, dichten Fichtenbestand. Der Schnee war so stark festgefroren, dass er trotz des Aufschlages auf den Boden nicht gänzlich von den Zweigen abfiel, sondern dass dieselben auch dann noch fest mit Eis zusammengekittet waren. Unter solchen Umständen müssen natürlich Windfang und Gewicht der Krone wesentlich grösser werden als in gewöhnlichen Fällen und schliesslich werden die Schwankungen so gross, dass die Grenze der Haltbarkeit überschritten wird. Der Bruch trat in einer Höhe von $\frac{2}{3}$ — $\frac{4}{5}$ der Stammhöhe, von der Wurzel gerechnet, ein.

Viele sind der Ansicht, dass der Schneebruch bei ruhigem Wetter eintritt, Andere wieder meinen, dass es hauptsächlich während eines Sturmes geschieht. In derselben Weise sind auch die Ansichten über die Beschaffenheit des Bestandes in hohem Grade divergierend, indem Einige meinen, dass die Anzahl der Schneebrüche in dichten Beständen prozentuell grösser und in schütterten Beständen am kleinsten wird. Andere behaupten das gerade Gegenteil und dazu gibt es noch eine dritte Ansicht, nach der Alter und Dichte des Bestandes und dergleichen keine Rolle spielen sollen.

Gewiss findet man, wenn auch sehr spärlich, in der Litteratur erwähnte Beispiele, die sowohl zu Gunsten der einen als der anderen Ansicht gedeutet werden können, doch sagt HESSELMAN (1912, p. 169 f.), dass es ohne Rücksicht darauf, welche Bedeutung Durchforstungen und dergleichen haben können, doch deutlich ist, dass kürzlich durchforstete Bestände, die

sich den neuen Beanspruchungen, die für die einzelnen Bäume entstehen können, noch nicht angepasst haben, dem Schneebruch mehr ausgesetzt sind als ältere, einheitliche Bestände. HESSELMAN (l. c., p. 167) hebt auch hervor, dass trotz des Eintreffens von Schneebruch bei ruhigem Wetter doch in gewissen Fällen ein Zusammenwirken von Schneebelastung und Winddruck stattfindet und dass man aus der Fallrichtung der Stämme schliessen kann, inwieferne die Schneebelastung für sich allein oder in Vereinigung mit Sturm den Schneebruch verursacht hat. Liegen die Stämme ohne Ordnung zu einander, so ist es deutlich, dass die Schneebelastung allein den Schneebruch hervorgerufen hat, sind indess einzelne Stämme gebrochen (und ist der Fall der meisten Wipfel nach derselben Seite eingetreten), so kann man annehmen, dass der Wind eine gewisse Rolle gespielt hat.

Dass der Wind bei den Schneebrüchen eine bedeutenden Rolle spielt, wird auch von SCHOTTE (1916 a, p. 893) hervorgehoben, welcher sagt: »Als eine Zusammenfassung der Schadenwirkungen des Mai-Unwetters 1915 kann hervorgehoben werden, dass die Fichte am meisten gelitten hat, dann die Birke und die Kiefer, während die Lärche unbedeutender beschädigt wurde. Von den Fichten litt hauptsächlich mittelalter Bestand (Alter 40—70 Jahre), und fast ausschliesslich durch Wipfelbruch. Freier stehende Bäume mit gut ausgebildeten Kronen wurden am leichtesten abgebrochen. Deshalb haben die stärker durchforsteten, gut gepflegten Bestände am meisten gelitten. Dass dies der Fall war, muss einer kombinierten Wirkung von Schnee und Sturm zugeschrieben werden. Der feuchte Schnee fand in den dichten, üppigen Kronen den besten Halt, diese wurden mit Hilfe des Sturmes sogleich geknickt.»

Eine Beeinflussung von ähnlicher Art wie durch Schneebelastung entsteht auch durch intensive Eistrinden- und Raureifbildung und wenn die Bäume auf diese Weise ungleichmässig belastet werden, so können sie auch leicht vom Sturm gefällt werden. Die Eistrindenbildung kann auch ein Absterben der Knospen und Sprossen an der Windseite zur Folge haben und sicherlich darf man an vielen Stellen im Raureif und der Eistrindenbildung einen der Faktoren sehen, die den Waldbäumen besonders in Gebieten nahe der Waldgrenze und für kalte, feuchte Winde exponierten Lagen ihr Gepräge aufdrücken.

Zu den mehr indirekten Wirkungen, die der Wind auf die Vegetation ausübt, gehört die auch für den Laien leicht wahrnehmbare Beeinflussung des Waldes an solchen Stellen, wo der Wind sprühendes Salzwasser mit sich führt und dadurch auf die Knospen und Sprossen der Windseite zerstörend einwirkt, wenn man nun von den Wirkungen absieht, die z. B. durch den Flugsand veranlasst werden. In Fig. 43 von der Westküste Gotlands in der Nähe des Högklint zeigt sich die Wirkung der mit Salz gesättigten Luft auf Fichtenwald. Es kann hier wohl kaum von einer direkten Austrocknung der Knospen die Rede sein, da die Luft an der Windseite vom Meere her kommt und somit mit Feuchtigkeit recht

gesättigt sein muss, sondern sicher spielt hier das sprühende Salzwasser eine bedeutende Rolle. Weiters ist zu bemerken, dass die Bäume an den Strändern unserer grossen Binnenseen, z. B. Vänern und Vättern, wo der Ansturm des Windes auch sehr gross sein kann, nicht diesen Typus zeigen.

Über die Bedeutung des sprühenden Salzwassers für die Vegetation haben eine ganze Reihe von Verfassern geschrieben, die alle die grosse ökologische Bedeutung dieser Erscheinung betonen.

Von Hallands Väderö sagt AMILON (1914, pp. 396—398) anlässlich der grossen Bedeutung des Windes und des Gepräges, das er der Vegetation dieser Insel aufdrückt, dass das sprühende Salzwasser hier eine ge-



Verf. phot.

Fig. 42. Durch Wind und Bespritzung mit Salzwasser einseitig ausgebildete Föhre.
N von Halmstad.

wisse Rolle spielt und sagt weiter, dass zur Sommerszeit die Blätter mancher Bäume braun und gleichsam lederartig vertrocknet sind. Er erwähnt auch die Wirkung des sprühenden Salzwassers auf Nadelbäume und berichtet, dass in Ängelholms kronopark die Bergkiefer dadurch getötet wurde.

Von der Insel Jungfrun im Kalmarsund hat DU RIETZ (1921) ähnliche Beispiele mitgeteilt und sagt (l. c., p. 170), dass die Wirkung des sprühenden Salzwassers vermutlich durch das osmotische Aussaugen von Wasser durch die Epidermis der Blätter zu Stande kommt und dass er deshalb das sprühende Salzwasser bei der Ausbildung der charakteristischen Baumformen der Meeresküste als sehr bedeutungsvoll ansieht.

Dass das sprühende Salzwasser vom Winde sehr weit geführt werden kann und das in solchen Quantitäten, dass es sogar durch den Geschmack

nachweisbar ist, habe ich im Sommer 1924 auf einer Reise im westlichen Schweden beobachtet. Durch einen Schullehrer bei Vallda im nördlichen Halland hörte ich, dass sich trotz des bedeutenden Abstandes vom Meer (WNW zu W: 4,5 km; W: 6 km) nach starken Weststürmen die gegen die Windseite gerichteten Fenster mit einer Salzkruste überzogen, welche die Aussicht behinderte. Nachdem meine Aufmerksamkeit auf das fragliche Phänomen gerichtet worden war, untersuchte ich, so oft sich die Gelegenheit dazu bot, die Fensterscheiben an vielen Orten, und an besonders günstigen Stellen, wo die Fenster nicht gewaschen oder gegen Regen



Verf. phot.

Fig. 43. Durch Sturm und Bespritzung mit Seewasser beeinflusster Fichtenwald, Högklint, Gotland.

geschützt waren, liess sich noch in einem Abstand von bis zu 7 km von der Küste ein deutlicher Salzgeschmack feststellen. Besonders Scheunen- und Stallfenster waren dankbare Studienobjekte, aber auch Kirchenfenster, die selten gereinigt werden, zeigten einen unzweideutigen Salzgeschmack. Bei starkem westlichen Sturm wird der Salzschaum zerrissen und fliegt als feiner Nebel landeinwärts, so dass man oft verspürt, wie ein derartiger Nebel wirklich salzig schmeckt. In gewissen Teilen von Halland ist die Salztrift so intensiv, dass oft Schäden an elektrischen Leitungen und Häusern entstehen. So treten an den grossen Kraftleitungen in Halland oft dadurch Linienbrüche ein, dass sich auf dem Kupferdrähten Salz absetzt und sie abfrisst. Eines der bemerkenswertesten Beispiele dafür, dass Gebäude, besonders solche aus Ziegel, vom Salz angegriffen werden, bietet

Snöstorps Kirche 3 km westlich von Halmstad. Als ich mich 1924 dort befand, war man damit beschäftigt die Ziegelmauern aussen und innen mit Ölfarbe zu malen, da nach Aussage eines an der Kirche beschäftigten Malers das Salz die Mauern derart beschädigt hatte, dass die Malereien an der Innenseite der westlichen Mauer durch das auswitternde Salz verdorben waren und diese Mauer beständig feucht war.

Wenn nun die Salztrift während eines Sturmes so bedeutend ist und da sie tatsächlich auf eine ganze Menge von Pflanzen im Übrigen eine bedeutende Wirkung ausübt, ist auch anzunehmen, dass ihre Wirkung auf die Waldbäume bedeutend sein muss.

In diesem Zusammenhang muss ich auch eine Beobachtung erwähnen, die ich an einer sehr grossen Zahl von Stellen gemacht habe, dass nämlich gewisse vereinzelte Individuen von äusseren Faktoren auf keine Weise beeinflusst waren, sondern regelmässiges Wachstum zeigten, wodurch sie sich von der unterdrückten und verkümmerten Wachstumsform der umherstehenden sehr unterschieden. Es ist das umso bemerkenswerter, als Exposition, Bodenbeschaffenheit und alles andere auf vollkommen einheitliche Lokalverhältnisse deuteten, und die Ursache kann sicher nur die sein, dass gewisse einzelne Individuen von z. B. Kiefer oder Fichte, die an einer gewissen Stelle wachsen, sich im Besitz solcher, vielleicht rein physiologischer, Eigenschaften zeigen, die sie gegen gewisse äussere Faktoren widerstandskräftig und gegen gewisse Einflüsse resistent machen, so dass sie zum Unterschied von ihren Nachbarn derselben Art keine nachweisbare Beschädigung erlitten haben.

Eine andere Art indirekter Schädigung ist die, welche durch Rauch und giftige Gase verursacht wird und die sich an der Seite der Entstehungsstelle dieser Gase besonders geltend macht, die für die vorherrschenden Winde die Leeseite ist. Natürlicher Weise werden wohl alle anderen Gewächse auch davon beeinflusst, aber so auffallend kränklich und siech, wie z. B. ein Wald werden kann, vorausgesetzt, dass er nicht völlig abstirbt, wirkt die Kräuter- und Grasvegetation an diesen Stellen auf jeden Fall nicht. Besonders verheerend wirkt in diesem Fall schweflige Säure, die z. B. in der Natur in Solfataren oder künstlich durch die Verbrennung von Steinkohle oder bei Kiesbrennung entsteht. Ein für Schweden klassisches Beispiel bietet in dieser Hinsicht die Gegend um die Gruben von Falun, wo man gegen Ende des Dezenniums 1860–70 eine sehr intensive Kiesbrennung betrieb, welche den Wald so gut wie völlig zerstörte. Dasselbe tritt auch an der Leeseite von Chlorat- und Karbidfabriken sowie einer ganzen Anzahl anderer chemischer Industriezentra ein, wo z. B. freies Chlor, Chlorwasserstoff usw. gebildet wird und betreffs der grossen Fabrikszentra in Mitteleuropa z. B. in Belgien, im Ruhrgebiet usw. weiss man, dass die Vegetation an der Seite dieser Rauchzentra, welche für die vorherrschenden Winde die Leeseite darstellt, äusserst kümmerlich und dürrig ist.

In diesen letzteren Fällen ist indess nicht der Wind selbst die zerstörende Kraft, sondern die vom Winde in fester, flüssiger oder gasförmiger Form mitgeführten Verunreinigungen.

Die Einwirkung des Windes auf die Vegetation in den Kampfgebieten der Wälder.

Es ist klar, dass man einen um so stärkeren Eindruck von dem Kampf des Waldes um das Dasein erhält, je weiter gegen die äussere Grenze der eigentlichen Waldgebiete man kommt und je mehr man sich dem Gebiet nähert, wo der Wald und seine äussersten Vorposten aufhören. Hier herrscht ein ununterbrochener Kampf zwischen verschiedenen Faktoren, die um die Oberherrschaft streiten und dieser Streit muss auf alle Weise seinen Stempel auf die Vegetation drücken, die der Rauheit des Klimas trotzend die Bedingungen zu finden sucht, die es ihr gestatten, die gebotenen Lebensmöglichkeiten auszunutzen und, wenn möglich, ihr Ausbreitungsgebiet auf das Äusserste zu vermehren.

Eines der ausgezeichnetsten Werke, die über die Vegetation in diesen düsteren Trakten geschrieben wurden, das einen sehr reichen Schatz von Beobachtungen und Fakta enthält und das mit Recht als klassisch betrachtet werden muss, ist MIDDENDORFFS »Reise in den äussersten Norden und Osten Sibiriens« und wenn auch eine ganze Reihe von Annahmen aus den Gesichtspunkten der Gegenwart als veraltet und vielleicht unrichtig zu betrachten ist, so verringert das doch keineswegs den Wert der von einem ausserordentlichen Scharfblick zeugenden Beobachtungen.

Von sehr grosser Bedeutung für das Verständnis der eigenartigen Verhältnisse, die sich in den von ihm bereisten Gebieten geltend machen, sind seine Studien über die Vegetation, und da besonders die Waldbäume und deren Verhältnis zu den klimatischen Faktoren und unter diesen besonders dem Wind. Zu wiederholten Malen betont MIDDENDORFF die Bedeutung des Windes für Aussehen und Form der Bäume, Orientierung des Waldes in Lee und Verlauf der Waldgrenze mit Rücksicht auf Exponierung und dergleichen. MIDDENDORFF fasst auch die Bedeutung des Bestandes richtig auf und zeigt die offenbare Verschiedenheit zwischen den Individuen im Saum und den dahinter stehenden. Er führt in die Litteratur den Begriff »Spalierbaum« ein und schreibt ihre Entstehung der Einwirkung des Windes zu. Er spricht auch von der verheerenden Wirkung der Stürme auf früher mit Wald bedeckte Gebiete und erwähnt »durch Stürme verwüstete Waldungen« l. c., p. 642). Er meint, dass die Ursache für die verödende Kraft der Winde in der Feuchtigkeit und Kälte liegt, welche die Meereswinde mit sich führen und sagt (l. c., p. 677): »Die vernichtende Gewalt der nasskalten Seewinde, die vom Eismeere blasen, ist so absolut, dass der gesamte äusserste Küstensaum des Eismeeres, so weit er flach da liegt, durchgängig unbewaldet ist«.

Es ist zu bemerken, dass MIDDENDORFF die »nasskalten Seewinde« als die eigentliche Ursache betrachtet. Es kann das möglicher Weise ein Lapsus des grossen Forschers sein, denn er sagt selbst mehrere Male, dass die Luft in dem arktischen Sibirien im Allgemeinen sehr trocken ist (cf. KIHLMAN 1890—92, pp. 77 f., wo KIHLMAN auf eine Diskussion der Theorien MIDDENDORFFS eingeht).

MIDDENDORFF hat auch wertvolle Beobachtungen über die Widerstandskraft der verschiedenen Baumarten gemacht und führt an mehreren Stellen seiner Arbeit die Formveränderungen, denen sie unterworfen sind, und ihr Vorkommen im Verhältnis zum Lee usw. an. Es geht aus seiner Arbeit ohne Weiteres hervor, dass er den Wind als einen der aller wichtigsten Faktoren betrachtet, die auf das Vorkommen und die Verbreitung des Waldes einwirken. Er sagt auch (p. 779): »Wir sind wiederholt bemüht gewesen (p. 592, 601, 676, 683) die über alle Erwartung grosse Bedeutung, welche der Windschutz im Hochnorden für den Baumwuchs hat, hervorzuheben«. (Von mir gesperrt.)

Nach MIDDENDORFFS in vieler Beziehung bahnbrechender Arbeit, einer Arbeit, die auch heute noch eine der hauptsächlichsten Quellen sein dürfte, die überhaupt in einer europäischen Sprache über Nord- und Ostsibirien existiert, haben mehrere Forscher, nachdem einmal die Aufmerksamkeit auf die fraglichen Erscheinungen gelenkt war, die Abhängigkeit der Vegetation von der Windexponierung und dergleichen eingehend studiert. Eine der bekannteren und zweifellos eine der eingehendsten Arbeiten, die während späterer Zeit erschienen sind, ist KIHLMANS berühmte Arbeit »Pflanzenbiologische Studien aus Russisch Lappland«, die zusammen mit MIDDENDORFFS Arbeit für das Verständnis der Naturverhältnisse in den polaren Teilen von Eurasien sehr ergiebig ist. KIHLMAN polemisiert allerdings in vieler Beziehung gegen MIDDENDORFF und stellt sich u. a. betreffs der Weise der Einwirkung des Windes auf einen teilweise anderen Standpunkt. So ist er der Ansicht, dass MIDDENDORFF die Verhältnisse, die er während eines Sommers, wo die Feuchtigkeit grösser ist als im Winter, wahrgenommen, etwas zu sehr verallgemeinert hat und nicht die notwendige Rücksicht auf die physiologische Austrocknung der Pflanzen genommen hat, die im Winter tatsächlich eintritt, wenn das Wasser friert und die Pflanzen nicht vermittle der Wurzeln das Wasser ersetzen können, das sie durch die Verdunstung durch die Blätter abgeben, eine Verdunstung, die sich bei grösseren Windgeschwindigkeiten vermehren muss. Da die Windgeschwindigkeit von der Topographie in hohem Grade abhängig ist, wird die Vegetation an exponierten Stellen auf das Lee beschränkt, wo die Verdunstung geringer ist, d. h. in Senken u. dgl. (cf. KIHLMAN l. c., pp. 79—80).

Seine Auffassung von der Art und Weise, in welcher die Vegetation von den Atmosphäriken abhängig ist, formuliert KIHLMAN l. c., p. 79) folgender Massen: »Nicht die mechanische Kraft des Windes an sich, nicht die Kälte, nicht der Salzgehalt oder die

Feuchtigkeit der Atmosphäre ist es, die dem Walde seine Schranken setzt, sondern hauptsächlich die Monate lang dauernde ununterbrochene Austrocknung der jungen Triebe zu einer Jahreszeit, die jede Ersetzung des verdunsteten Wassers unmöglich macht». (Betreffs der übrigen verschiedenen Theorien über die Weise, auf welche der Wind nach der Ansicht verschiedener Forscher auf die Baumvegetation verheerend einwirken sollte, siehe KIHLMAN l. c., pp. 61—86).

Dass KIHLMAN die Bedeutung der mechanischen Kraft des Windes selbst, seines Salzgehaltes und seiner Feuchtigkeit verneint und nur die Austrocknung ausser der rein abbiegenden Kraft des Windes als das Wesentliche setzen will, wenn es sich um die Wirkung auf die Baumvegetation handelt, erscheint mir eine gewisse Übertreibung zu enthalten. Denn wenn er auch in dem Fall buchstäblich recht hat, dass nicht der Wind an und für sich das Wesentliche ist, so hat doch der Wind eine äusserst reiche Sammlung von Agentien zur Verfügung, mit denen er eine zerstörende Wirkung ausüben kann. Wenn wir nun von solchen Erscheinungen, wie dem direkten Niederbrechen der ganzen Bäume oder Teilen derselben durch den Sturm absehen, so zeigt doch die Erfahrung, dass der Windeffekt oft ein solcher ist, dass seine Ursache kaum dem Wind oder allein dessen austrocknender Wirkung an und für sich zugeschrieben werden kann, sondern dass man mit Notwendigkeit zu weiteren, mitwirkenden Ursachen greifen muss, um das Resultat zu erhalten, das tatsächlich vorhanden ist.

FRIES erwähnt aus den nördlichsten Teilen von Schweden mit den durch KIHLMAN aus Kola erwähnten völlig identische Bildungen, z. B. Tischbirken, und berichtet an mehreren Stellen von wirklicher Erosion an aufragenden Sprossen u. dgl.

Betreffs der Tischbirken ist es ein eigenartiger Umstand, dass über den eigentliche Tisch in gewissen Fällen ziemlich hohe, an der Spitze sich verzweigende Sprossen aufragen. Bezüglich der Ursache dieses Verhaltens, dass einzelne Sprossen auf diese Weise über das Tischniveau reichen können, sagt FRIES (1913, p. 187), dass ihm KIHLMANS Theorie auch in diesem Fall anwendbar erscheint. Auf Seite 184 sagt FRIES (l. c.): »Wären nun diese Laubbüschel sehr selten, so brauchte man zu keiner andern Erklärung zu greifen, als dass einzelne Zweige durch einen Zufall den Winterstürmen widerstehen konnte. Dies ist indessen nicht der Fall, sondern an gewissen Orten sind diese emporragenden Laubbüschel so normale Erscheinungen, dass sie im hohen Grade dazu beitragen, dem Birkenwalde ein charakteristisches Aussehen zu verleihen. Wir müssen darum einen allgemeineren und weniger willkürlichen Grund suchen als den Zufall. O. KIHLMAN (1890—92) hat in seiner Abhandlung über die Vegetation auf der Halbinsel Kola auf gewisse Eigentümlichkeiten der Verzweigungsart der Bäume an der polaren Waldgrenze aufmerksam gemacht. Es ist dort eine allgemeine Regel, dass die Verzweigung erst in

recht bedeutender Höhe über der Schneedecke beginnt. Seine Erklärung hierfür ist, dass an ruhigen Wintertagen die Schneemassen auf die untere Luftschicht kühlend einwirken, wodurch die Einwirkung der Sonnenstrahlen auf die direkt an die Schneeflecke grenzende Luftschicht fast ganz aufgehoben wird, während die höheren Luftschichten etwas erwärmt werden. Die kühlende Wirkung der Schneefläche erstreckt sich indessen praktisch nur 0—1,5 m über die Schneedecke. — — — Ragt nun ein dunkler Birkenzweig an einem sonnigen Wintertag etwa 2 m über die Schneedecke empor, so muss er durch die direkte Insolation überall ungefähr gleich stark erwärmt werden. Infolge des relativen Temperaturunterschieds zwischen dem Zweig auf dem Niveau von 0 bis 1,5 m und dem Niveau von 1,5 bis 2 m einerseits und der Luft andererseits muss die Verdunstung in unmittelbarer Nähe der Schneedecke stärker sein, als weiter oben. Noch schärfer wird dieser Gegensatz durch die Reflexion der Schneefläche, was KIHLMAN übersehen hat. Die Schicht unter 1,5 m ist daher für die Entwicklung der Zweige bedeutend ungünstiger, als die höheren Luftschichten. Diese Erklärung, die KIHLMAN (1890—92, p. 83—84) für die Verzweigung der Bäume an der polaren Waldgrenze überhaupt gegeben hat, gilt auch bis zu einem gewissen Grade für die ganze Regio subalpina der skandinavischen Gebirgsgegenden.

Aber auch als Erklärung für den mit besenartigen zerstreuten Laubbüschelel versehenen tischartig ausgebildeten Birkenwald scheint sie mir anwendbar. . . . Der Unterschied zwischen den gewöhnlichen Birkenwaldtypen und den mit Laubbüschelel versehenen Birkenwäldern ist eigentlich bloss graduell, insofern, als die im Winter gefährliche Luftschicht unmittelbar über der Schneefläche im letztern Fall stärker akzentuiert ist. . . . Schliesslich kann der Vollständigkeit halber hervorgehoben werden, dass Tischbirkenwälder, in denen die Laubbüschelel vollkommen fehlen, in den höchsten Teilen der Regio subalpina auf sanft abfallendem Boden keineswegs selten sind. In diesem Fall ist es selbstverständlich, dass die kritische Luftschicht dem Hinaufreichen von einzelnen Zweigen über dieselbe ein unüberwindbares Hindernis in den Weg legte.»

Es gewinnt somit auf jeden Fall den Anschein, dass man es »einem Zufall« zuzuschreiben hat, wenn gewisse Sprossen trotz dieser gefährlichen Luftschicht ein höheres Niveau zu erreichen vermögen. Die von KIHLMAN gemachte und später von FRIES angenommene und erweiterte Annahme, dass es die Temperaturverhältnisse an der Schneeoberfläche und unmittelbar über derselben seien, die auf die über den Schnee aufragenden Sprossen tödend einwirken, erscheint mir nicht zu genügen, denn die Temperaturverhältnisse allein erklären auf keine Weise das sporadische Vorkommen von einzelnen, sich über das eigentliche Tischniveau erhebenden Sprossen.

Es scheint mir, dass man zu einem anderen Erklärungsgrund, wenn nicht an Stelle der Kältetheorie, so doch zu ihrer Ergänzung greifen muss, um eine plausible Erklärung des Phänomens zu erhalten.

Eine der wichtigsten Ursachen dürfte gerade die Schneetrift und die rein mechanische Beeinflussung während der Schneestürme durch treibende Stücke von Harscht und dergleichen sein, der jeder über den Schnee aufragende Spross mit Naturnotwendigkeit ausgesetzt sein muss. Dass dies der Fall ist und dass eine bedeutende Erosion dieser Art auftreten muss, geht doch unzweideutig aus FRIES' Abhandlung hervor, am besten vielleicht auf S. 182, wo er deutlich ausspricht, dass es sich so verhält: »Natürlich hat der Wind infolge der exponierten Lage Gelegenheit auf die Ausbildung der Birken einzuwirken, weshalb mehr oder weniger strauchförmige Bäume, in extremen Fällen sogar Spalierbirken entstehen«, und auf S. 183 (l. c.), wo er die Tischbirken beschreibt, sagt er: »Der mehr oder weniger dichte Birkenwald besteht aus 1,5—2 m hohen, von der Wurzel an verzweigten strauchartigen Birken, deren Zweigspitzen in der Ebene der alten Schneedecke vollständig abgeschnitten sind. Oft sind diese Birken ausgesprochen strauchförmig, ohne Spur eines Hauptstamms. Zuweilen ist jedoch ein solcher vorhanden und in einzelnen Fällen erreicht er eine bedeutende Länge. Die Ursache hierfür liegt in der variierenden Dicke der Schneedecke (vgl. Fig. 52). Die Zweige des Vorjahres, die über die Schneedecke emporragen, sind abgestorben und entlaubt. Es ist also deutlich, dass der Schnee auf die Birken einen günstigen Einfluss ausübt, indem er sie gegen die austrocknende Wirkung der Stürme schützt und dass Schnee und Wind die Faktoren sind, die die typische Tischform der Birken hervorrufen.« (Die Sperrungen sind von mir.)

FRIES verweist übrigens in seiner Arbeit auf eine Figur (No. 51, l. c., p. 184), wo es deutlich gesagt ist, dass die aufragenden Sprossen stark winderodiert sind: »Zu beachten sind die Büschel, die erst oberhalb eines gewissen Niveaus über dem Tisch belaubt sind; weiter sind die trockenen Zweige ganz oberhalb der Tischebene zu beachten; sie sind durch Schneeschleifung während des Winters stark erodiert«.

Dass gewisse Sprossen die Fähigkeit haben, emporzudringen und zu einem höheren Niveau auszuwachsen, kann durch die Kältetheorie nicht zur Genüge erklärt werden, da vermutlich auch diese während des Winters erfrieren würden, was zu einer Verkrüppelung mit darauf folgender Bildung von Seitensprossen führen würde, die dann ihrerseits getötet werden würden.

Es zeigt sich, wenigstens in allen von mir untersuchten Fällen, dass an jedem Tisch, der mit derartigen aufragenden und Jahr für Jahr lebenden Ruten versehen ist, dieselben niemals am Rande der Luvseite des Tisches auftreten, sondern entweder mehr zentral oder an der Leeseite. Schon dieser Umstand spricht für die Berechtigung der Erosionstheorie. Weiters ist zu bemerken, dass derartige Sprossen an Plätzen mit besseren Leeverhältnissen am zahlreichsten sind, während sie gegen die obere Grenze des Waldgebietes zu, d. h. wo die Exposition gegen die Winde grösser ist, ganz und gar fehlen. Dies wurde auch von FRIES beobach-

tet, welcher sagt (l. c., p. 187), dass »Tischbirkenwälder, in denen die Laubbüschel vollkommen fehlen, in den höchsten Teilen der Regio subalpina auf sanft abfallendem Boden keineswegs selten sind«. Nun ist im Auge zu behalten, dass man in den höchsten Teilen der Regio subalpina, die nach und nach in die Regio alpina übergehen, aller Wahrscheinlichkeit nach mit einer sehr kräftigen Winderosion zu rechnen hat, da ja gerade in der Regio alpina die Winderosion vielleicht ihren grössten Umfang erreicht, was aus Aussprüchen von SERNANDER (1905, pp. 82—83), FRIES (1913, pp. 251—257) u. A. hervorgeht.

FRIES sagt (1913, p. 251): »Mehrere Autoren haben die grosse Rolle hervorgehoben, die die Winderosion gegenwärtig innerhalb der Regio alpina in Bezug auf die Physiognomie der Vegetation spielt. SERNANDERS Schilderungen der Vegetation innerhalb der Regio alpina in Härjedalen stimmen in allen Teilen zu den Verhältnissen in Torne Lappmark.»

FRIES teilt weiters in seiner Abhandlung eine Menge von Beobachtungen über Deflationsphänomene in verschiedenen Teile von Torne Lappmark mit (FRIES l. c., pp. 190, 193, 202, 205, 207, 209 und 251—257), aus denen ohne Weiteres die Bedeutung der Winderosion für die Vegetation hervorgeht. Von sehr grossem Interesse ist in diesem Zusammenhang der Einfluss, den die Winde in gewissen Teilen des Gebietes, z. B. im Tal Kumma eno, auf die Birkenwaldvegetation ausüben (l. c., p. 254): »In windgeschützten Mulden wachsen hier baumförmige Birken, aber die den Winden ausgesetzten Teile sind vollkommen waldlos».

Bei den Gelegenheiten, bei denen ich selbst Tischbirken beobachtet und deren Aussehen näher untersucht habe, konnte ich nichts anderes finden, als dass ihr ganzer allgemeiner Habitus auf eine vom Wind geschaffene Erosionsform deutet.

In der Nähe von Húsavik in Nordisland traf ich im Sommer 1923 in einer Ravine einen Bestand von Tischbirken an, die sämtlich sehr regelmässig ausgebildet waren. Das Niveau des Tisches fiel vollkommen mit dem des die Ravine umgebenden Geländes zusammen, oberhalb dieses Niveaus waren die Sprossen plötzlich abgeschnitten. Hie und da fand sich im Gezweige der Birken verschiedenes Triftmaterial, hauptsächlich organischen Ursprungs wie Grashalme u. dgl., aber auch Sand und Staub, angesammelt. Sämtliche Sprossen, die den Rand der Ravine erreichten, waren stark erodiert und zerzaust, so dass sie am ehesten Pinseln glichen. Hier kann absolut nicht die Rede davon sein, dass etwas anderes als intensive Schnee- und Staubtrift den Tischbirkentypus geschaffen hat. Ganz in der Nähe fanden sich in einer anderen, jetzt ausgetrockneten Ravine ein paar Tischbirken, die zwei Tische hatten, einen unteren etwa 1,2 m über den Bodenoberfläche und einen oberen etwa 3 m über derselben. Der Niveauunterschied zwischen den beiden Tischen betrug somit ca. 1,8 m.

Es zeigte sich, dass die Höhe des unteren Tisches mit einem Absatz im Boden der Ravine selbst zusammenfiel, die Höhe des oberen Tisches

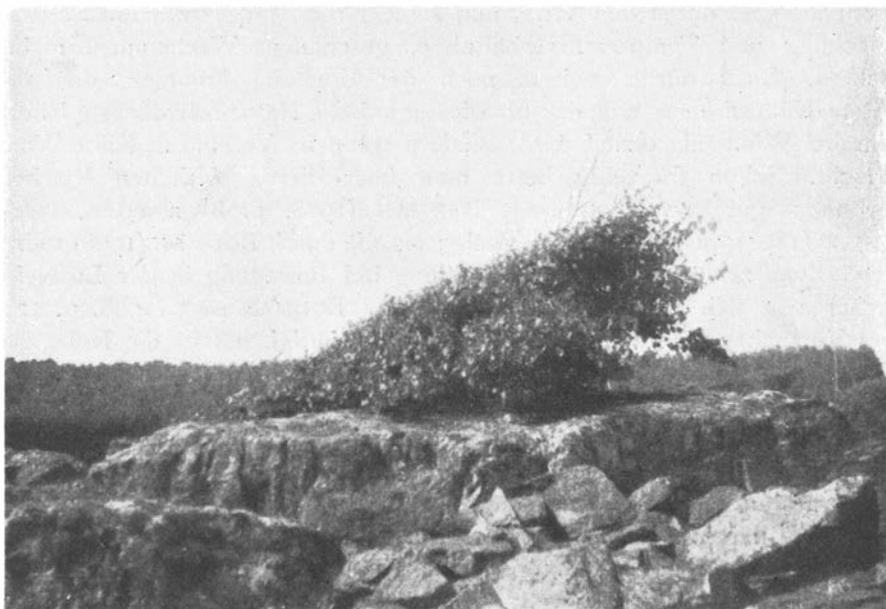
mit dem Oberrand der Ravine selbst. Dass die beschriebene Lage der beiden Tische durch den Wind bedingt war, ging auch aus der verschiedenen Orientierung der Erosion der beiden Tische hervor. Der vorherrschende Wind blies schräg gegen die Ravine. Ein Teil dieses Windes wurde indess gegen die Höhen auf der anderen Seite der Ravine deflektiert, was zu einem Wind Anlass gab, der in einer Art schraubenförmiger Spirale durch die Ravine selbst blies. Es war das sehr deutlich an allen übrigen Erosionszeugen zu sehen. Während auf den umgebenden Höhen der vorherrschende Wind aus SSW zu S kam, war die in der Ravine herrschende Hauptwindrichtung mit der Ravine vollkommen parallel oder in einem weiten Bogen gegen N und NW, d. h. der Wind variierte von S nach SE. An der Stelle, an welcher die Beobachtung vorgenommen wurde, und an den Tischbirken selbst war die Erosionsrichtung an dem oberen Tisch SSW, aber an dem unteren fast SE. Somit kommt hier an genau derselben Stelle und in einem Höhenunterschied von kaum zwei Metern ein Unterschied in der Hauptwindrichtung von nicht weniger als ca. 65 à 67° vor.

In diesem Fall ist es absolut ausgeschlossen, dass irgend eine kalte Luftschicht dieses Resultat erzielt hat. Vor Allem ist das Klima Islands mit seinen milden Wintern nicht geeignet, eine solche Luftschichte zu erzeugen. Dagegen ist es möglich, dass in der Ravine zusammengetriebener Schnee zur Ausbildung des unteren Tisches beigetragen hat. Bezüglich des oberen Tisches kann ich mir das nicht leicht vorstellen; in diesem Falle hätte eine längs der Kante der Ravine hängende Wehe den Raum zwischen dem Baum und der Wand der Ravine gut ausfüllen müssen, ohne dagegen den unteren Tisch zu bedecken.

An ähnlichen Plätzen in den skandinavischen Gebirgen dürfte man aller Wahrscheinlichkeit nach identische Bildungen antreffen können. Es wäre daher von grossem Interesse, wenn in diesem Fall genaue Aufzeichnungen über die Gestaltung der umgebenden Topographie gemacht würden.

Ich will erwähnen, dass ich in Südschweden den Tischbirken identische Bildungen angetroffen habe, und gebe hier eine Bild davon. Allerdings ist der Tisch nicht horizontal, sondern schief abgestutzt. Das Interessante aber ist, dass die schräg abgestutzte Fläche vollkommen einer Diskontinuitätsfläche nach den Stromlinien der Luft entspricht. Indess ist es vereinzelt Sprossen gelungen, sich über die eigentliche Fläche des Tisches zu erheben, genau auf die gleiche Weise, wie es bei den Tischbirken in den tieferen Teilen der Gebirge der Fall ist. Es ist zu beachten, dass an dem hier abgebildeten Exemplare keinerlei Erosionserscheinungen, wie Abnutzung und dergl., vorhanden waren. Trotzdem dürfte doch niemand daran zweifeln, dass es eine Windform der Birke ist, die das Bild darstellt. Dass die Fläche des Tisches schief abgestutzt ist, beruht nur darauf, dass hier die Stromlinien der Luft auf diese Weise verlaufen. Im Lee von Steinen oder in Klüften finden sich an demselben Platz vollkommen horizontal abgestutzte Exemplare.

Die Tischbirken kommen in der Regel an windigen und exponierten Plätzen vor. Je weiter man gegen die windoffenen Weiten der Regio alpina kommt, desto seltener werden aufragende Sprossen ausgebildet und je mehr man sich der eigentlichen Birkenwaldregion nähert, desto reicher treten sie auf, während die eigentlichen Tischtypen im selben Mass verschwinden und schliesslich nur vereinzelt, relativ hochstämmige Individuen auftreten. Der Unterschied ist nur gradueller Natur. Die Ausbildung einer kalten Luftschicht, z. B. auf einem schwach abfallenden Berghang im Gebiet zwischen der Regio alpina und der Regio subalpina, scheint nicht stärker zu sein als anderswo. Während des Winters besteht in den



Verf. phot.

Fig. 44. Windgepeitschte Birken vom Tischbirkentypus. Halland.

skandinavischen Gebirgen wie auch an vielen anderen Örtlichkeiten mit niedriger Wintertemperatur oft die Tatsache, dass die kalte Luft nach und nach gegen die tiefsten Teile der Landschaft, d. h. in Senken u. dgl. hinabzieht, so dass die Gipfel in der Regel eine verhältnismässig höhere Temperatur erhalten als die Senken. So sagt HAMBERG (1901, p. 263): »Somit sinkt während strenger Kälte zur Winterszeit die Temperatur auf den hohen Gipfeln sicherlich nicht so tief wie in den Tälern. Zu dieser Jahreszeit tritt somit — wenigstens zeitweise und in den der Erdoberfläche zunächst belegenden 2000 m der Luft — eine mit der Höhe steigende Temperatur auf, ein Verhalten, das dem im Sommer gewöhnlichen entgegengesetzt ist. — — — Die dem Boden zunächst liegende Luft wird somit kälter, da aber um die Gipfel unaufhörlich neue Luft zuströmt,

sinkt die Temperatur dort nie so tief wie im Tal, wo die kalte und schwere Luft liegen bleibt und unaufhörlich Wärme verliert.» (Vergl. weitere Aussprüche über dasselbe Thema bei HAMBERG 1907, p. 22).

Wenn somit das Kältemaximum nicht auf den höheren Hängen eines Berges liegt, sondern in den tieferen Tälern, kann es offenbar nicht die Kälte sein, welche die grössere Frequenz der Tischbirken auf den höheren Niveaus bewirkt. Dagegen weiss man, dass die Windfrequenz grösser wird je höher man hinaufkommt, wofür auch die zahlreichen Erosionsercheinungen in der Regio alpina zeugen. Vereinigt man diese Fakta mit der Tatsache, dass auch die Tischbirken für eine Erosion durch treibenden Schnee oder andere Agentia Zeugnis ablegen, so muss man die Tischbirken als eine durch den Wind und seine Arbeit im Verein mit Schneebedeckung und Temperaturverhältnissen geschaffene Wachstumsform betrachten. Dazu dürfte weiters noch der Umstand kommen, dass die grösste Kälte Wirkung und der für die organische Natur schädlichste Effekt nicht bei Windstille erzielt wird, sondern wenn im Verein mit Kälte Wind herrscht. Schon frühzeitig hatte man über dieses Verhalten Klarheit gewonnen und sowohl die von BODMAN (1908, p. 8) zitierten, durch LESLIE (1804) ausgeführten Versuche, als die durch BODMAN (1908) selbst angestellten zeigen, dass die Abkühlung bei Bewegung in der Luft viel rascher vor sich geht als bei Windstille. BODMAN sagt (1908, p. 12): »Bei Versuchen während grosser Windgeschwindigkeit tritt die Rolle des Windes auf die prägnanteste Weise hervor. Ein Wärmeverlust, welcher das Fünffache, Sechsfache, ja sogar Achtfache von dem ist, welcher bei Windstille berechnet wird, ist zu verzeichnen«, und aus seine Aussprüchen geht auch hervor, dass die härtesten Tage nicht durch die niedrigsten Temperaturen gekennzeichnet sind, sondern »Der Typus ist relativ geringe Kälte mit harter, manchmal orkanartiger Windgeschwindigkeit« (l. c., p. 15). (Vergl. auch BODMAN 1904).

Gestützt darauf und soweit die Abkühlung für das Gedeihen und die Lebensmöglichkeiten gewisser Pflanzen eine vitale Rolle spielen, dürfte man zur Annahme berechtigt sein, dass in den polaren und subpolaren Gebieten sowie in den Hochgebirgen nicht die niedrigen Temperaturminima an und für sich entscheidend sind, sondern niedrige Temperatur in Vereinigung mit starkem Wind, welche die effektivste Abkühlung und Verdunstung bewirkt, so dass die über den Schnee aufragenden Sprossen und Knospen einen Kälte- und Dürretod sterben, ein physiologischer Prozess, der mit der durch die Schneetrift verursachten, rein mechanischen Einwirkung Hand in Hand geht.

Die Erfahrung hat gezeigt, dass sich der Schnee während des Winters in den höheren Teilen unserer Gebirgsgebiete selten in Ruhe befindet, sondern so gut wie ununterbrochen in Bewegung ist. Nur in dem eigentlichen Waldgebiet mit seinen sehr effektiven Leeverhältnissen liegt er still. Oben in den höheren und freieren Teilen geht so gut wie un-

ausgesetzt eine Umlagerung des Schnees vor sich. Zuerst tritt eine allgemeine Verteilung gemäss den herrschenden Leeverhältnissen ein, wie HAMBERG (1907, p. 7) gezeigt hat und dann eine allgemeine Umlagerung wenigstens der obersten Schichten. In unseren Hochgebirgsgebieten herrschen während des Winters ähnliche Verhältnisse wie in den arktischen Trakten, und HAMBERG sagt auch (1907, p. 26): »Die lappländischen Gebirge haben im Winter ein durchaus hocharktisches Gepräge.« Mit Rücksicht auf das, was oben über die Schneetrift in den arktischen Gebieten gesagt wurde und mit Rücksicht auf die eben zitierten und andere Aussprüche von HAMBERG in seiner grundlegenden Arbeit »Die Eigenschaften der Schneedecke in den lappländischen Gebirgen«, die in diesem Fall als autoritativ betrachtet werden muss, scheint man mir in Analogie mit den Vorgängen in den Polargebieten zu der Annahme berechtigt zu sein, dass sich der lose Schnee selten in Ruhe befindet, sondern von den Windstössen in verschiedenen Richtungen geführt wird.

Doch nicht nur der lose Schnee, sondern auch Stücke von Harscht können manchmal von kräftigeren Windstössen in Bewegung gesetzt und vom Wind mit grosser Geschwindigkeit über den Boden hin geschleudert werden. Vom Sarekgebirge erwähnt HAMBERG (1907, p. 21) Beispiele dafür: »Bei einigermaßen kräftigem Wind zerbrach die Kruste sogar in scheibenförmige Stücke, die wie ein Haufen dünner Glasscheiben mit einem klirrenden Geräusch über die Schneeoberfläche hinweggefegt wurden«. Viele Beobachtungen sowohl in der Antarktis als in der Arktis zeugen davon, wie in dieser Arbeit schon früher hervorgehoben wurde, dass dieses Verhalten in den Polartrakten keineswegs ungewöhnlich ist. So berichtet RYDER (1895, pp. 78—79), dass während härterer Sturmperioden auch der harte Schnee aufgerissen wird, und aus HARTZ' lebensvollen Schilderungen (1895) aus denselben Gebieten, Ostgrönland, erhält man auch einen gewissen Begriff von der Effektivität der Angriffe der Winde. Und so gut wie ausnahmslos trifft man in der Reiselitteratur der verschiedenen Polarexpeditionen Aussprüche über den oft ausserordentlich starken Effekt, den der treibende Schnee ausübt. Oft findet man erwähnt, dass die Schneetrift Zelte und Kleider durchscheuert, wie Gebäude, Werkzeuge, Pfähle u. dgl. von ihr korrodiert wurden, und andere Aussprüche, die von der Wirkung zeugen, die ein unaufhörlicher, fast nie versiegender Strom von treibendem Schnee auszuüben vermag. Es ist jedoch zu beachten, dass, wie früher angeführt, nicht allein der feine Schneestaub vom Wind in Bewegung gesetzt wird. Bei den starken Stürmen, die gerade in den Hochgebirgen und in anderen Teilen der Kampfregion der Wälder herrschen, wo sie manchmal mit unerhörter Stärke und Gewalt auftreten, wird nicht nur der lose Schnee mit dem Wind mitgerissen, sondern, wie von vielen Forschern beobachtet wurde, auch ganze Stücke hartgefrorenen Schnees. Es ist klar, dass in diesem Falle diese intensive Schneetrift von sowohl Feinschnee als grösseren Stücken mit Naturnotwendigkeit auf jeden Gegenstand, der im Wege steht, korrodierend und abnutzend wirken

muss. Auf jeden Fall muss eine derartige Einwirkung ihre Spur in dem Aussehen der Pflanzen hinterlassen.

Wenn MAWSON erzählt, dass die Korrosion von nur »a few days« durch den treibenden Schnee so gross war, dass nicht nur die Farbe der Kisten abgeschliffen, sondern auch das harte, trockene Holz bis zu einer Tiefe von $\frac{1}{8}$ " ausskulptiert wurde, liegt nichts Unwahrscheinliches in der Annahme, dass die Schneestürme z. B. in unseren Gebirgsgegenden durch treibenden Schnee und Eis wenige mm dicke Gerten sollen abschleifen können, die durch die Schneeoberfläche aufragen. Zugegeben, dass die Stürme und die Sturmfrequenz in unseren Gebirgen nicht dieselbe ist wie z. B. in Adalie Land, so dürfte doch der Effekt, der hier während eines ganzen sturmerfüllten Winters erreicht wird, gewiss nicht weit hinter dem zurückstehen, der während »a few days« Sturm in Adalie Land erzielt werden kann.

Auf den meilenweiten Tundren an den Küsten des Eismeeres, wo die Gewalt der Stürme vielleicht am grössten wird, muss das Wort Kampfregion betreffs der Waldvegetation vielleicht zu seiner grössten und weitesten Anwendung kommen. Dort muss es der Wald selbst sein, der den Windbrecher bildet, der Wald, der sich selbst das erforderliche Lee schafft, um leben zu können.

Auf dieselbe Weise verhält es sich im Grossen und Ganzen mit dem isländischen Wald. Es zeigt sich allerdings, dass dieser nunmehr auf die Leestellen lokalisiert ist, d. h. etwa auf dieselbe Weise wie der Wald bei Kumma eno in Torne Lappmark. (Vergl. den oben zitierten Ausspruch von FRIES 1913, p. 254). Es zeigt sich aber auch, dass er manchmal über dieselben hinausreicht, und sicherlich muss der Wald in früheren Zeiten grosse Gebiete bedeckt haben, die unter den gegenwärtigen Bedingungen keinen Wald tragen können. Ich glaube, dass man sich die Entstehung dieses Waldes auf folgende Weise vorstellen muss. An den Leestellen sind gewisse Kernbestände aufgewachsen. Um diese Kerne hat sich dann der Bestand nach und nach erweitert. Der Bestand als Ganzes schuf die Leebedingungen, die notwendig waren, damit er weiterwachsen konnte. Nach und nach breiteten sich die Waldflecken aus und schliesslich bildeten die verstreuten Bestände zusammenhängende Wälder, die jetzt der Sage und der Tradition angehören. Die Existenz des Bestandes hing von dessen ungebrochener Einheitsfront ab. War diese einmal gebrochen, sei es durch Verschulden des Menschen, sei es durch Naturkatastrophen, so bekam auch der Wind Macht über den Wald und heute noch sieht man, wie an solchen Stellen der Wind nach und nach die Erde unter den Wurzeln wegfeht und die Bäume getötet und vom Sturm gefällt werden (cf. PRYTZ 1905, p. 74). Deshalb muss man auch auf Island, wenn man Wald zu pflanzen versuchen will, an den Leestellen beginnen und ihn sich dann nach Massgabe seiner eigenen Kraft erweitern lassen.

Winderosion auf Mooren und Sumpfboden.

Die Winderosion auf Torf- und Sumpfboden kann oft sehr grosse Ausdehnung erreichen und auf solchem Boden, sowohl betreffs der Zusammensetzung und Natur des Pflanzenbestandes selbst, als auch der Drainierungs- und anderen Verhältnisse sehr grosse Veränderungen hervorrufen.

Auf einem frei wachsenden Hochmoor, z. B. einem Sphagnum-Moor, findet der Wind unter normalen Verhältnissen wohl kaum bedeutendere Angriffspunkte und vermag in der Regel keine bedeutendere Wirkung zu erzielen.

Wohl wenige Pflanzen sind für jede Art von mechanischer Einwirkung so empfindlich wie gerade *Sphagnum* und die unbedeutendste Ursache kann hier auf die Torfoberfläche zerstörend einwirken, so dass die Spitzen der Pflanzen getötet werden. Das Stampfen von Tieren, die vielleicht das Moor nur passiert haben, die Losung von Tieren, das Nachtlager eines so kleinen Tieres wie z. B. eines Hasen, verwelkte Blätter, die sich auf der Oberfläche angesammelt haben, usw. sind hinreichend, damit das Spitzenwachstum der Sphagnumpflanzen unterbrochen werden und ein sog. »Schlenke« entstehen soll. Auf dem Grunde derselben stellt sich dann eine Algen- oder Flechtenvegetation ein, die eine Zeit lang lebt, so lange, bis wieder neue Sphagna einwandern und die Oberhand gewinnen, und ein Profil durch ein Torfmoor zeigt, wie Schlenken und Polster einander in ständigem Wechsel abgelöst haben.

Während schneeloser Winter wird die Zerstörung der Pflanzen öfter ermöglicht als während schneereicher Winter. Die gefrorenen Sprossen, die von keiner Schneedecke geschützt werden, brechen leicht ab und wenn einmal eine oberflächliche Beschädigung stattgefunden hat, kann während trockener und warmer Sommer, wenn das Moor leicht eintrocknet, die Deflation beginnen.

Diese Deflation wird natürlich im höchsten Grad durch eine vermehrte Drainierung eines Moores erleichtert, die durch die eine oder andere Ursache bewirkt worden ist.

Diese Drainierung kann entweder natürlich oder künstlich herbeigeführt sein. So führt MELIN in seiner Arbeit über die Vegetation der norrländischen Moore (1917) an mehreren Stellen Fälle von offener Selbstdrainierung an und ich will aus seiner sehr umfassenden und gründlichen Arbeit Folgendes anführen (l. c., pp. 198 f.): »Selbstdrainierungen werden hie und da in der Litteratur erwähnt. Schon LORENZ (1858, s. 235) sagt, dass er in Salzburg ziemlich oft kleinere Partien von Hochwald auf bis zu 20 Fuss tiefem Moorboden gefunden hat, wo die Fichte ein untadeliges Wachstum besass. Was unser Land betrifft, so wurden sie gefunden u. a. in Norrbotten von NILSSON (1897, s. 14), in Uppland von TOLF (1900 a., s. 18), in Närke (Skagerhultsmossen) von v. POST (v. POST und SERNAN-

DER 1910, s. 13), in Dalarne von Amanuens J. V. ERIKSSON (mündliche Mitteilung). In unserem östlichen Nachbarland, von wo sie z. B. durch CAJANDER (1911 b; 1913, s. 80 ff.) und TANTTU (1915, s. 186 ff.) beschrieben werden, scheinen sie nicht selten zu sein...

In meinem Untersuchungsgebiet sind Selbstdrainierungen ziemlich gewöhnlich. Sie nehmen meist relativ kleine Flächen ein, c:a 1 Hektar oder weniger, manchmal doch ein Areal von mehreren Hektar.» Dem kann hinzugefügt werden, dass MELIN weitere Fälle von Selbstdrainierung auf Moorboden erwähnt (l. c., pp. 204, 207, 213—216, 220—221, 224—230, 233—236, 249 und 251), was zeigt, dass das Vorkommen sehr gewöhnlich ist.

Selbst habe ich an vielen Stellen Deflationsphänomene auf selbstdrainiertem Moorboden beobachtet. Besonders werden die Kanten der Rinnsale oder andere entblösste Partien leicht angegriffen und es können auf diese Weise recht bedeutende Wunden entstehen. Sogar auf Island mit seinem feuchten und regnerischen Klima trifft man oft von der Winderosion aufgerissene Stellen auf Torfmooren an und in der Litteratur wird das Phänomen, wie oben gesagt, recht oft erwähnt und beschrieben.

Von Schottland berichtet z. B. G. SAMUELSSON (1910), dass die Winderosion auf den Torfmooren eine sehr bedeutende Rolle spielt, und sagt bezüglich dieser Denudation (l. c., p. 247): »As far as I could see, this denudation is principally due to the erosion of the wind, only to a rather small extent to that of the water«, und er teilt (l. c., p. 248, Figs. 9—10) ein paar sehr instruktive Bilder von winderodiertem Moorboden mit. (Vergl. auch LEWIS 1904, I: p. 326; II: pp. 273, 278, 280, 282).

Auch von unseren eigenen Torfmooren erwähnen mehrere Verfasser Deflation auf derartigem Boden. So sagt FRIES (1913, p. 249), dass die Deflation so weit fortschreiten kann, dass schliesslich ein See gebildet wird, und er geht so weit, dass er die meisten kleinen Seen im Sumpfggebiet als zweifellos durch Deflation entstanden ansieht. Er sagt nämlich: »Haben die Moore ihre ganze direkte Entwicklung durchlaufen und schliesslich in der Ausbildung flechtenreicher Assoziationen den Kulminationspunkt erreicht, so tritt früher oder später eine kräftige Deflation ein. Aus einem oder dem andern Grund, nämlich infolge von Frostphänomenen, starker Trockenheit, starker Abweidung oder Zertretung durch Rentiere u. dgl., tritt nämlich ein Bersten der krustenartigen Flechtendecke ein und der Wind bekommt die Möglichkeit, seine Zerstörungsarbeit zu verrichten. Nach und nach wird der Torf blossgelegt und schliesslich verschwindet die Flechtendecke vollständig. Der bedeutend weniger widerstandsfähige Torf wird in Staubform weggeweht und es entstehen in dem Moor vegetationsfreie Depressionen. Diese füllen sich mit Wasser, und infolge der Tätigkeit des Windes entstehen mehr oder weniger wassergefüllte Deflationsschlenken. ... Die meisten kleinen Moorseen innerhalb des Gebiets haben zweifellos ursprünglich der Deflation ihre Entstehung zu verdanken. (Von mir gesperrt.) Sichere Beweise

hierfür liefert, ... oft die eigentümliche Lage der subfossilen Kieferstämme in den Mooren. Innerhalb des Birkenwaldes sind es durchwegs die Hochmoore, die der Deflation ausgesetzt sind; auch innerhalb der Regio alpina ist dies im Allgemeinen der Fall, doch kommen hier, ... auch auf der Oberfläche alter Niedermoore, die jetzt von flechtenreichen Heideserieassoziationen bedeckt sind, Deflationsphänomene vor.»

Ähnliche Beobachtungen wurden auch durch eine Mehrzahl anderer Verfasser gemacht, wie z. B. DU RIETZ (1921 a, pp. 8, 9, 12), BJÖRKMAN, G. und DU RIETZ, G. EINAR (1923, pp. 128—132), H. OSWALD (mündliche Mitteilung), C. ALM (desgleichen) u. A.

Es ist offenbar, dass die Deflation nicht nur eine mechanische Zerstörung der Oberfläche des Moores bewirkt und nach und nach zur Folge haben kann, dass dieselbe ihren Charakter völlig verändert. Erosions- und Vegetationsphasen lösen einander in eine gewissen Aufeinanderfolge ab und es spielt somit der Wind in der Entwicklungsgeschichte eines Moores eine bedeutende Rolle (cf. FRIES 1913, MELIN 1917 und DU RIETZ 1921 a). Auf künstlich drainierten Gebieten von Moor- oder Sumpfstypus ist die Drainierung natürlich viel effektiver als auf selbstdrainiertem Boden, da von derselben grössere zusammenhängende Gebiete und vielleicht auch in grössere Tiefe betroffen werden. Auf jeden Fall ist die Veränderung von mehr tiefgreifender Natur und hat als solche weiter gehende Folgen.

Es gibt eine Menge von Beispielen dafür, dass stark drainierte Sumpf- und Moorböden einer weitgehenden Deflation ausgesetzt waren, ich will hier jedoch nur einige von mir selbst beobachtete und untersuchte Fälle erwähnen.

Man hat in unserem Land an vielen Stellen eine grosse Anzahl grösserer und kleinerer Torfmoore teils zu Kulturzwecken, teils zur Brenntorfgewinnung trocken gelegt und natürlich den Boden ausser der direkten Trockenlegung durch die Entnahme von Torf, Wegräumen von Baumstümpfen usw. einer ganzen Reihe anderer Beeinflussungen unterworfen. Auf diese Weise hat der Wind hier und dort geeignete Angriffspunkte gefunden und in besonders exponierten Lagen, wo der Boden aus nicht fibrösem, feinverteilter Torf bestand, konnte der Wind tiefe Gruben und Rinnen im Boden erzeugen. So habe ich an solchen Stellen mehrmals Deflationswunden gefunden, wo der Wind während eines einzigen Sommers bis zu mehreren Kubikmetern Staub weggeführt hatte.

Eines der interessantesten Beispiele für die Wirkung des Windes auf trocken gelegtem Moorboden erbietet Mästermyr auf Gotland. Im Sommer 1922 unternahm ich eine Reise nach Gotland, um zu untersuchen, inwiefern die Winderosion dort wirklich eine Rolle spielt und als Resultat der damals gemachten Beobachtungen kann ich mit Bestimmtheit sagen, dass dieselbe dort von grosser Bedeutung ist.

Auf Mästermyr fanden sich vor der Abzapfung eine Reihe kleiner Seen oder Tümpel, dort »Träsk« genannt. Dieselben waren ziemlich

seicht und die grösste Tiefe sämtlicher Seen dürfte wohl kaum mehr als 2 m erreicht haben. Die mittlere Tiefe dürfte bedeutend geringer gewesen sein. Nach der Drainierung, die durch Anlegung eines 2—5 m tiefen und ca. 10 m breiten Ablaufkanales geschah, in welchen alle die etwa metertiefen Abzugsgräben mündeten, die das ganze Moor in einem ausgedehnten Netz überspannen, wurden die Seeböden trocken gelegt. Der Kalkschlamm, aus dem diese Seeböden bestehen, ist jedoch so arm an Nahrung, dass keine Vegetation in diesen Depressionen gedeihen konnte und dieselben nun als kahle und sterile Blößen im Boden daliegen. Da keine Vegeta-



Verf. phot.

Fig. 45. Der grosse Drainierungskanal, Mästermyr, Gotland, von Staubwehen beinahe gefüllt.

tion vorhanden ist, welche die losen Partikel binden kann, gibt es nichts, was die Winde hindert, hier ihr Spiel zu treiben, weshalb die Deflation sehr umfassend ist, besonders da die Bodenbeschaffenheit von der Art ist, dass die losen Partikel leicht vom Winde erfasst werden können. Der Kalkschlamm bildet beim Trocknungsprozess kleine, blättrige Körner von der Grösse etwa eines Stecknadelkopfes und nach längeren Perioden von Trockenheit oder wärmerem Wetter bildet sich im Boden ein reich verzweigtes Netz von recht tiefen und etwa zentimeterbreiten Sprüngen. Auch wenn ein recht starker Regen fällt, versinkt das Wasser recht schnell in den Boden, der schon einige Stunden nach dem Regen ziemlich trocken sein kann. Gewiss wird der Boden unmittelbar nach dem Regen schlüpfrig und »schmierig«, wenn aber nur etwas stärkerer Wind herrscht, kann

er bald so trocken werden, dass der Staub aufwirbeln und vor stärkeren Windstößen einhertreiben kann, was ich selbst zur Zeit meines dortigen Besuches beobachten konnte. Als ich anlangte, kam ein recht starker Regenschauer, der meine Kleider vollkommen durchnässte und die Wege so schlüpfrig machte, dass es recht schwer war, auf dem Fahrrad an Ort und Stelle zu gelangen. Indess wehte es recht stark (ca. 10—12 m/s) und nach einer Stunde sah ich, wie einzelne Körner des Kalkschlammes losgerissen und vom Winde fortgeführt wurden. Nach einer Weile wurde der Wind weitaus stärker und nach etwa 1 1/2 Stunden brach ein wirk-



Verf. phot.

Fig. 46. Mästermyr, Gotland. Beim Eintreten von Dürre und Wind wird der trockene Kalkschlamm von den alten Seeböden aufgewirbelt und lagert sich auf der Leeseite über der Vegetation ab, so dass dieselbe nach und nach getötet und die Deflationswunde in der Richtung des Windes erweitert wird.

licher Staubsturm los, der den Schlamm in solchen Massen aufwirbelte, dass man kaum die Konturen des ca. 2 km vom Beobachtungsplatz entfernten Waldes sehen konnte. Es ist zu bemerken, dass es sich nicht um eine lokale Trombe oder dergleichen handelte, sondern um einen gewöhnlichen Sturm, der in breiter Front über das Moor einherfegte. Es trieb so viel Staub in der Luft, dass ich mich veranlasst sah, meine Instrumente einzupacken und als meine Kleider trocken geworden waren, konnte ich aus ihnen bedeutende Quantitäten von Kalkstaub klopfen.

Durch diese Erosion wird nach und nach das Areal der Depressionen vergrößert. Man findet, dass dies besonders in den östlichen und nord-

östlichen Teilen jeder solchen Depression der Fall ist. Die Erosion ist hier am stärksten und aus den Resten von aufragendem Rhizom und dergleichen, welche die Erosion blossgelegt hat, ersieht man, wie die Vegetationsdecke sukzessiv aufgebrochen und der Schlamm weggeführt wurde. Dieser Vorgang wird durch den Umstand erleichtert, dass ein grosser Teil des Materiales in unmittelbarer Nähe des Erosionsgebietes auf dem Gras abgelagert wird, so dass dieses getötet wird, worauf die Erosion ihre Arbeit leichter ausführen kann. Den Steinen, Pfahlresten u. dgl., die sich auf den Deflationsgebieten befinden, kann man entnehmen, dass über das ganze Gebiet eine Totalvertiefung von bis zu $\frac{1}{4}$, ja sogar $\frac{1}{2}$ m stattgefunden hat. Gleichzeitig damit geht eine Oberflächenvergrösserung des Deflationsgebietes vor sich. Zeit und andere Umstände erlaubten leider keine Detailkartierung des Gebietes, wodurch eine zukünftige Untersuchung der sukzessiv veränderten Konfiguration eine Auffassung von der Grössenordnung des Erosionsbetrages geben könnte, der aber, wie aus den beigefügten Bildern (Fig. 45—46) hervorgeht, sehr bedeutend ist.

Nach den auf dieser Reise nach Gotland gemachten Beobachtungen und beim Vergleich mit ähnlichen Beobachtungen auf Öland während desselben Sommers halte ich es für nicht unwahrscheinlich, dass eine derartige Deflation von Moorboden auf Kalkunterlage zur Entstehung von Alvarbildungen Veranlassung geben kann. Selbstdrainierung kann auf viele Weisen zustandekommen und besonders in dem von Vertikalspalten durchsetzten Ortocerenkalk kann man sich die Entstehung von wirklichen Karstphänomenen vorstellen, die wirklich sowohl auf Gotland als auf Öland keineswegs selten sind. Wenn dann durch eine derartige Drainierung die Beschaffenheit des Bodens so verändert ist, dass er nicht mehr die frühere Moorvegetation tragen kann, setzt die Deflation ein und dauert an, solange überhaupt loses Material vorhanden ist, das fortgeführt werden kann.¹

Es ist merkwürdig, dass Fälle von Winderosion auf Sumpf- und Moorboden in der älteren Litteratur so äussert selten erwähnt werden, obwohl das Phänomen so gewöhnlich ist. In allen Beschreibungen zu den Blättern unserer geologischen Karten fehlt fast vollständig jede Erwähnung; nur wirklicher Flugsand kann in vereinzelt Fällen und dann gewöhnlich in den neueren Beschreibungen erwähnt sein. Der einzige Fall, in dem es mir geglückt ist, einen deutlichen Ausspruch über Deflation auf Moorboden zu finden, ist in »Några ord till upplysning om bladets 'Rådanefors'» von V. KARLSSON und A. H. WAHLQVIST (S. G. U. Ser. Aa, Nr 39 Sthlm 1870, p. 35):

¹ Es sei in diesem Zusammenhang erwähnt, dass LINNÉ (1751, p. 240) einen Ausspruch macht, in dem er, gewiss in einem anderen Zusammenhang, dieselbe Vermutung äussert, wo er sagt, man möge die Erde durch Anpflanzungen schützen, damit sie nicht fortgeblasen werde, denn »So ist es mit Ölands Alfvar und vielen anderen Orten geschehen».

»Skåkeruds Moor oder wie es allgemeiner heisst, 'Svarte mossen' in Erikstads Kirchspiel zeichnet sich durch seine schwarze, aller Vegetation bare Oberfläche aus. Der Torf ist dort nämlich zu oberst völlig verfault und so zusammenhanglos, dass er ein schwarzes Pulver bildet, das in trockenem Zustand leicht vom Wind umhergeführt wird. Dadurch hat sich ein Wall dieser Erde an der Ostseite des Moores gebildet, wo sich ein Hain von Laubbäumen befindet.« Das ist, wie gesagt, der einzige Fall, in dem es mir gelungen ist, in der älteren schwedischen Litteratur eine bestimmte Aussage zu finden. Entweder hat man dem Phänomen keine Aufmerksamkeit geschenkt oder man hat die Erscheinung für so unbedeutend oder vielleicht für so selbstverständlich gehalten, dass man nie ein Wort darüber verloren hat.

Es zeigt sich somit, dass jede Art der Drainierung von Moor- und Sumpfböden mit daraus folgender Destruktion der Bodenvegetation für die Entstehung einer oft sehr kräftigen Winderosion des Bodens äusserst günstig ist, wiewohl letztere unter gewissen Umständen einen ausserordentlich verhängnisvollen Umfang annehmen kann.

Niemand bezweifelt wohl, dass eine vorsichtig ausgeführte Drainierung, die nicht zu einer katastrophalen Zerstörung der schützenden Bodenbedecke und einer allzu grossen Zerteilung des Torfes führt, von grossem ökonomischem Nutzen sein kann. Durch eine mässige Senkung des Grundwasserspiegels kann einer wertvolleren Vegetation die Möglichkeit zum Einwandern geboten werden. Der Wald zeigt stärkeres Wachstum und der Zuwachs, der früher durch die Versumpfung des Bodens gehemmt wurde, wird bedeutend vermehrt. Ebenso können auf einem mässig drainierten Sumpfboden gute und bedeutend reichere Weiden entstehen als früher, indem auf den früher mit Moos und Flechten sowie vereinzelt Polstern von Riedgras bewachsenen Boden Gras und andere Wiesenpflanzen einwandern.

Wird diese Drainierung zu stark, dann kann sie leicht schädlich werden, und es ist oft schwer zu entscheiden, wo die Grenze zwischen Nutzen und Schaden überschritten wird. Wird die Drainierung zu stark, so kann der Fall eintreten, dass sich eine Deflation in grossem Umfang einstellt, die zu vollständiger Verwüstung des Bodens führen kann, d. h. die Wirkung der Drainierung wird aus dem Gesichtspunkt der Nützlichkeit rein negativer Art.

Als ich im Sommer 1922 Mästermyr besuchte und fand, wie gewaltig die Deflation an diesem Ort gewirkt hatte, fasste ich meine Ansichten über die Gefahr einer allzu kräftigen Drainierung in folgenden Worten zusammen (SAMUELSSON 1924): »Wenn man für die Erosion solche Werte findet, ist es klar, dass man mit einer gewissen Skepsis auf die grossen Drainierungsunternehmungen von Moor- und Sumpfböden für Zwecke der Bebauung sieht, die mit bedeutenden Kosten in verschiedenen Teilen unseres Landes durchgeführt wurden, und es kann sich die Frage stellen, ob es überhaupt klug war, ohne Weiteres einen grossen Teil unserer,

den Wasserabfluss regulierenden Sumpfböden abzapfen, wie das nun geschehen ist» (l. c., p. 85). Gerade mit Rücksicht auf die offenbare Deflationsgefahr auf stark drainiertem Sumpfboden sage ich weiter (l. c., p. 94 f.): »Wenn es möglich ist, unser Waldareal auf irgend eine Weise zu vergrössern oder den Wald durch Drainierung von versumpftem, mit dahinsiehendem Wald bewachsenem Boden in einen besseren Zustand zu bringen, so gewinnen wir viel damit und es besteht kein Zweifel, dass wir daraus grösseren Gewinn ziehen würden, als aus Versuchen, eine zufällige Vergrösserung unseres Ackerareales zu erzwingen, indem wir Boden unter den Pflug legen, der früher oder später aufgegeben werden wird.

Drainiere die norrländischen Moore, aber lasse Wald dort wachsen und lasse diese Drainierung mit Vorsicht und Einsicht geschehen! Die Moore sind nicht nur schädliche Sümpfe, sondern auch in anderer Beziehung von gewisser Bedeutung. Sie sind als regulierende Wasserbehälter von grosser Bedeutung und verhindern ein allzu katastrophales Abrinnen der Schmelzwasser und sie besitzen ausserdem ein sehr grosse klimatologische Bedeutung, die nicht unterschätzt werden darf. Mästermyr ist ein trauriges Beispiel dafür, wohin die zu gründliche Drainierung eines Moores führen kann, und ist der ökonomische Gewinn aus diesem Unternehmen gering oder keiner, so wachsen doch die verursachten Schäden von Jahr zu Jahr. Die Erosion setzt fort, so lange überhaupt loses Material zum Fortführen vorhanden ist; sie dauert an, bis die Gräben ausgefüllt sind und der Kanal eingeebnet ist.»

Es sollte sich bald zeigen, dass das in Erfüllung ging, was ich damals in Aussicht stellte. Schon im Herbst 1925 sagt SERNANDER (1925) anlässlich eines Ansuchens von Gotlands Provinzialregierung an die staatliche Arbeitslosenkommision, des Inhaltes, dass eine Reinigung der Drainierungskanäle auf Mästermyr auf Staatskosten bewilligt werden möge:

»Die beiden Auseinandersetzungen von Seiten des staatlichen Ackerbauingenieurs und des Provinzförsters, die dem Ansuchen der Provinzialregierung beiliegen, bestätigen die Resultate Samuelssons im Detail und erweitern noch seine traurigen Schlussätze... Die durch Samuelsson vorausgesagte Überraschung ist nun nach drei Jahren so weit fortgeschritten, dass die Allgemeinheit, in diesem Fall Provinzialregierung, eingreifen und die traurige Wirklichkeit offen darlegen musste.

Die Geschichte des Mästermyr ist ein vollständiges Schulbeispiel dafür, wie man ohne hinreichende Kenntnis der eben geschilderten Naturverhältnisse (Deflation usw.) eine Drainierung unternommen und auch Misserfolg gehabt hat.»

Zu dieser Klasse von Drainierungen, die unternommen wurden, um versumpftem Grund Boden für die Zwecke des Ackerbaues oder andere Zwecke abzugewinnen, gehören auch die grossen Drainierungs- und Senkungsunternehmen von Seen, die vielerorts, oft mit sehr deprimierendem Resultat, zur Anwendung gekommen sind. Unser Land erbieht allzu

viele Beispiele dafür, als dass nicht ein jeder die Gefahr einer allzu planlosen Drainierung in dieser Hinsicht sollte einsehen können und aus eigener Erfahrung weiss ich, dass mehr oder minder planlose »Seeregulierungen« zur vollständigen Verwüstung von, zusammen genommen, sehr grossen Arealen früher fruchtbaren Bodens geführt haben. Da ich sicher in einem anderen Zusammenhang Gelegenheit haben werde diese Frage zu behandeln, will ich mich nur darauf beschränken, einen Ausspruch aus unserem Nachbarland Norwegen anzuführen, der zeigt, dass auch dort Seesenkungen zu Sandflug mit daraus folgender Zerstörung der Vegetation Veranlassung gegeben haben. Der Ausspruch findet sich in »Tidskrift for Skogsbrug«, 1912, p. 60 und lautet: »Sandflug auf Jæderen. Von Klepp wird gemeldet, dass die letzten Winterstürme einen ausserordentlich starken Sandflug von dem abgezapften Orrevand über den ringsum liegenden Boden bewirkt haben. Der Sand hat sich wie grosse Schneewehen über die Wege gelegt. Grosser Schaden wurde dadurch angerichtet und wenn man nicht bald umfassende Flugsand-Bindungen vornimmt, wird sich die Abzapfung des Orrevand als von recht zweifelhaftem Vorteil erweisen.«

Winderosion auf Kulturboden.

Unter Kulturboden versteht man im Allgemeinen solchen Boden, dessen Beschaffenheit durch die Einwirkung des Menschen in der einen oder anderen Weise und zu einem gewissen, bestimmten Zweck verändert wurde, und zwar in der Weise, dass der Mensch durch seinen Eingriff in die Naturverhältnisse die Bodenbeschaffenheit in solcher Richtung geändert hat, dass dieselbe günstiger geworden ist und einer aus ökonomischen Gesichtspunkten wertvolleren Vegetation als der an dem Platz im Naturzustand vorhandenen bessere Möglichkeiten bietet. Beispiele für diese Art von Eingriffen sind Drainierung von versumpftem Waldboden, so dass ein wachstumskräftigerer und wertvollerer Wald entstehen kann, die Drainierung von Sumpfboden um bessere Weide zu erzielen und die Drainierung und Rodung von wüstem Boden zu dem Zweck, um auf ihm ökonomisch wichtigere Gewächse zu ziehen usw.

Man dürfte indess genötigt sein, den Begriff Kulturboden einer gewissen Beschränkung zu unterwerfen, denn sonst könnte man vielleicht in Konsequenz mit der oben ausgesprochenen Definition gezwungen sein, z. B. auch die Teile der nordamerikanischen Prairien oder die afrikanischen Savannen, die alljährlich von den Eingeborenen abgebrannt werden, als eine Art Kulturboden zu betrachten. Es dürfte daher Veranlassung vorliegen, die Begrenzung einzuführen, dass man unter Kulturboden Gebiete versteht, deren Bodenbeschaffenheit so verändert worden ist, dass die entstehende Vegetation andere Charakterzüge erhält und gegenüber der früher vorhandenen eine permanente Verschiedenheit zeigt. Ein Boden, der

wenn auch zu ökonomischen Zwecken, periodisch abgebrannt wird, erhält doch kaum ein solches Gepräge, dass er mit wirklicher Berechtigung als Kulturboden bezeichnet werden kann, selbst wenn in den Zusammensetzung der Flora und selbst in dem obersten Bodenlager eine gewisse Veränderung sollte nachgewiesen werden können.

Weiters sollten dann die künstlich drainierten Wald- und Sumpfbiete, die nicht im eigentlichen Sinne des Wortes bebaut und ausser der Drainierung selbst nicht weiter bearbeitet werden, dem Kulturboden zugerechnet werden, da ich aber den Unterschied zwischen den selbstdrainierten und den künstlich trockengelegten Böden nur als einen graduellen betrachte, habe ich sie in demselben Abschnitt vereinigt, weshalb ich im Folgenden mit Kulturboden den Ackerboden und anderen unter fortgesetzter Bearbeitung stehenden Boden meine.

Die Bodenverschlechterung und ihre Ursachen.

Eine seit altersher wohlbekannte Erscheinung ist die sukzessive Verminderung, welcher die Ackerkrume auf leichteren Sand- und Humusböden unterworfen ist, die Gegenstand intensiver Bewirtschaftung sind.

Dies kommt darin zum Ausdruck, dass der schwarze, aus vermoderten Pflanzenresten gebildete Humus nach und nach an Mächtigkeit abnimmt, so dass der Humusgehalt des obersten bearbeiteten Erdlagers abnimmt. Dies kommt oft sehr merkbar zum Ausdruck und abgesehen davon, dass man direkt makroskopisch konstatieren kann, dass sich die Beschaffenheit der Erde verändert hat, bemerkt man auch sehr leicht die verminderte Fruchtbarkeit des Bodens in den verschlechterten Ernteresultaten, die dabei offenbar auf dem verringerten Humusgehalt beruhen, sofern die landwirtschaftlichen Methoden, wie Zufuhr von Dünger usw., keine Veränderung erfahren haben.

Auf leichterem Sand- und Humusboden kann diese Veränderung so durchgreifend sein, dass ganze Äcker, die zuvor tiefer und feiner Humus auf Sand- oder Grusboden waren, nach und nach in reine Sandfelder übergehen. Dies habe ich an vielen Stellen beobachtet und diese Bodenverschlechterung hat an vielen Orten dahin geführt, dass grosse Areale ausser Bewirtschaftung gesetzt oder mit Wald bepflanzt wurden, da man die Bearbeitung des Bodens nicht länger als lohnend erachtete.

Wenn der Boden durch mehrere Jahre als Weide liegen darf, kann man eine gewisse Vermehrung der Humusmenge bemerken, was an vielen Stellen praktisch bewiesen worden ist. U. a. ist diese Methode mit auffallend günstigem Resultat in meinem Elternheim zur Anwendung gekommen und es besteht kein Zweifel, dass der Ausdruck, man müsse die Erde ausruhen lassen (schwed.: »ligga till sig»), eben gerade beinhaltet, dass man den Boden während einer Reihe von Jahren sich selbst überliess, damit sich sein Humusgehalt vermehre. Darauf konnte der Acker

wieder einige Jahre bebaut werden, wenn er aber wieder zu ausgenutzt wurde, wiederholte man das Verfahren.

Sicherlich sind viele unserer verlassenen Höfe (Schwed.: »ödegårdar, ödeshemman») gerade deshalb aufgegeben worden, weil die Bodenverschlechterung so gross geworden war, dass die auf die Bebauung verwendete Arbeit nicht mehr so viel abwarf, dass man es für klug hielt, damit fortzusetzen, wenn sich vielleicht Gelegenheit zu besserem und leichterem Verdienst bot. Mit den verlassenen Heimstätten verbindet sich in unserem Land sehr leicht die ausserordentlich grosse Abholzung, die zu Ende des verflossenen Jahrhunderts von den grossen Holzgesellschaften (Schw.: skogsbolag) in Gang gesetzt wurde. Die Heimstätten und Höfe wurden des Waldes wegen gekauft und wenn dieser einmal abgeholzt war, war nichts übrig, was der Umsetzung in Geld verlohnte. In den Fällen, in welchen die Holzgesellschaften in Bausch und Bogen, d. h. auch den bebauten Boden kauften, und der Ackerbau nur deshalb niedergelegt wurde, weil sich die Gesellschaften für denselben nicht interessierten, kann man von der Bodenverschlechterung als wirklich integrierendem Faktor nicht sprechen. In den Fällen jedoch, in welchen nur der Wald gekauft und abgeholzt wurde, während der Ackerboden vom früheren Besitzer behalten wurde, oder in den Fällen, in welchen die Holzgesellschaften den Boden verpachteten, wird das Verhältnis ein anderes. Der Schutz, den der Wald dem Boden gab, wurde vernichtet, Dürre und Misswachs herrschten wie nie zuvor und schliesslich trat ein solcher Verfall ein, dass die Heimstätten aufgegeben wurden. Ich zögere nicht es auszusprechen, dass gerade in dieser rücksichtslosen Abholzung, diesem in seiner Art einzig dastehenden Raubbau am Walde, gerade eine der Hauptursachen für die allgemeine Bodenverschlechterung liegt, die ihrerseits zur Entstehung einer Menge von verlassenen Heimstätten führte, die gerade in den Gebieten am zahlreichsten sind, wo die Abholzungsraserei am stärksten wütete.

WOHLIN (1910, p. 91) schreibt: »Es ist gewiss eine Tatsache, dass der eigentliche Ackerboden der den Norrländischen Holzgesellschaften gehörigen ehemaligen Bauernhöfe ('inägojorden på de norrländska bolagshemmanen') schlecht bewirtschaftet wird, sehr häufig erfährt er überhaupt keine Pflege und wird mit Waldpflanzen besät. Es ist auch durch die Untersuchungen des Norrlands-Kommittees festgestellt, dass die letztgenannten Erscheinungen auf Bauernland, das vom Eigner bewirtschaftet wird, nicht in gleicher Häufigkeit vorkommen. Es ist aber jetzt bekannt, dass der Unterschied in der Bebauung der Bolagshemman und der mit diesen vergleichbaren bäuerlichen Besitzungen nicht einmal in Norrland so gross ist, wie in politischer Absicht angegeben wurde. Es ist ausserdem nicht zur allgemeinen Kenntnis gelangt, dass der selbständige Bauernbesitz in weitgestreckten Teilen der schwereren Emigrationsprovinzen des Reiches in einer Weise bewirtschaftet wird, die absolut als Misswirtschaft ('vanhäv'd') bezeichnet werden kann, wenn auch Aufforstung von Ackerboden weniger oft vorkommt.« Daraus geht hervor, dass Misswirtschaft

in den Gebieten unseres Landes, in denen die Emigrationslust am grössten ist, sehr häufig vorkommt. Es besteht nun die Frage, ob die Emigrationslust das Primäre ist, so dass die Misswirtschaft am ehesten als eine Folge einer, durch eine gewisse Unruhe und Sehnsucht erzeugten Gleichgiltigkeit dem Ackerbau gegenüber aufzufassen ist oder umgekehrt.

Ich bin nicht völlig überzeugt davon, dass das, was im täglichen Leben »Misswirtschaft« genannt wird, immer in einer offenbaren Vernachlässigung des Bodens seinen Grund hat. Als Misswirtschaft betrachte ich die offenbare Vernachlässigung des Bodens, z. B. dass einer Bauer sich aus Leichtsinn oder Gleichgiltigkeit nicht darum kümmert, den Boden so zu bewirtschaften, wie es in seiner Kraft steht. Ich nenne es aber nicht Misswirtschaft, wenn ein Bauer, trotz ununterbrochener Plage und Arbeit, vergebens gegen die Verhältnisse streitet, die ihn zwingen den Boden wieder als Weide oder einen Teil davon wüst liegen zu lassen. Zwischen diesen beiden Typen ist ein deutlicher Unterschied nicht gemacht worden und soweit ich aus eigener Erfahrung weiss, beruht in den meisten von mir in Mittel- und Südschweden beobachteten Fällen, d. h. nicht in den Latifundiengebieten, die sogen. »Misswirtschaft« gerade darauf, dass die Arbeit vergeblich war. Gewiss kann diese Arbeit oft als unpraktisch, altmodisch und zurückgeblieben bezeichnet werden, aber gerade der Umstand, dass bei Anwendung der alten Methoden das Erträgnis sich vermindert, kann möglicherweise einen Beweis dafür zu beinhalten, dass eine reale und offenbare Verschlechterung wirklich eingetreten ist. Um den Boden zu schützen, muss man sich also gewisser, immer und immer wieder verbesserter Methoden bedienen und es zeigt sich auch, dass gerade in den Emigrationsgebieten dieses eigensinnige Festhalten an veralteten und unpraktischen Methoden zum Verlassen der Scholle geführt hat.

Wie ich später zeigen werde, sind es auch die verbesserten Methoden mit Tiefkultur und anderen späteren Vorkehrungen, welche gerade die Zerstörungsprozesse verhindern oder wenigstens verzögern, welche in anderen Gebieten bewirkt haben, dass die Fälle von Misswirtschaft nicht so markant sind. Es muss jedoch hervorgehoben werden, dass, sei es bei Beibehaltung der alten Methoden, sei es bei Annahme von neuen, ein gewisses, sehr gewichtiges psychologisches Moment mit einspielt, nämlich das Resultat der Arbeit. Und wenn nicht alle Male durch die getroffenen Massregeln ein rasches und offenbares Resultat erzielt wird, so werden sie als wertlos betrachtet und es tritt automatisch ein Rückfall in die alten Methoden ein.

Es ist klar, dass im Falle einer epidemischen Flucht vom Ackerbau in gewissen Gebieten der Grund in komplizierteren Verhältnissen wie solchen der oben angedeuteten, sozialen oder psychologischen Natur liegt. Als Faktum bleibt jedoch bestehen, dass man eine der wichtigsten Ursachen dieser Flucht, besonders ausserhalb der Latifundien und Emigrationszentra, in der nach und nach eintretenden Verschlechterung der Zeugkraft des Bodens zu suchen hat und es zeigt sich manchmal, dass ge-

rade in einem Gebiet mit für den Ackerbau besonders ungünstigen Verhältnissen diese zu einer Emigration gezwungen haben, die, einmal in Gang, lawinenartig einen immer mächtigeren Strom von Arbeitern vom Boden und dem Ackerbau abgezogen hat. Ein interessantes Beispiel bietet in diesem Fall Öland, wo die Emigration vom Ackerbau sozusagen eine Institution geworden ist und wo sie als eine Notwendigkeit gerade deshalb entstand, weil der Ertrag des Ackerbaus nicht zur Ernährung aller ausreichte (cf. NELSON 1909, pp. 30 f.).

Hand in Hand mit der Zeugekraft des Bodens gehen dabei der Ertrag und der Lohn für eine gewisse Arbeit und bei dem Abhängigkeitsverhältnis der beiden von einander muss auch eine eintretende Verschlechterung in der Bodenbeschaffenheit sich in den ökonomischen Verhältnissen der Bevölkerung äussern und letzten Endes kann somit diese Flucht vom Ackerbau darauf beruhen, dass in der Ertragsfähigkeit des Bodens eine Verschlechterung eingetreten ist.

Ich will damit zwischen Bodenverschlechterung und Misswirtschaft kein Gleichheitszeichen setzen, sondern nur zu zeigen versuchen, dass das, was meist Misswirtschaft genannt wird, nicht immer die primäre Ursache dafür ist, dass der Ackerbau aufgegeben wird, sondern dass die Misswirtschaft vielleicht meist eine Folge der Natur- und anderen Verhältnisse ist, die zu einer Niederlegung der Bearbeitung des Bodens führen, da es sich nicht lohnt, Aussaat und Arbeit auf einen Boden zu verwenden, von den man nicht mit einiger Sicherheit auf einen gebührenden Ertrag rechnen kann.

Um womöglich die Ursachen dieser Verdünnung der Kulturschicht und der nach und nach eintretenden Verschlechterung der Ertragsfähigkeit des Bodens festzustellen, wollen wir einen kurzen Überblick über die Bodenarten geben, in denen das Phänomen seinen grössten Umfang hat und weiters einen Blick auf die verschiedenen erodierenden Kräfte werfen, von denen man sich vorstellen kann, dass sie ausser den rein chemischen Prozessen einen Effekt wie die eben besprochene Bodenverschlechterung bewirken können.

Die Böden, die in erster Linie der Verdünnung der Erde ausgesetzt sind, sind leichte, trockene und stark drainierte Sand- und Humusböden. Gut vermoderte Moorerde ist am meisten, steifer Lehm und Mergel am wenigsten ausgesetzt.

Es ist also nicht irgend ein Unterschied in der Korngrösse, der sich bei einer Klassifizierung der Bodenarten in dieser Beziehung geltend macht, sondern die Konsistenz, das spez. Gewicht pr Volumeinheit aufgelockerter Erde usw. sind entscheidend. Ausserdem spielen Umstände wie Zähigkeit, Elastizität, Härte usw. eine sehr grosse Rolle und dasselbe gilt auch von einer ganzen Reihe anderer Eigenschaften des Bodens, wie seiner Fähigkeit, sich porös oder fest zu erhalten, seiner Fähigkeit, Wasser aufzusaugen und festzuhalten usw.

Unsere Sand- und Humusböden bestehen in der Regel in ebenen Flächen, die gerade deshalb, weil sie, was die Sandböden betrifft, aus Schwemmsand- und anderen fluviatilen oder lakustrinen Bildungen bestehen, innerhalb der einzelnen Gebiete keine grösseren Höhenunterschiede aufzuweisen haben, und in noch höherem Grad gilt das von dem Ackerboden, der durch Absenkung von Seen oder dergleichen erhalten oder drainierten Sumpf- und Moorböden abgewonnen wurde. In der Regel sind sie auch für Wasser gut durchlässig und nur nach stärkeren Schlagregen kann man auf einem Feld hier und dort grössere Wasseransammlungen finden, aber auch diese in der Regel nur in den Depressionen des Feldes; ein Abrinnen von demselben findet nur in seltenen Fällen statt.

Eine Erosion der Oberfläche des Feldes durch fließendes Wasser ist daher nur als Ausnahmefall denkbar. Gewiss kann eine Translokation einer gewissen Menge Materiales von den Unebenheiten des Feldes nach den Depressionen stattfinden, damit aber ein Transport im Grossen vom Feld selbst soll eintreten können, muss in erster Linie der Regen so stark sein, dass sich auf dem Feld wirkliche Rinnsale bilden. Eine stagnierende Pfütze erodiert nicht. Dort geht Akkumulation vor sich. Man hat eingewendet, dass das Wasser erodierend wirken und somit Material vom Feld wegführen muss, wenn es durch die Gräben strömt. Das kann in dem Fall richtig sein, dass das Feld mit offenen Gräben umgeben und von solchen durchzogen ist, wo die Grabenraine nicht mit Vegetation bewachsen sind oder wo der Boden undurchlässig und stark zusammengesprengt ist. In der Regel findet jedoch kein Abrinnen in solchem Ausmass statt, dass eine Erosion von solcher Grössenordnung vorkommen kann, dass sie auch nach sehr langen Zeiträumen überhaupt merkbar wird. Auf durchlässigem Boden, besonders mit gut gedeckter Drainierung, wo die Anzahl der offenen Ablaufsrinnen gering ist, kann man von fluvialer Erosion ganz absehen. Die fluviale Erosion wirkt nur in den Rinnsalen selbst und reicht nicht über dieselben hinaus. Bezüglich der Erosion, die eventuell darauf beruhen könnte, dass Material von der Oberfläche des Feldes in die Abzugsgräben hinabrinnt, habe ich mich experimentell davon überzeugt, dass das nicht in grösserem Masstab vorkommt. So habe ich mich an verschiedenen Plätzen seit langer Zeit Jahr für Jahr durch auf wiederholte Experimente gegründete Beobachtungen davon überzeugt, dass man auf durchlässigem Humusboden und leichtem Sandboden praktisch von der Erosion durch Schmelzwasser wie auch durch den Regen absehen kann. Und doch kann dieser Boden manchmal so trocken werden, dass ihn die Regentropfen nicht sogleich benetzen, sondern wie kleine Kugeln in die Vertiefungen rollen. Bei Schlagregen ist es eingetroffen, dass ganze Äcker unter Wasser stehen konnten, eine grössere Schlammführung hat aber weder in den Gräben noch in den Rinnsalen stattgefunden. Nur an den Kanten der Gräben floss das Wasser wirklich, wo es nämlich die flache Oberfläche hinab in die Gräben rann. Das bedeutet kaum etwas anderes als eine Senkung des Wasserspiegels, die nur in dem vielleicht

wenige Meter langen und wenig breiten und tiefen Rinnsal eine Erosion hervorruft. Und wenn, wie es gerade auf Torf- und Moorboden der Fall ist, die Gräben von einem breiteren oder schmaleren Saum von Gras, Kräutern und Moos umgeben sind, dann wirkt diese Vegetation als ein ausgezeichnetes Filter, durch das nur ein Bruchteil des Schlammes gelangt, der eventuell vom Acker fortgeführt wird. Und an solchen Stellen, wo das ganze Feld durch gedeckte Gräben drainiert wird, kann man unter keinen Umständen von Erosion durch fließendes Wasser sprechen.

Anders wird die Sache, wenn der Regen auf undurchlässigen Lehm fällt. Da die Grösse der einzelnen Mineralpartikel hier äusserst gering ist und die Partikel eine ziemlich isodiametrische Form besitzen, kann ein solcher Lehm, der aufgeweicht wird und keine Zeit hat, das Wasser zu absorbieren, leicht an der Oberfläche aufgelöst werden, wobei schon in den unbedeutendsten Rinnsalen eine deutliche Trübung eintritt. Der Lehm muss jedoch bereits feucht sein, damit das in grösserem Umfang eintreten können. Ein kräftiger Schlagregen spielt auf einem ziegelharten, von der Sonne getrockneten und gesprungenen Lehm eine sehr geringe Rolle.

Als Ursache des Erdverminderungsphänomenes auf leichten, flachen Sand- und Humusböden kann somit nicht die Erosion durch rinnendes Wasser angesehen werden.

Manche wollten behaupten, dass die Partikel, die Humus bilden, d. h. organische Stoffe, Pflanzenreste, Dünger u. dgl. durch einen fortgesetzten Oxydationsprozess so vollständig verschwinden sollten, dass nur mehr Asche übrig bleibt. Es ist indess schwierig, sich vorzustellen, dass dieser Oxydationsprozess auf einem unter Bewirtschaftung stehenden Acker den Umfang erreichen kann, dass ein, angenommen 30 cm mächtiges, Lager von Humus im Laufe von 20 Jahren vollständig sollte verschwinden können (wie ich es tatsächlich beobachtet habe), da dem Boden nach und nach neue Nahrung zugeführt wird und da die wachsenden Feldfrüchte doch auf jeden Fall einen gewissen Zuschuss an neuem Material liefern, das von der Oxydation ergriffen werden kann. Weiters kann man durch die Oxydationstheorie gewisse Phänomene nicht erklären, wie z. B., dass der Humus an exponierten Stellen eines Feldes vollkommen verschwinden kann, während in geschützten Lagen auf demselben Acker eine merkbare Veränderung in derselben Richtung nicht stattgefunden hat, obwohl keinerlei Unterschied in der Bearbeitung der verschiedenen Teile des Feldes vorkam.

Die Oxydationstheorie kann somit zur Erklärung des Erdverminderungsphänomenes nicht genügen und ist absolut unhaltbar, wenn es sich darum handelt, die lokalen Verschiedenheiten in gewissen begrenzten Gebieten eines Feldes zu erklären.

Es gibt dann noch eine weitere Möglichkeit, die auch unter Denen, an welche in mich in dieser Sache gewendet habe, gewisse Fürsprecher gefunden hat, nämlich, dass man bei der Einheimsung der Ernte, der Wegnahme von Unkraut usw., so viel Humus entfernen sollte, dass die Erde auf diese Weise vermindert würde. Auch dieser Ausweg zu einer zufriedenstellenden Erklärung erscheint mir unhaltbar. Es ist allerdings richtig, dass bei der Ernte und dem Wegtransport z. B. von Hackfrüchten, Kartoffeln und dergleichen eine gewisse Menge Erde an denselben haftet und weggeführt wird, es gilt das aber nicht so sehr von solchen Hackfrüchten, die auf leichtem, humusreichem Boden gewachsen sind und die Menge kann auf jeden Fall nicht so bedeutend sein. Und weiters lässt ja jede Pflanze in Form von verwelkten Wurzeln und dergleichen einen gewissen Tribut zurück, der nicht fortgeführt wird. Und was das Unkraut betrifft, so pflügt man dieses ja zu kompostieren, wodurch es auf die eine oder die andere Weise dem Felde wieder zu Gute kommt. Ausserdem verbraucht die Ernte ja nicht den Humus selbst, sondern die in demselben enthaltenen Nahrungssalze, weshalb die Verminderung des Humusgehaltes dadurch, dass man auf einem gewissen Boden Pflanzen baut, nicht die geringste Berechtigung hat. Im Gegenteil kann man allein dadurch, dass man einen im Übrigen sterilen Boden mit geeigneten Nahrungssalzen versieht, ihm einen gewissen Humusgehalt verschaffen, indem man auf ihm ein Gewächs anbaut.

Somit kann man das Phänomen auch nicht durch die Annahme erklären, dass der Humus durch die Wegnahme der Ernte direkt entfernt wird.

Wir lassen solche Angaben ausser Acht, wie, dass die Sonne den Humus verbrennt, so dass er vernichtet wird, dass der Regen ihn wegspült und dass ihn die Pflanzen gänzlich aufnehmen, da sie hauptsächlich bemerkenswert sind als Beispiele dafür, wie verschiedenartig die Spekulationen ausgefallen sind.

Die einzige Erosionsform, die praktisch übrig bleibt und die man vernünftiger Weise als Erklärung der Erdverminderung nennen kann, muss dann die Deflation sein.

Die Deflation auf Ackerboden.

Sieht man nach, wie sich die Verhältnisse in anderen Gebieten mit trockenerem und wärmerem Klima als das unsrige gestalten, so findet man eine bedeutende Litteratur, die sich gerade mit Staub- und Sandstürmen mit darauf folgender Zerstörung der Vegetation im Allgemeinen, mit den durch Sturmtrift an der Ernte auf bebautem Boden verursachten Schäden usw. beschäftigt, sowie man aber zu mehr humiden Gegenden kommt, fehlt so gut wie jede Spur einer Erwähnung in der Litteratur. Vielleicht findet sich irgendwo ein Ausspruch, ich habe aber trotz emsigen

Suchens in der Litteratur, die den Ackerbau betrifft, keinen gefunden. Vielleicht irgend eine vereinzelt Erwähnung, die in der Weise gedeutet werden kann, dass wirklich eine Deflation stattgefunden hat, in der Regel wurde das aber mehr als ein Zufall betrachtet und an keiner Stelle wurde Umfang oder Bedeutung angegeben. Es scheint, dass man es für unmöglich gehalten hat, dass in einem Klima wie dem unseren Deflation stattfinden kann und dass der Ackerboden überhaupt eine Beeinflussung erfährt.

Soweit ich finden kann, ist LINNÉ der einzige Verfasser, der wirklich von der Deflation auf Kulturboden und ihrer Bedeutung gesprochen hat. Sowohl in seiner »Öländska och Gothländska Resa« (Stockholm 1745) als an mehreren Stellen in seiner »Skånska Resa« (Stockholm 1751) erwähnt er sowohl die Deflation und ihre Bedeutung als auch die Massregeln, die der Landmann ergreifen sollte, um sich dagegen zu schützen. Es muss unsere Verwunderung im höchsten Grad erregen, dass die Aussprüche des grossen Forschers in diesem Punkt den späteren Forschern auf dem Gebiet von Landwirtschaft so vollständig entgangen sind. Und doch pflegten diese oft, wenigstens während der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts den gefeierten »archiater« zu zitieren, besonders da sein Utilitätsstreben den praktisch gesinnten Ackerbauschriftstellern auf die eine oder andere Weise zusagte.¹

Um nun auf die Deflation auf Ackerboden zurückzukommen, so sind die Möglichkeiten für eine solche besonders auf den leichteren Sandböden sehr gross.

Besonders während des Frühlings und Vorsommers, d. h. während der Zeit, die zwischen den Frühjahrsarbeiten unmittelbar nach dem Auftauen des Bodens und der Zeit vergeht, wenn die spriessende Saat den Boden vollständig deckt, ist die Niederschlagsmenge, besonders im östlichen Teil von Skandinavien, sehr gering. Weiters ist ja die Erde während der Frühjahrsarbeiten und ein gutes Stück in den Sommer hinein Gegenstand einer Bearbeitung mit daraus folgender Auflockerung und Austrocknung der oberflächlichen Lager, so dass die Winde ihre erodierende Wir-

¹ Mit Ausnahme der oben genannten Arbeiten LINNÉS hat es, wie gesagt, meines Wissens in unserer Sprache keinen Ausspruch gegeben, dass die Deflation in unserem Land für die Ackererde eine Rolle spielt. Indess enthält eine Arbeit von THAER (1809) einige Aussprüche, die darauf hindeuten, dass man das Phänomen wenigstens in Deutschland bemerkt hat. Er erwähnt u. a. die Bedeutung der Exposition und empfiehlt (1809, p. 146) die Anpflanzung von Schutzhecken auf den Feldern: »Dagegen wird der trockene, sandige und warme Boden durch eine den Wind abhaltende Umgebung oft sehr verbessert, und kann mehrentheils durch Hecken, womit man ihn umgibt, oder durch Pflanzungen an den übelsten Windseiten sehr verbessert und fruchtbar gemacht werden. Einem solchen Boden thut nämlich der Wind vielen Schaden, indem er die Feuchtigkeit ihm schneller entzieht, die verbesserte, mit Humus vermischte Ackerkrume, und letztern, da er noch leichter und beweglicher als der Sand ist, verweht, somit auch die Wurzeln der Gewächse entblösst, und an andern Stellen die Pflanzen mit rohem Sand überschüttet.»

THAERS Arbeit wurde unter dem Titel: »Den Rationella Landthushållningens Grundsatsar af A. Thaer. Genom Kongl. Landtbruks Akademiens försorg öfversatt och till tryck befördrad. Stockholm 1816« ins Schwedische übersetzt.

kung sehr leicht ausüben können. Besonders ist das auf Brachfeldern der Fall, wo man bis gegen die Zeit der Sonnenwende den Boden von Unkraut rein zu halten sucht. Eines unserer lästigsten Unkräuter auf leichterem Boden ist ja die bekannte echte Quecke (*Triticum repens* L.) und die Schwierigkeit ihrer Ausrottung veranlasst den Landmann, während der Brachzeit intensiv an der Entfernung derselben zu arbeiten. Es geschieht das teils durch Eggen, effektiver von Hand mit sogen. »Schütteln« (schw.: kvickrotsskakning). Während dieser Arbeit pflegt es, besonders auf Torf- und Moorböden, schrecklich zu stauben, und Massen von Staub werden dabei in die Luft gewirbelt und weggeführt. Dasselbe ist, wenn auch natürlich in viel geringerem Grad bei der Reinigung von Hackfrüchten und der Auflockerung der Fall, überhaupt bei jeder Arbeit, welche die Oberfläche lockert und zum Zerfallen der Erde beiträgt.

Natürlicher Weise ist der Boden gerade während und unmittelbar nach den Frühjahrsarbeiten ungeschützt und der Möglichkeit einer Winderosion am meisten ausgesetzt, im Grossen und Ganzen kann man aber sagen, dass die Äcker von dem Ende der Herbstpflügung im Spätherbst bis so weit im Sommer, dass die Saat den Boden deckt, als eine Art Wüste zu betrachten sind. Gewiss ist diese Wüstennatur auf künstlichem Weg, eben durch die Bearbeitung des Bodens, hervorgerufen, nichts desto weniger besteht aber doch eine auffallende Ähnlichkeit zwischen dem Acker und der Wüste und die Merkmale, welche die Wüste kennzeichnen, besitzt auch der Acker: er entbehrt der Vegetation und des Wassers und zeigt eine nackte, sterile Oberfläche.

Die Deflation kann somit nicht nur während des Frühlings auf den Ackerboden einwirken. Im Spätherbst, wenn der Boden zu frieren beginnt, tritt dadurch eine Art von Austrocknung der Bodenoberfläche ein und eine Menge der oberflächlich liegenden Partikel kommt lose zu liegen. Bei starkem Wind, auch bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt, geht eine beständige Verdunstung vom Boden vor sich und die dabei eintretende Austrocknung ist eine ganz bedeutende. An klaren und kalten Tagen geht auch eine völlig nachweisbare Deflation vor sich, die man leicht beobachten und auf verschiedene Weise konstatieren kann. Im Winter ist der Boden in gewöhnlichen Fällen von einer mehr oder minder mächtigen Schneedecke bedeckt, in schneelosen Wintern aber oder an besonders exponierten Stellen, wo der Boden aper ist, herrscht auch im Winter Deflation. Man findet oft, dass der Schnee in der Nähe solcher Stellen leicht beschmutzt ist und wie von einzelnen, durch die Schneedecke aufragenden Furchenrücken und Schollen Trift ausgeht.¹

¹ Um zu erforschen, inwieferne während des Winters wirklich nachweisbare Trift von Ackererde vorkommt, habe ich eine Reihe von Versuchen angestellt, indem ich kleine Kegel von zusammengesprester Ackererde draussen auf dem Felde an exponierten Stellen aufstellte. Nachdem sie längere Zeit im Schneetreiben gestanden hatten, zeigte sich die Entstehung von typischen Korrosionserscheinungen und in der Regel wurde die glatte Form nicht den ganzen Winter über beibehalten. In gewissen Fällen konnte ich

Es zeigt sich somit, dass der Acker nur während der Perioden vor der Deflation geschützt ist, während derer er von Vegetation oder Schnee vollständig bedeckt ist.

Ein leichter Sand- oder Humusboden besteht aus einem Agglomerat aus teils Sand und anderen mineralischen Bestandteilen, teils aus von vermoderten organischen Substanzen gebildetem Humus. Eine bestimmte Grenze zwischen verschiedenen Arten von leichten Böden zu ziehen, ist in diesem Zusammenhang von untergeordneter Bedeutung, da der Unterschied betreffs der Erosion, sei es durch Wind, sei es durch andere Atmosphärien nur gradueller Natur ist.

Wenn man frisch gepflügte und neubearbeitete, humusreiche Ackererde untersucht, findet man, dass die verschiedenen Körner ohne die geringste Ordnung mit einander vermischt sind, wie in Fig. 49 skizziert wurde. Die schwarze Farbe des Humus ist die dominierende und wenn man die Erde — z. B. leichten Sandhumus — genau betrachtet, so findet man, dass man in der oberflächlichen Schicht gewisse vereinzelte Sandkörner im Humus glitzern sehen kann, doch nicht in der Masse, dass man den Boden als Sandboden bezeichnen könnte. Nach einer Zeitspanne mit Wind wird man finden, dass die oberflächliche Schicht in Aussehen und Zusammensetzung eine beträchtliche Veränderung erlitten hat. Die Farbe ist in Grau übergegangen und die Humuspartikel scheinen nicht länger an Anzahl zu überwiegen, sondern die Oberfläche besteht fast ausschliesslich aus grösseren und kleineren Sandkörnern, Steinen und unvermoderten Pflanzenresten. Aller der feinste Staub ist verschwunden und da man sich keine andere vernünftige Ursache dieser offenbaren Veränderung denken kann, muss es einfach die sein, dass das feinste Material ganz einfach fortgeweht worden ist, während die schwereren Partikel, die der Wind nicht zu bewegen vermochte, zurückbleiben und auf dem Boden eine Art schützender Decke bilden, die, solange sie ungebrochen ist, eine weitere Erosion verhindert.

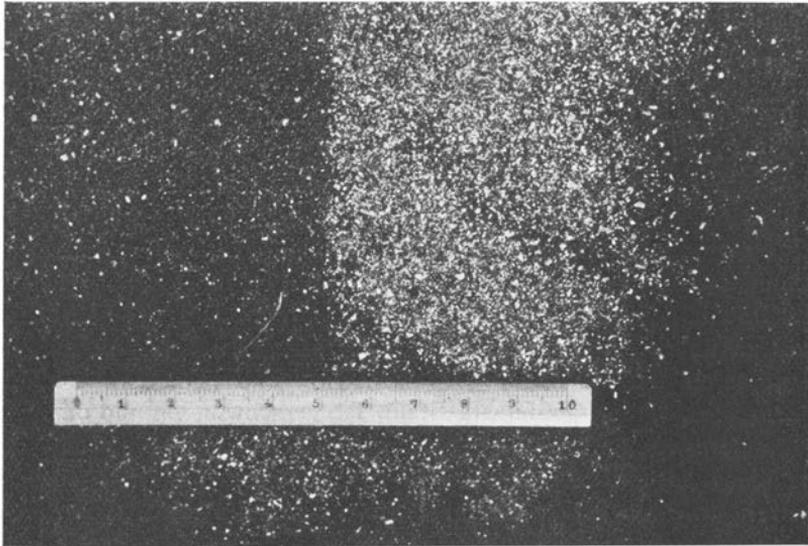
Vollkommen identische Phänomene kann man durch Laboratoriumsversuche erzeugen. Wenn man trockene Erde nimmt, sie sorgfältig umrührt und ihre Oberfläche ebnet, so braucht man nur einige Male auf dieselbe zu blasen, um zu sehen, wie der Staub verschwindet und ein Sandlager übrig bleibt, das genau dieselbe Beschaffenheit hat, wie das oben

einfach keinen mit Sicherheit erkennbaren Rest von ihnen finden, in den meisten Fällen zeigte sich aber, dass sich die Leeseite recht glatt und eben erhalten hatte, während die Luvseite zerschlissen war und mit hervorstehenden Wurzelfasern und dergleichen ein rauhes Aussehen zeigte. Sicherlich spielt hier der Frost und die mechanische Abschleifung durch treibenden Schnee eine bedeutende Rolle. Zu bemerken ist, dass die Kegel aus stark zusammengepresster Erde angefertigt waren.

Dass die Schneetrift in dieser Hinsicht eine bedeutende Rolle spielt, wird dadurch bewiesen, dass solche Kegel, die auf Dächern und anderen hohen Gegenständen aufgestellt wurden, so dass sie von der knapp über den Boden hinstreichenden Schneetrift nicht erreicht wurden, nicht entfernt so deformiert waren, wie die, welche draussen auf dem Felde gestanden hatten.

von dem Felde beschriebene. Wenn man der grösseren Gewissheit wegen einen Teil der Erde auf die eine oder andere Weise, z. B. durch Darüberstülpen eines Bechers oder dergleichen, bedeckt, so dass die Erde nur am Rand in Bewegung gesetzt werden kann und dann die Erde dem Wind aussetzt, so findet man nach einer Weile einen deutlichen Unterschied zwischen der geschützten und der ungeschützten Partie. (Vergl. Fig. 47). Ich habe vielfach draussen auf dem Feld ähnliche Versuche angestellt und immer das gleiche Resultat erhalten.

Diese Staubtrift kann einen solchen Umfang annehmen, dass so gut wie aller Humus weggeblasen wird und nur der Sand übrig bleibt. So



Verf. phot.

Fig. 47. Unterschied zwischen geschütztem und ungeschütztem Boden. Links war der Boden bedeckt. Nur wenige Sandkörner sind an der Oberfläche zu sehen. Rechts hat der Wind fast alle Humuspartikel fortgeführt, so dass ein zusammenhängendes Sandlager entstand.

habe ich oft wahrgenommen, wie auf Unebenheiten und dergleichen oder an besonders exponierten Stellen die Mächtigkeit des Sandlagers, die anfangs nur der Dicke eines einzigen Kornes entsprach, zunahm, so dass man ziemlich dicke Sandlager antreffen kann, welche die unberührte Erde bedecken. Man spricht oft von dem verheerenden Einfluss des Flugsandes auf gewisse Kulturgebiete, es ist jedoch wahrscheinlich, dass der in vielen Fällen erwähnte Sand nicht aus anderen Gebieten einwanderte, sondern Sand aus dem Gebiete selbst war, der durch den sukzessiv fortschreitenden Sortierungsprozess des Windes auspräpariert und in recht bedeutenden Lagern liegen gelassen wurde, nachdem alles feine Material weggeblasen war.

In Übereinstimmung mit den Vorgängen in allen übrigen Deflations-

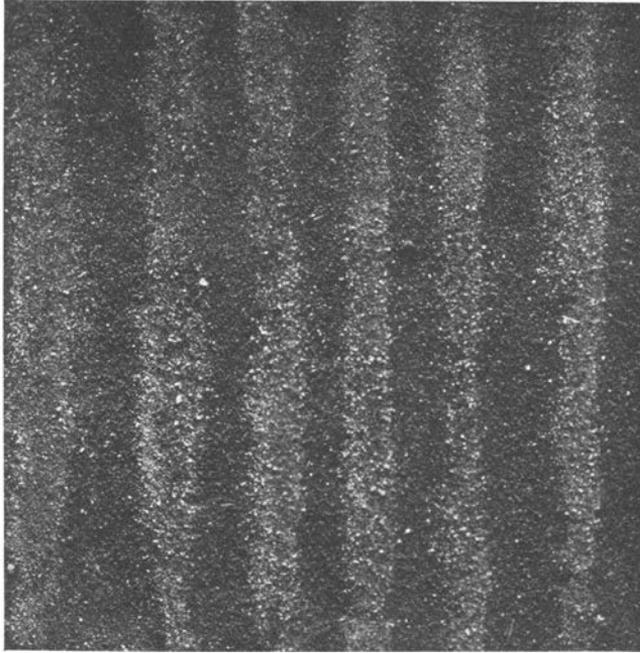
gebieten kann man auch im Erosionszyklus auf Ackererde verschiedene Phasen unterscheiden, und ich will in Kürze eine Schilderung der verschiedenen Stadien geben, die man während des Entwicklungsganges mit Leichtigkeit unterscheiden kann.

Das erste Stadium besteht in einer Sortierung des Materiales, indem alle lose liegenden Partikel in der oberflächlichen Schichte, die der Wind in Bewegung zu setzen vermag, weggeführt werden. Des gilt natürlich in erster Linie von den allerfeinsten organischen Partikeln, die mit geringem spezifischem Gewicht (etwa $\frac{1}{3}$ von dem des Sandes) eine unregelmässige Form und daraus folgenden grossen Windfang vereinigen. Dann kommt die Reihe an die Mineralkörner von kleinen Dimensionen und wenn der Wind hinreichend lange mit einer gewissen Stärke zu blasen fortfährt, so setzt sich an der Oberfläche des Ackers ein Schutzlager aus gröberem Material ab, welches der Wind nicht in Bewegung zu setzen vermag. Dieses Schutzlager kann bei verschiedenen Gelegenheiten verschiedene Beschaffenheit erhalten, was darauf beruht, ob der Wind a) mit konstanter Stärke in einer gewissen Richtung, b) mit veränderlicher Stärke in einer gewissen Richtung oder c) mit veränderlicher Richtung bläst.

Wenn der Wind mit konstanter Stärke und in einer gewissen Richtung über einen Acker bläst, dessen Oberfläche gewisse grössere oder kleinere Unebenheiten aufweist, so wirkt die Deflation auf die Luvböschungen, an denen diese Sortierung des Materiales ihren grössten Umfang erreicht. Im Lee der Unebenheiten und der grösseren Sandkörner und anderen schwereren, schwer beweglichen Gegenstände bleiben teils ziemlich ungestörte Partien der Ackererde, teils umgelagerte kleine Partikel liegen, die hinter den Unebenheiten und im Schutz derselben eine temporäre Freistatt gefunden haben. An den Stellen, an welchen der Winddruck am grössten ist, tritt eine gewisse Stabilisierung der Schutzschicht ein, indem die einzelnen Körner einander sozusagen gegenseitig binden und gegen einen Wind in der herrschenden Richtung einen ziemlich effektiven Schutz bilden. Die Schutzschicht bildet indess nicht eine ganze, ununterbrochene Decke über das ganze Feld, sondern ist an der Leeseite der Unebenheiten durchbrochen (vergl. Figg. 48—49).

Teilweise anders sind die Erscheinungen, wenn der Wind von wechselnder Stärke ist, wenn er auch aus einer gewissen Hauptrichtung kommt. Während bei einem konstanten Wind der Winddruck gegen die Unebenheiten des Bodens ziemlich gleichförmig ist und man mit Sicherheit annehmen kann, dass der Verlauf der Stromlinien keine grösseren Veränderungen erleidet, herrschen bei variablen Winden andere Verhältnisse. Die Körner werden nicht durch den Wind an einer und derselben Stelle festgedrückt gehalten, sondern bei stärkeren Windstössen kann ein Korn eine Böschung aufwärts getrieben werden, um dann bei schwächerem Wind wieder zurückzufallen. Ein grösseres Korn kann da unterminiert werden und was in dem einen Augenblick zur Ablagerung gelangt, kann im nächsten weggeblasen werden. An Gegensteigungen werden die Körner somit

vorwärts und rückwärts gerückt und mit jedem neuen Windstoss werden neue Teile der Unterlage exponiert. Als Endresultat ergibt sich, dass bei derartigen, stossweisen Winden eine bedeutend grössere Menge von Fein-



Verf. phot.

Fig. 48. Unterschied zwischen Lee- und Luvseite von winderodierten Erhöhungen in kupertem Ackerboden. Die lichten Partien sind die Gegensteigungen der Windseite, wo nur Sand vorhanden ist. (Beleuchtung von oben parallel mit den Furchen).

material weggeführt wird; die Schutzdecke wird dicker und mehr zusammenhängend als zuvor.

Bei variablen Winden, die bald aus der einen, bald aus der anderen Richtung über ein Feld blasen, erreicht die Deflation vielleicht ihren

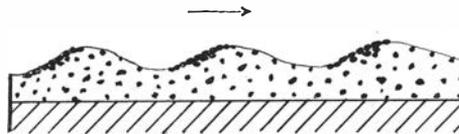


Fig. 49. Schematische Figur, welche die Ausbildung des Sandlagers an der Luvseite von Erhöhungen in kupertem Ackerboden zeigt.

grössten Umfang. Dies kann in gewissen Fällen aus den Gesichtspunkten des Ackerbaus einen Vorteil, in anderen wieder einen ausgesprochenen Nachteil beinhalten. Auf Äckern von sehr grossem Areal kann dabei an einer Stelle eine Akkumulation von Triftmaterial stattfinden, während an einer anderen Deflation vor sich geht, auf kleineren Äckern aber, die

von Boden umgeben sind, der den Staub zurückhalten und binden kann, tritt mit jedem Windstoss eine Verminderung der Humusmenge ein. Auf jeden Fall findet natürlicher Weise, ob das Feld nun gross oder klein ist, eine gewisse Totalverminderung des Humus statt. Durch die variablen Winde werden unaufhörlich neue Teile des Feldes den Angriffen des Windes ausgesetzt und das Endresultat wird eine ziemlich gleichförmige Ausbildung einer Schutzfläche aus Grobmaterial, die, wenn die Winde eine Zeitlang variabel waren, keine Lücken aufweist, sondern über das ganze Feld zusammenhängend ist.

Mögen die Winde somit konstant oder nach Richtung und Stärke variabel sein, so ist das Endresultat dieses Sortierungsprozesses die Ausbildung einer Schutzhaut aus Grobmaterial, die, ungebrochen und ungestört, gegen weitere, grössere Deflation einen ziemlich effektiven Schutz bietet.

Wenn nun diese Schutzhaut nicht auf die eine oder andere Weise beschädigt oder zerstört wird, tritt natürlich keine bedeutendere Deflation eines Ackers auf, sondern die Deflation beschränkt sich darauf, gerade so viel Material wegzuführen, als für die Auspräparierung der gröberen Partikel erforderlich ist, die zur Erzeugung des Schutzlagers nötig sind.

Auf einem Acker, der unter Bewirtschaftung steht, ist das undenkbar. Unablässig muss der Landmann darauf bedacht sein, den Acker, und da besonders Hackfrucht- und Brachfelder, von Unkraut zu befreien und die Erde locker zu erhalten und diese unausgesetzte Bearbeitung des Bodens zerstört und bricht diese Schutzhaut und der Deflationsprozess beginnt von Neuem. Das Schutzlager kann aber nicht nur durch die Einwirkung des Menschen, sondern auch durch Regen, Hagel usw. aufgerissen werden und eine ziemlich kleine Wunde in denselben kann beim Eintreten von kräftigeren Winden erweitert werden und dahin führen, dass neue Partikel des bisher geschützten Humus weggeführt werden. Diese Sortierung dauert während des Frühlings und Frühsommers unablässig an, wobei der Boden mit jedem Windstoss sukzessiv eines Teiles seiner wertvollsten Bestandteile, des Humus, beraubt wird.

Während ich in der Litteratur recht oft Aussprüche in dem Sinne gefunden habe, dass der Wind und seine Arbeit an der Bildung von Ackererde beteiligt sein soll, ist es mir nur in wenigen Fällen gelungen, Äusserungen in Übereinstimmung mit der von mir selbst verfochtenen Ansicht zu finden, nämlich dass die grösste Bedeutung des Windes auf einem Acker unter Kultur, ökonomisch betrachtet, rein negativ ist, dass er im Gegenteil demolierend und zerstörend wirkt, indem er dem Boden die feinsten und wertvollsten Bestandteile entführt.

Natürlich finden sich zahlreiche Beispiele für Staub- und Sandstürme auf Kulturboden, welche zeigen, dass wirklich Deflation stattfindet, es ist jedoch zu beachten, dass alle diese Angaben, die ich finden konnte, sich nicht auf die humiden Gebiete beziehen, sondern ausschliesslich auf die ariden und semiariden Gegenden, z. B. die mittleren Staaten in USA.,

Kleinasien, Turkestan, Kalahari, Sahara und eine Reihe anderer Plätze, dagegen mit einer einzigen Ausnahme nicht auf Skandinavien. Diese einzige Ausnahme, die ich beim Durchsuchen einer recht umfangreichen Litteratur gefunden habe, ist die oben genannte von LINNÉ, der in seinen berühmten Arbeiten nicht nur die Arbeit des Windes, sondern auch die Massregeln erwähnt, die geeigneter Weise getroffen werden sollten, um den Boden gegen dessen verderblichen Einfluss zu schützen.¹

An mehreren Stellen spricht er auch von der Staubtrift auf Ackerboden, wovon folgende angeführt werden möge (1751, p. 239 f.): »Von dem Allem abgesehen würden solche Bäume (Weiden) das Land ansehnlich schmücken und vor dem Wind beschatten, der das Land austrocknet und in einem unsichtbaren Staub die feinste Ackerkrume mit sich führt und auf diese Weise tagtäglich den Boden erschöpft. Man sieht ja überall, dass der Graswuchs auf offenem Feld niedrig und mager ist, dagegen findet man, dass die mit Büschen und Bäumen eingehetzten Wiesenplätze den üppigsten Graswuchs tragen. Wenn der Acker im Frühling gepflügt (»körd«) wurde, staubt er zur Sommerszeit, wenn das Wetter windig ist, wodurch der allerfeinste schwarze Humus, die eigentliche und hauptsächlichste Nahrung der Pflanzen, fortgeblasen wird, und dieser fast unsichtbare Staub an den Zäunen liegen bleibt, wie Flugsand oder der Schnee im Winter; woraus folgt, dass der Graswuchs immer an den Zäunen am üppigsten ist. Der herrlichste Staub wird also weggeblasen, da er gegen alle Wetter offen daliegt, und kommt oft nicht eher zur Ruhe, als bis er in das Meer geworfen wird. So ist es mit Ölands Alfvar und vielen anderen Orten geschehen.« Ähnliche Aussprüche, dass der Humus weggeblasen wird, finden sich an mehreren anderen Stellen seiner Arbeit (cf. pp. 105, 114, 152, 292, 317).²

¹ Ich will hier erwähnen, dass LINNÉ schon 1751, d. h. 126 Jahre vor RICHTHOFEN, dessen Arbeit »China« nicht vor 1877 erschien, über die sortierende Fähigkeit des Windes bei Deflation auf Sandboden zur Klarheit gekommen war und soviel mir bekannt ist, ist er der erste (und einzige?), der in unserem eigenen Land Deflation eben mit Aussortierung von Material auf Acker- und anderem Boden beschrieben hat. So sagt LINNÉ 1751 in seiner »Skånska Resa« (p. 76): »Bei Åhus lag zu beiden Seiten des Flusses Flugsand in Menge auf den hochgelegenen Feldern, hauptsächlich jedoch auf der Südseite. Der Sand ist reinweiss, durchsichtig und fein; denn wenn ihm einige gröbere Partikel oder Grus beigemischt sind, bleiben sie liegen, wenn der feinere weggeflogen ist.«

² Es gewinnt also den Anschein, als ob RICHTHOFEN, als er 1877 seine Theorie über den Löss aufstellte und seine »Saigerungstheorie« formulierte, in LINNÉ bereits einen Vorgänger gehabt hätte, der, wenn er auch weder eine nähere Definition gab, noch eine Theorie über die Art und Weise aufstellte, auf welche die Aussortierung des Materiales vor sich geht, andererseits Gebiete behandelte, wo das Phänomen nicht so offenbar ist wie in den durch RICHTHOFEN studierten Gegenden.

Indess ist RICHTHOFENS Sortierungstheorie in diesem Zusammenhang von so grosser Bedeutung und besitzt auch für unser Land, besonders auf den Ackerboden im Frühling und Frühsommer, wenn die Verhältnisse in vieler Beziehung mit den in den ariden und semiariden Gebieten herrschenden gleichartig sind, so umfassende Anwendbarkeit, dass sie hier in extenso angeführt werden möge (RICHTHOFEN: China I, p. 98):

»Die geologischen Wirkungen des Windes sind hiermit noch nicht erschöpft. Denn

Ich habe hiermit den hauptsächlichlichen Verlauf der Winderosion auf Ackerboden skizzieren wollen, wie ich sie wahrgenommen habe und wie sie mir während der Jahre, über welche sich meine Untersuchungen an verschiedenen Plätzen innerhalb und ausserhalb unseres Landes erstreckten, zu verlaufen schien — Untersuchungen und Annahmen, die in keiner Weise mit den Untersuchungen im Widerspruch stehen, die von früheren Forschern in anderen Gegenden und unter anderen Verhältnissen angestellt worden sind.

Als Endresultat dieser oft zeitraubenden und oftmals ergebnislosen Untersuchungen über die Voraussetzungen, Bedingungen und Weise dieser Deflation kann folgende Zusammenfassung betrachtet werden:

dass die Erosion durch fliessendes Wasser auf einem Acker sehr begrenzt ist und dass die Möglichkeiten für eine solche auf leichteren Böden, deren Oberfläche in der Regel horizontal, deren Erde durchlässig ist und die in der Regel gedeckt drainiert sind, sehr gering sind, so dass man von derselben absehen kann,

dass die übrigen Erklärungen betreffs der Ursache für das Verschwinden des Humus, wie, dass derselbe ganz verbrannt oder oxydiert werden sollte, dass er bei der Abfuhr der Ernte vom Acker mitfolgen sollte, nicht hinreichend sein können, da dem Acker durch die Düngung jährlich neue Vorräte von Vermoderungsmaterial zugeführt werden und da ja weiters Wurzeln und zurückgebliebene Pflanzenreste, welche in den Boden eingepflügt werden, dazu beitragen, den Humusgehalt des Bodens zu vermehren, sowie

dass die Bedingungen für Deflation sehr günstig sind, da der von der Herbstpflügung bis zur nächsten Vegetationsperiode durch keine Vegetation geschützte Boden nicht auf dieselbe Weise geschützt ist wie vegetationstragender Boden,

dass besonders Frühling und Frühsommer im östlichen Skandinavien besonders trocken und arm an Niederschlägen, oft windig, sind, so dass der Boden leicht austrocknet und die Bedingungen für Deflation besonders günstig werden,

dass es, mit Rücksicht darauf, dass die Deflation in den ariden und semiariden Gebieten eine bedeutende Rolle spielt, und mit Rücksicht darauf, dass während des trockenen Frühlings und Frühsommers die Verhält-

sie sind nicht bloss segenspendend, wie in Khotan, sondern können auch in furchtbarer Weise verderblich sein, insofern der Wind Wüsten schafft. Denselben Saigerungsprocess wie das fliessende Wasser führt der Wind aus; aber sein Bett ist breiter und unbestimmter als das der Flüsse. Wo immer er den Steppenboden aufwirbelt, scheidet er die Bestandtheile nach ihrer Grösse, und bewegt sie mit verschiedener Geschwindigkeit vorwärts. Die leichten, thonigen Substanzen werden schnell als Wolken über Länder getragen und bleiben selbst bei ruhiger Luft noch schwebend, gerade wie wenn sie durch Flüsse in ein stilles Seebecken gelangen. Als eine langsame, furchtbare Fluth wälzt sich der Sand nach bestimmten Richtungen fort, und indem er immer wieder aufs neue umgekehrt und durchgeblasen wird, verliert er das letzte thonige Theilchen, das vielleicht noch nach einem Regenfall ein Samenkorn zum Sprossen zu bringen vermocht hätte...»

nisse in unserem Land mit den in diesen Trakten herrschenden ziemlich von gleicher Art sind, offenbar ist, dass die Deflation auch in unserem Land, besonders während des Frühlings und Frühsommers, ex analogia als ein Faktor in Anschlag zu bringen ist, wenn es sich um die Erklärung der Erdverminderung auf unseren leichteren Böden, besonders Sand- und Humusböden, handelt,

dass ich, nachdem es mir geglückt ist, auf experimentellem Weg sowohl im Feld als im Laboratorium vollkommen identische Phänomene zu erzielen, und da meine Untersuchungen ausnahmslos gezeigt haben, dass wir es hier mit einem Deflationsphänomen und nichts anderem zu tun haben, es als meine bestimmte Ansicht aussprechen will,

dass wir gerade in der Winderosion die Ursache oder, falls andere Ursachen mit einspielen, die wichtigste Ursache zu suchen haben, welche die seit Langem bekannte und in ihrem Umfang oft sehr bedeutende und schicksalsschwere Verdünnung und Verschlechterung der leichteren Sand- und Humusböden bewirkt. Finden sich andere wirksame Faktoren, so müssen sie als von untergeordneter Bedeutung angesehen werden.

Einer der wichtigsten Gründe dafür, dass man sich im Allgemeinen der Annahme, dass der Wind für die Erosion auf Ackerböden von grösserer Bedeutung sei, skeptisch gegenüber stellen möchte, ist der Umstand, dass man im Allgemeinen keine Ablagerungen oder Akkumulationen findet, deren Abstammung von Kulturböden sich mit Sicherheit feststellen lässt. Man raisonneert so, dass man sagt, wenn wirklich eine so bedeutende Erosion vor sich geht, dann müsste das weggeführte Material wohl irgendwo zur Ablagerung gelangen. Dass dies geschieht ist klar, dass aber diese Akkumulationen, die man in der Regel nachweisen kann, im Vergleich mit dem weggeführten Material so klein wirken, dürfte auf vielen Umständen beruhen. In erster Linie kommen die leichtesten und feinsten Partikel nicht in unmittelbarer Nähe des Feldes an Waldsäumen, Zäunen und dergleichen zur Ablagerung, sondern werden vom Wind hoch emporgeführt und können sich wegen ihrer Feinheit und dem relativ grossen Windfang, den diese Humuspartikel bieten, sehr lange in der Luft schwebend erhalten, wie z. B. vulkanische Asche, die, wie bekannt, wenn sie sehr hoch emporgeführt wurde, sehr weite Strecken zurücklegen und noch sehr lange nach dem Ausbruch in den höheren Luftschichten nachgewiesen werden kann.

In derselben Weise, wie die feine vulkanische Asche zur Entstehung von eigentümlichen Phänomenen in Form seltsamer Lichteffekte und dergleichen Veranlassung geben kann, können dies auch die feinen Humuspartikel tun und für die Landleute, welche Moor- und andere leichte Humusböden bebauen, ist der merkwürdige graue Himmel im Frühling

und während der Hochsommerdürre ein wohlbekanntes Phänomen. Während längerer Perioden von Dürre und Wind kann man sogar einen merkwürdigen Geruch wie von verbranntem Torf verspüren.

In grossen Torf- und Moorbodengebieten ist die Luft bei solchen Gelegenheiten so trübe, dass man am Nachmittag ohne Beschwerde die Sonne betrachten kann, die eine rotgelbe Farbe mit eigentümlichem Glanz hat. Es ist zu bemerken, dass die Staubpartikel, die von gut vermoderter Moorboden und dergleichen stammen, oft ausserordentlich klein sind. So habe ich bei vielen Gelegenheiten wahrgenommen, dass der Staub so fein war, dass er nicht nur durch die Überkleider (sogen. »over-alls«), sondern auch durch die Unterkleider drang, so dass jede Pore des ganzen Körpers wie ein schwarzer Punkt zu sehen war. Man kann sagen, dass praktisch genommen von gut sichtbaren Aggregaten von Humuskörnern bis zu Partikeln von einem Bruchteil eines Mikron alle Grössenordnungen vorkommen. Diese kleinen Partikel, die so klein sind, dass sie für das unbewaffnete Auge unsichtbar sind, werden von dem geringsten Windhauch aufgewirbelt und können sich dann sehr lange Zeit in der Luft schwebend erhalten.

Sie bestehen aus organogenen Partikeln, wie kleinen Zellfragmenten und dergleichen und bilden einen wichtigen Teil des atmosphärischen Staubes und sicherlich kann man überhaupt keinen atmosphärischen Staub finden, der von solchem organischem Material ganz frei ist. Sogar im Sciroccostaub haben, wie FREE (1911, p. 160 f.) erwähnt, mehrere Forscher solches gefunden. FREE sagt: »The material carried by the wind is not entirely mineral, but includes as well much vegetable matter, which is, of course, of importance in supplying humic materials to the soil«. Dieser Ausspruch zeigt, dass FREE in Übereinstimmung mit den meisten anderen Verfassern die grösste Bedeutung des Windes in seiner Eigenschaft als Erzeuger von für Vegetation geeigneter Erde sieht, und davon absieht, dass dieses organische Material irgendwoher stammen muss und dass ein überall in den tieferen Luftschichten vorhandenes Quantum organogenen Materiales, das über ein so ungeheures Areal ausgebreitet ist, in seiner Menge einer Erosion an den Stellen, von denen es herkommt, entsprechen muss. Da nun das Areal, welches derartiges organogenes Material hervorbringen kann, nur einen Bruchteil der ganzen Erdoberfläche ausmacht, versteht man, dass die Wirkung des Windes in Frage der organogenen Partikel bedeutend mehr erodierend als akkumulierend sein muss. Wenn das vom Wind getriebene Material auf eine Fläche niederfiel, deren Areal dem der erodierten Fläche gleichkäme, dann bestünde pro Flächeneinheit ein gewisses Gleichgewicht zwischen Erosion und Akkumulation, da nun aber z. B. in den humiden und kalten temperierten Regionen die bebaute, offene Erde, — im Übrigen ausser den erodierten Sumpf- und Moorböden die einzige, die die Luft mit organischem Material in grösserer Menge versehen kann —, im Vergleich mit dem totalen Areal dieser Gebiete eine so unbedeutende Fläche einnimmt und da die Verbreitung oft gerade

wegen der Feinheit des Materiales ungeheuer ist, wird man nur in extremen Fällen eine Akkumulation dieser Art von Triftmaterial nachweisen können und in den Fällen, in welchen man in einem Gehölz oder dergleichen Akkumulationen nachweisen kann, müssen diese mit Naturnotwendigkeit nur einen geringen Bruchteil des Materiales repräsentieren, dessen der Boden an der Luvseite beraubt wurde. In unmittelbarer Nähe eines Ackers liegen nur die Partikel, die in den tiefsten Luftschichten geführt wurden, wie Grobmaterial, Sand und Staubaggregate, die vom Wind nicht höher in die Luft und weiter über grössere Strecken geführt werden konnten.

Das gesamte Areal Schwedens macht mit Einschluss der Seen und Wasserläufe 44 809 147 Hektar aus und das totale Areal der Ackererde Schwedens betrug 1923 mit Einschluss des Gartenbodens 3 803 938 Hektar, d. h. der Ackerboden macht nicht ganz 8,5 % des gesamten Areales aus. Ein grosser Teil dieser Erde besteht aus schwereren Böden wie Lehm und Mergeln, d. h. aus Erde mit sehr kleiner Deflationskonstante. Wenn wir aber annehmen wollten, dass die Deflationskonstante für alle Böden dieselbe wäre, und wenn wir weiter annehmen wollten, dass aller Staub, der durch die Deflation dem Ackerboden entführt wird, innerhalb des Landes zur Ablagerung käme, so bedürfte es einer allgemeinen Deflation von ca. 107 cm auf dem Ackerboden, um eine durchschnittliche Decke von 10 cm Dicke über all dem anderen Boden zu erhalten, unter der Voraussetzung, dass nichts aus dem Land geführt wird und nichts in das Meer fällt. Da dies jedoch nicht denkbar ist, sondern man mit einem weiten Flug des feinsten Materiales rechnen muss, ist leicht einzusehen, warum man im Allgemeinen keine grösseren Akkumulationen von organischem, von der Ackererde stammendem Material finden kann. Die Akkumulationen, die man findet, sind somit verschwindend kleine Reste des Materiales, das von den Äckern entführt worden ist.

FREE sagt weiter (l. c., p. 160 f.): »On account of their low specific gravity and usually irregular form fragments of vegetable origin are transported with peculiar ease, and especially this is true of the finer dusts. Samples of blown dusts of all sorts invariably contain plant fibres, pollen, and other organic substances, as has been shown by many microscopical and chemical examinations. Among 50 samples of sirocco dust examined by Macagno and Tacchini 25 contained more organic matter than inorganic, 18 were predominantly inorganic, and 7 had approximately equal quantities of organic and inorganic constituents. The presence of organic matter in sirocco dusts has also been noticed by Sementini, Rissek, Arago, Bouis, Silvestri, von Lasaulx, von John, Passierini, Palmeri, Becke, Chauveau, and Früh. Organic material is present in cryoconite and has been found in volcanic dust, in dust collected from snow on the top of Ben Nevis, in dust from the cathedral tower of Nancy, France, in dust fallen in Indiana in January, 1892, and in dust from the south Russian dust storms. Tissandier found that ordinary atmospheric

dust contained from 25 per cent to 34 per cent of combustible organic matter . . . »

Diese von FREE gemachte Zusammenstellung ist von ausserordentlichem Interesse. Aus diesem Ausspruch geht hervor, dass das organogene Material in den Verunreinigungen der Luft quantitativ eine bedeutende Rolle spielt, und von besonders grossem Interesse ist in diesem Fall, dass nach MACAGNO und TACCHINI sogar der aus der Sahara stammende Sciroccostaub über die Hälfte aus organischem Material bestand. Danach erscheint es vernünftig anzunehmen, dass der atmosphärische Staub in überwiegendem Masse aus organogenem Material besteht, was auch durch TISSANDIERS Untersuchungen bezeugt wird, der gefunden hat, dass zwischen einem Viertel und einem Drittel des ganzen Staubes aus »combustible organic matter« besteht. Wenn diese 25—34 % Gewichtsprozent sind, dann muss das organische Material, in Volumprozenten ausgedrückt, das anorganische bei Weitem übertreffen.

Ausser der eben gegebenen Erklärung muss man den Umstand, dass man im Allgemeinen keine bedeutenderen Akkumulationen von Humus- und anderen organischen Partikeln antrifft, auch in hohem Grad dadurch verursacht betrachten, dass die organischen Partikel, wenn sie der Luft ausgesetzt werden, eine Oxydation erleiden. Der Unterschied zwischen den Verhältnissen auf dem Acker, wo nur die oberflächlichsten Lager der direkten Einwirkung der Luft ausgesetzt sind, ist recht bedeutend gegenüber denen, die an den Stellen herrschen, an welchen die Körner zu Boden fallen und wo dieselben, dem Wind und dem Wetter ausgesetzt, lose liegen und vor Allem über eine bedeutend grössere Fläche ausgebreitet sind als von welcher sie herkommen. Mit Rücksicht auf den Umstand, dass sie auf diese Weise dezentralisiert werden und nicht mehr grössere Lager von bedeutenderer Mächtigkeit bilden, kann man sich vorstellen, dass die fortschreitende Oxydation ihre Wirkung hier in bedeutend höherem Grad ausüben kann als auf dem Acker. Hier erst dürfte die Oxydation ihre grösste Rolle spielen oder sich durch ihre Wirkungen am deutlichsten äussern, während man sie auf dem Acker nicht als genügende Erklärung der Erdverdünnung betrachten und sie auch auf keine Weise als den Erklärungsgrund des Umstandes ansehen kann, dass der Unterschied zwischen Lee- und Luvexponierung so markant wird, dass man immer an der Leeseite grösseren Humusreichtum findet als an der Luvseite usw.

»The quantity of such dead plant material which is blown about by the wind is a matter of common knowledge, so obvious, in fact, that it has quite escaped attention«, sagt FREE (p. 161) in seiner Arbeit über »The Movement of Soil Material by the Wind« und in diesem augenscheinlichen Paradoxum liegt eine bedeutende Wahrheit, denn gerade die Tatsache, dass jeder Mensch aus Erfahrung weiss, wie intensiv Staub, verwelktes Laub und dergleichen an windigen Tagen herumwirbeln können, hat vielleicht veranlasst, dass man dem Phänomen keine beson-

dere Aufmerksamkeit geschenkt hat. Das ist eine sehr gewöhnliche Erscheinung.

Weiter oben habe ich in dieser Abhandlung auch darauf hingewiesen, dass diese Unterschätzung der Bedeutung der Deflation vermutlich auch darauf beruht, dass man im Allgemeinen Schwierigkeiten hat, sich über den Umfang und die Quantität der Deflation eine Auffassung zu bilden. In einem Flussbett, in dem das Wasser seine erodierende Wirkung ausübt, kann man leicht zwischen z. B. der Beschaffenheit des umgebenden Bodens, den Niveauverhältnissen usw. und zwischen diesen Fakta und der Tiefe des Flussbettes usw. gewisse Relationen erhalten, so dass man sich über den Umfang der Erosion eine Auffassung bilden kann. Das ist mit der Deflation nicht der Fall. Gewiss kann man an einer Dünenkette oder dergleichen, wo der Wind Kanäle, Furchen oder Gruben ausgehöhlt hat, eine gewisse, wenn auch nicht richtige, Auffassung von der wirklichen, aber nur lokalen Leistungsfähigkeit des Windes erhalten, und wenn man auch direkt das Volumen des Loches messen kann, das der Wind in einem solchen Fall in der Düne ausgehöhlt hat, so beziehen sich die erhaltenen Masse auf die Oberfläche der Umgebung, von der man aber nicht weiss, in welchem Grade diese selbst der Deflation ausgesetzt gewesen ist. Das Mass, das man auf diese Weise erhält, ist nur das Mass des Unterschiedes zwischen der Deflation zweier benachbarter Plätze, nicht das der Deflation an sich.

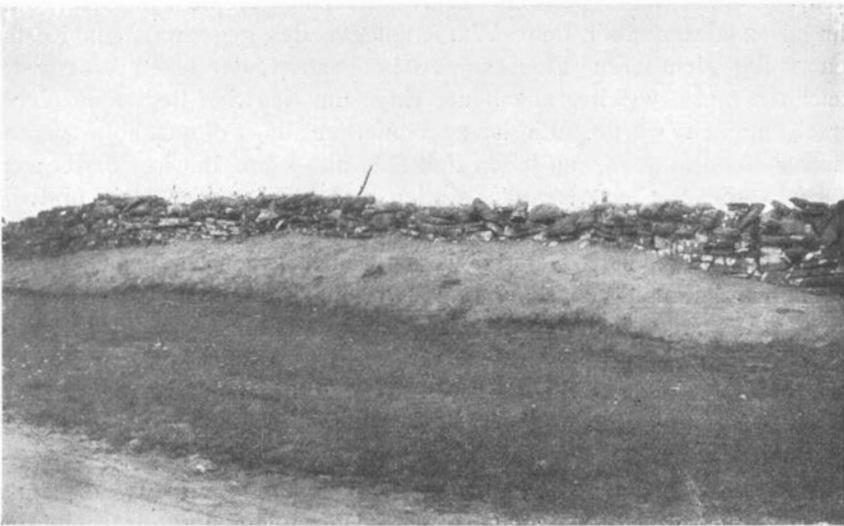
Ein anderer wichtiger Umstand ist der, dass man im Allgemeinen an die Vorstellungen gebunden ist, die mit der Erosion des fließenden Wassers verbunden sind, d. h. mit Erosion in bestimmten Furchen, Translokation von Erosionsmaterial über die allgemeine Böschung hinab usw. Man hat es dann schwer, sich von der ihrer Natur nach so verschiedenartigen Winderosion eine klare Vorstellung zu machen, da sie auf breiter Front arbeitet und nicht innerhalb gewisser Grenzen von den allgemeinen Neigungsverhältnissen abhängig ist, sondern eine Böschung bald aufwärts, bald abwärts blasen und daher das Material nach verschiedenen Richtungen führen kann. Es gibt wenige Plätze, wo die Winde so variabel sind, dass sie einander während der verschiedenen Tage des Jahres und der Jahreszeiten bezüglich ihrer Richtung und Stärke vollkommen kompensieren und, soweit meine eigenen Beobachtungen zutreffen, absolut keinen, wo das umhergeführte Material zur Gänze auf demselben Feld landet, von dem es herkam. Von dem Staub, der ausserhalb des Feldes niederfällt oder in Wald oder Wasser landet, ist bis auf Weiteres vollkommen abzusehen und wenn derselbe durch Vegetation oder andere Faktoren gebunden wird, kann er nicht mit einem entgegengesetzten Wind auf das Feld zurückkehren. Jeder, auch noch so variable und unbeständige Wind entführt dem Acker eine gewisse Menge von Feinmaterial und nur in seltenen Ausnahmefällen kann man davon sprechen, dass sie wieder zurückkehrt.

Wenn die Winde sehr konstant sind oder in dem Fall, dass ein Feld

gegen alle Winde mit Ausnahme eines einzigen geschützt liegt, kann man möglicher Weise darauf rechnen, im Lee des vorherrschenden Windes einige Spuren von Akkumulationen oder dergleichen anzutreffen. In jedem anderen Fall findet eine zentrifugal vom Feld und nach allen Seiten gerichtete Verteilung des Materiales statt und je weiter man sich von dem Feld entfernt, desto dünner und schwerer nachweisbar müssen die Akkumulationen werden.

Einige Methoden zur Bestimmung der Deflation und ihres Grades.

Auf einem grossen Acker, der keine Unebenheiten zeigt, kann es manchmal äusserst schwierig sein, ohne besondere Anordnungen eine De-



Verf. phot.

Fig. 50. Düne an der Leeseite einer Steineinfriedigung, Öland. Das Material stammt von Äckern in der Luvseite und besteht aus stark mit Erde vermischem Sand.

flation nachzuweisen oder gar irgendwelche Berechnungen über dieselbe anzustellen.

Am besten ist es, während einer Reihe von Jahren Pegelablesungen anzustellen oder nach gewissen Fixpunkten Nivellierungen vorzunehmen, um festzustellen, inwieferne nach einer gewissen Zeitspanne in den allgemeinen Niveauverhältnissen des Bodens, der Mächtigkeit des Kulturlagers und seinem Verhältnis zu den darunterliegenden Schichten eine Veränderung eingetreten ist.

Eine andere Methode, die ich teilweise zur Kontrolle der übrigen Messungen oder mangels besserer oft zur Bestimmung des Deflationsbetrages angewendet habe, ist die Bestimmung der Höhe des makroskopischen Flechtenrandes über der gegenwärtigen Bodenoberfläche.

Auf allen Steinen und Felsen, die über den Boden vorragen und

nicht einer grösseren Beschädigung ausgesetzt sind, bildet sich nach und nach ein Überzug von Krustenflechten und Moosen. Besonders die äusserst langsam wachsenden Flechten liefern in diesem Fall sehr sichere Ziffern für den Höhenunterschied des Niveaus zu der Zeit, als die Erde den Flechtenrand erreichte und seiner gegenwärtigen Lage. Betreffs des Flechtenrandes als Indikator in diesem Fall kann ich nach eigenen Beobachtungen sagen, dass sich derselbe während vieler Jahrzehnte, in einzelnen Fällen unter besonders günstigen Umständen während mehr als hundert Jahren mit Sicherheit bestimmen lässt. So habe ich an mehreren Stellen auf Kolmården am felsigen Ufer kleiner Seen Flechtenränder beobachtet, die, vollkommen deutlich und streng akzentuiert, Wasserstände bezeichneten, die in gewissen Fällen von mehr als 120 Jahren geherrscht hatten. Weiters habe ich in der Nähe meines Heimes in Östergötland mehr als 2 Meter über dem Wasserspiegel des gegenwärtigen Restsees einen völlig sichtbaren Flechtenrand beobachtet, der einen Wasserstand bezeichnen muss, welcher alle heute rings um den See liegenden Gehöfte überschwemmen würde. Es ist zu bemerken, dass die Gehöfte während mehrerer Generationen, auf jeden Fall über 200 Jahre, bewirtschaftet waren. Unterhalb dieses Flechtenrandes finden sich mehrere schärfere und diese zeigen die verschiedenen Stadien der Abzapfung an, die der See in späterer Zeit erlitten hat. Gerade wegen seiner Eigenschaft, sich während sehr langer Zeit völlig markant und deutlich zu erhalten, ist der Flechtenrand zur Anwendung als eine Art Norm für Messungen der Erdverminderung geeignet. Oftmals habe ich auch nichts anderes als den Flechtenrand zur Verfügung gehabt und die Messungen, die ich an ihm ausführen konnte, haben die auf andere Weise vorgenommenen oft auf eine glückliche Weise ergänzt.

Es ist jedoch zu bemerken, dass man in einem Fall wie diesem mit grosser Vorsicht zu Werke gehen muss. Durch Drainierungsarbeiten und die daraus folgenden Änderungen des Grundwasserniveaus usw. können Setzungen und dergleichen eingetreten sein, die Vermoderung des Bodens kann sich gesteigert haben, so dass er zusammengesunken ist usw. und man erhält in einem solchen Fall für die Erdverminderung natürlich einen viel zu hohen Wert.

Um völlig davon überzeugt sein zu können, dass derartige Vorgänge nicht mit eingespielt haben, habe ich in jedem einzelnen Fall über die Zeit einer solchen Drainierung genaue Erkundigungen eingezogen und weiters jeden zweifelhaften Fall ausgeschlossen, in dem ich nicht mit Bestimmtheit entscheiden konnte, ob nicht ein Faktor der angedeuteten Art eingewirkt hatte.

Auf Sandboden braucht man in der Regel grössere Setzungen in dieser Beziehung nicht zu fürchten, dagegen kann betreffs Moor- und vor Allem unvollständig vermoderten Sumpfbodens Zweifel herrschen.

Eine dritte Methode zur Berechnung der Erdverminderung erhält man durch die Bestimmung des Niveaus der Erdoberfläche im Verhältnis

zu Steinen, die früher von Erde bedeckt waren, aber nach und nach aus der Erde hervorzuragen begannen und schliesslich als sich über den Acker erhebende Steine hervortreten. Auch hier ist grosse Vorsicht von Nöten. Die Steine müssen von solcher Grösse sein, dass die Annahme ausgeschlossen ist, dass sie sich selbst z. B. durch Frostwirkung oder dadurch, dass sie beim Pflügen mit dem Pflug angestossen wurden, nach und nach gehoben haben, bis sie schliesslich an die Oberfläche zu liegen kamen. Bei meinen Untersuchungen habe ich immer solche Steine ausgeschlossen, die möglicher Weise auf solche Weise missdeutet werden konnten und mich nur an solche gehalten, die entweder erdfest waren, d. h. aus Findlingen von solchen Dimensionen bestanden, dass jede Verrückung z. B. durch die Pflüfung vollkommen ausgeschlossen war, oder auch an anstehenden Fels, was natürlich das Allersicherste ist.

Eines der schönsten, von mir beobachteten Beispiele habe ich in der untenstehenden Figur schematisch wiedergegeben. Im Jahr 1904 fanden sich im Acker zwei Felsen, die auch in der Flurkarte eingetragen sind, die

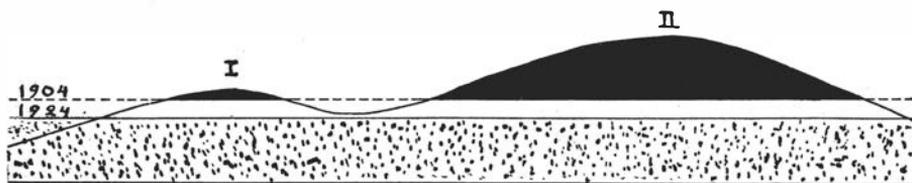


Fig. 51. Schematische Figur, die zeigt, wie zwei im Jahre 1904 getrennte Felspartien 20 Jahre später durch Verdünnung der Ackerkrume in eine einzige verwandelt sind. Der Unterschied zwischen den beiden Niveaus erreicht bis über 20 cm (Mittel 18 cm).

von dem Gebiet bei der Flurbereinigung dieses Jahres aufgenommen wurde. Jetzt sind diese zwei Felsen zu einem einzigen zweigipfeligen vereinigt und der Sattel, der früher von Erde bedeckt war, erhebt sich nun 10–12 cm über die Bodenoberfläche. Die Drainierungsverhältnisse wurden während dieser Zeit nicht geändert und der Boden ist ein Sandboden. Die Höhe des Flechtenrandes gibt hier ein absolut sicheres Mass für die Erdverminderung an diesem Punkt während der Zeit der Bebauung des Bodens, da während der Zeit vor 1904 dieser Teil des Feldes ein alter Wiesenboden war, der allem Anschein nach während sehr langer Zeit nicht unter dem Pflug gewesen war.

Hat man auf ähnliche Weise auf alle Umstände, die betreffs der Erdverdünnung eine Rolle spielen konnten, Rücksicht genommen, so kann man mit ziemlich grosser Sicherheit ihren Betrag während einer gewissen Zeit bestimmen.

Auf diese Weise ist es mir gelungen, eine recht grosse Anzahl ziemlich sicherer Werte zu erhalten, aus denen ich im Folgenden einige typischere Messungsreihen diskutieren will.

In vielen Fällen ist es nicht möglich, den Betrag der Deflation anders als ungefähr zu bestimmen. Das gilt besonders von solchen Böden,

in denen sich keine erdfesten Steine oder Felsen finden, die einen sicheren Anhaltspunkt geben könnten. Irgendwelche absolute Werte kann man in einem solchen Fall kaum erhalten, nur relative, die dann natürlich nur von theoretischem Interesse sind, aber doch auf jeden Fall eine ungefähre Vorstellung vom Durchschnittswert der Deflation vermitteln. In einem Fall, in dem man mit Sicherheit die vorherrschende Windrichtung kennt, hat man betreffs eines waldumschlossenen Feldes das Recht zur Annahme, dass in unmittelbarer Nähe des Waldrandes an der Luvseite eine hochgradigere Deflation nicht stattgefunden hat und dass man die Deflation praktischer Weise gleich Null setzen kann. Gewiss herrscht bei stärkeren Winden nicht einmal hier absolute Ruhe, sondern eine gewisse Menge von Feinmaterial wird wohl immer in die Luft gewirbelt, sicher kommt aber hier bei entgegengesetzten Winden eine Akkumulation zu Stande, so dass diese beiden Prozesse in entgegengesetzter Richtung wirken und einander zu kompensieren trachten.

Wenn die Bodenoberfläche äusserst eben und horizontal und das Erdreich selbst als Unterlage sehr homogen ist, kann man indess zwischen der Bodenbeschaffenheit im Lee und an exponierten Stellen gewisse Verschiedenheiten finden.

Ein typisches Beispiel dafür zeigen die Tabelle (p. 203) und Fig. 52, die ein Profil zeigt, das in Barlingbo Kirchspiel in der Nähe von Visby aufgenommen wurde. Das Erdreich besteht hier aus sehr homogenem, auf reinem Sand ruhendem Sandboden, in dem sich vereinzelt kleine Steine bis zur Grösse eines Eies, ausnahmsweise auch etwas grössere, eingestreut finden. Durch Entnahme von Proben aus der Schicht unmittelbar unter dem Kulturlager konnte ich die Anzahl der Steine mit einem Durchmesser von über 3 cm auf etwa 250 pr Kubikmeter schätzen. Diese Annahme ist natürlich ziemlich approximativ. Da das Feinmaterial über das ganze Feld ziemlich gleichartig war und man in den Probegruben überall gleichartiges Material mit ungefähr derselben Anzahl von Steinen pr Volumeinheit des Sandes unter dem Kulturlager fand, ging ich von der Voraussetzung aus,

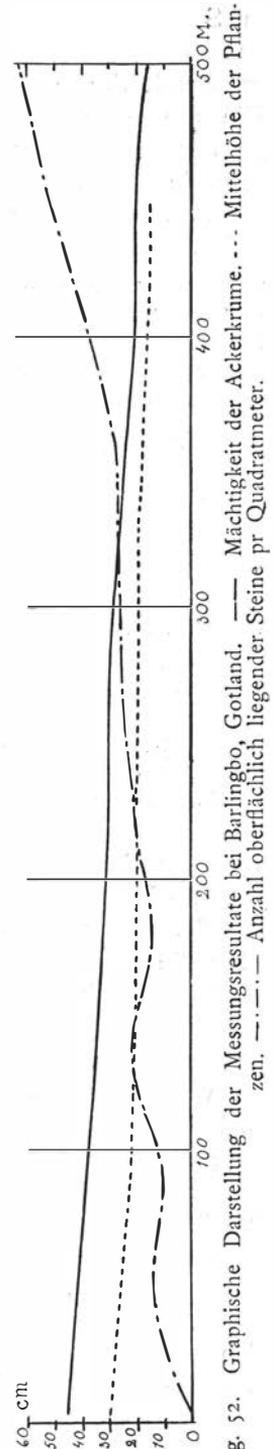


Fig. 52.

dass sich die Zahl der oberflächlich liegenden Steine in derselben Proportion vermehren musste, wie die Deflation das allgemeine Niveau senkte, so dass man in der Oberfläche eine immer grössere Anreicherung von Steinen traf, je weiter man auf das Feld hinausgelangte. Ich glaube mit dem höchsten Grad von Wahrscheinlichkeit annehmen zu dürfen, dass das Material zu Anfang überall äusserst gleichförmig war, denn ich konnte weder eine Vermehrung noch eine Verminderung der Anzahl der Steine pr Volumeinheit, sowie auch keine sichtbare Veränderung in der Korngrösse des ausgegrabenen Materiales im Übrigen nachweisen.

Bei vorgenommener Zählung zeigte es sich, dass sich die Zahl der Steine auf jeder Probefläche ziemlich gleichförmig vermehrte, je weiter man sich vom Leerande des Ackers entfernte. Ich gebe hier eine Tabelle über die gewonnenen Resultate.

Tabelle über die Messungsergebnisse bei Barlingbo, Gotland.
10/VII—1922. W—E.

Abstand in m (Q)	3	45	90	135	180	225	270	315	360	405	450	495
Tiefe des Kulturbodens, cm (R)	45	42	38	35	32	30	30	26	24	20	20	16
Zahl der Steine an der Oberfläche pr m ²	0	11	10	22	14	20	25	26	28	39	52	62
Ungefähre Zahl der Steine pr m ³ der tieferen Schicht . .	—	—	250	—	—	—	—	250	—	—	—	—
Grösste Höhe der Pflanzen in cm	30	26	22	21	20	20	19	19	18	16	15	—

Aus dieser Tabelle geht hervor, dass folgende Veränderungen sich geltend machen, wenn man sich vom Leerand entfernt und sich in der Richtung des vorherrschenden Windes bewegt:

a). Die Mächtigkeit des Kulturlagers vermindert sich ununterbrochen von 45 cm bis 16 cm. b). Die Anzahl der Steine vermehrt sich von 0—11 auf 52—62 pr Quadratmeter, und schliesslich c). Die Mittelhöhe der Pflanzen nimmt konstant ab, indem sie dem schützenden Waldrand am nächsten bis zu 30 cm und am weitesten draussen auf Feld nur 15 cm beträgt, was ja eine gewisse Vorstellung davon gibt, dass die Bedingungen für das Gedeihen der Pflanzen draussen auf dem offenen Feld bedeutend ungünstiger sind als dort, wo Ruhe herrscht. In diesem Zusammenhang will ich erwähnen, dass die Höhe der Pflanzen nicht deren wirkliche Höhe ist, sondern auf die Weise gemessen wurde, dass sämtliche Blätter in der Blattrosette der Pflanze zu einem Büschel zusammengefasst wurden, worauf der Abstand vom Boden zur äussersten Blattspitze gemessen wurde.

Draussen auf dem Feld wachsen die Pflanzen bedeutend mehr liegend als an den geschützten Stellen.

Über die Behandlung des Feldes wurde folgende Informationen gesammelt. Der Acker wurde gewöhnlich zu einer Tiefe von 8–10 Zoll, d. h. wenigstens 20 cm, gepflügt und war vor drei oder vier Jahren zu einer Tiefe von 12–15 Zoll, d. h. wenigstens 30 cm tief, tiefgepflügt worden.

Da die Untersuchung 1922 angestellt wurde, muss also 1918 oder 1919 das Kulturlager über das ganze Feld eine Mächtigkeit von bis zu 30 cm oder etwas mehr besessen haben. Wie aus dem Profil hervorgeht, zeigte das Lager im Lee des Waldes eine bedeutend grössere Mächtigkeit, nämlich 45 cm. Was uns in diesem Fall interessiert, ist der Umstand, dass grosse Teile des Feldes, nämlich die etwa 100 m vom Waldrand und die weiter gegen das Feld hinaus gelegenen, eine bedeutend dünnere Humusdecke hatten. Dieses Defizit scheint mir eine gewisse Auffassung von der Erdverminderung zu vermitteln, die auf diesem Teil des Feldes während der drei oder vier Jahre stattgefunden hatte, die seit der erwähnten Tiefpflügung verflossen waren.

Wegen der ziemlich unbestimmten Angaben »vor 3–4 Jahren« und »12–15 Zoll« sind folgende vier Fälle denkbar:

I:	Zeit 4 Jahre,	Tiefe 15 Zoll = 38 cm.	Verminderung 0–22, bzw. pr Jahr 0–5,5
II:	» 4 » , » 12 » = 30 »	»	0–14, » » » 0–3,5
III:	» 3 » , » 15 » = 38 »	»	0–22, » » » 0–7,3
IV:	» 3 » , » 12 » = 30 »	»	0–14, » » » 0–4,7

Wenn wir annehmen, dass diese nachgewiesene Verminderung sich von 0 am Waldrande in gleichmässigem Ansteigen bis zu dem am weitesten abgelegenen Beobachtungspunkt, d. h. bei 495 m, auf 22 oder 14 cm steigern sollte, so erhalten wir folgenden Wert für die totale Verminderung gemäss den verschiedenen Fällen:

A.	Mittelwert für das Feld nach	I = 5,5 : 2 = 2,75
	» » » » »	II = 3,5 : 2 = 1,75
	» » » » »	III = 7,3 : 2 = 3,65
	» » » » »	IV = 4,7 : 2 = 2,35

Wenden wir uns nun wieder zu den direkten Messungen auf dem Feld und stellen für jeden einzelnen Wert die entsprechende Berechnung an, so erhalten wir folgende Fälle:

B.	Q	3	45	90	135	180	225	270	315	360	405	450	495 m	M	M : 4	M : 3	
	R	45	42	38	35	32	30	30	26	24	20	20	16 cm				
	I, III	-7	-4	0	3	6	8	8	12	14	18	18	22	»	8,17	2,04	2,72
	II, IV	-15	-12	-8	-5	-2	0	0	4	6	10	10	14	»	-0,20	-0,05	-0,06

Im Fall I, III, wo man durch Rechnung findet, dass die Mächtigkeit des Humuslagers über dem ganzen Acker ca. 38 cm gewesen sein soll, erhält man eine durchschnittliche Verminderung über das ganze Feld (wenn man die beiden ersten Werte als Akkumulation in Rechnung stellt) von 8,17 cm, und im Fall II, IV keine Verminderung, sondern eher eine Vermehrung von 0,20 cm. Das dürfte jedoch aus verschiedenen Gründen nicht als möglich angesehen werden können. Es erscheint äusserst unwahrscheinlich, dass man aus der Mächtigkeit des Humuslager an den Stellen, wo sie den Betrag, bis zu welchem der Boden tiefgepflügt wurde, übersteigt, den Schluss zu ziehen hätte, dass eine Akkumulation von Material, das von den Teilen stammt, wo ein Defizit nachweisbar ist, stattgefunden habe. Da müsste diese Trift in einer dem vorherrschenden Wind entgegengesetzten Richtung stattgefunden haben, was gegen alle Erfahrung streitet. Da der Boden sehr intensiv bewirtschaftet wurde, kann eine Anreicherung des Humuslagers auf andere Weise stattgefunden haben, und es liesse sich auch denken, dass das, was ich als Kulturlager aufgefasst habe, nur eine humusreiche Schicht war, die nicht einmal von der letzten Tiefpflügung berührt worden war.

Da man nicht mit Bestimmtheit feststellen kann, ob man diese grössere Mächtigkeit als eine Triftakkumulation oder als nur auf dem Umstand beruhend ansehen soll, dass man bei der Pflügung noch nicht die untere Grenze des ursprünglichen Humuslagers erreicht hatte, dürfte es am besten sein, die Werte völlig auszuschliessen, welche den Betrag übersteigen, bis zu welchem die Tiefpflügung vorgenommen wurde.

Wir erhalten dann nach den direkten Messungen an Stelle der obigen Tabelle die folgende:

C.	Q	3	45	90	135	180	225	270	315	360	405	450	495 m	M	M:4	M:3
	R	45	42	38	35	32	30	30	26	24	20	20	16 cm			
	I, III,	—	—	0	3	6	8	8	12	14	18	18	22 »	10,9	2,73	3,63
	II, IV	—	—	—	—	—	0	0	4	6	10	10	14 »	7,3	1,83	2,43

Wir finden da, dass die Erdverminderung innerhalb der Teile des Feldes, wo sie mit einiger Sicherheit nachgewiesen werden kann, in dem einen Fall (Tiefkultur auf 38 cm und eine Zeit von 3 oder 4 Jahren) 0 bis 22 cm oder im Mittel 10,9 cm erreicht. Im anderen Fall bei einer Tiefpflügung von ca. 30 cm und unter im Übrigen gleichen Verhältnissen erreicht diese Verdünnung 0 bis 14 cm oder in Durchschnitt 7,3 cm.

Wenn wir diese verschiedenen Werte gemäss den verschiedenen Berechnungsgrundlagen A und C mit einander vergleichen, so finden wir eine grosse Übereinstimmung.

Jährliche Verminderung nach	A	C	Diff. cm	Diff. %
Nach Annahme I	2,75	2,73	0,02	0,73
» » II	1,75	1,83	0,08	4,31
» » III	3,65	3,63	0,02	0,55
» » IV	2,35	2,43	0,08	3,29

Daraus dürfte u. A. hervorgehen, dass man in gewissen Fällen berechtigt ist, die mittlere Verdünnung auf einem flachen, relativ homogenen Boden wenigstens approximativ zu bestimmen, indem man den Mittelwert aus dem höchsten und dem niedrigsten der gefundenen Werte bildet oder indem man den maximalen Wert approximativ halbiert, insofern sich auf dem Feld keine grösseren topographischen Einflüsse geltend machen.

Durch wiederholte Versuche dieser Art habe ich gefunden, dass der Unterschied zwischen den gemessenen und den berechneten Werten nur einige wenige Prozent ausmacht, weshalb man sich sehr wohl der Methode, den Maximalwert zu halbieren, bedienen kann, um eine Auffassung zu erhalten, die sich der Wirklichkeit nähert. Einen höheren Grad von Genauigkeit bietet die Methode nicht, ein solcher ist aber hier auch nicht erreichbar.

Um auf das oben von mir besprochene Profil von Barlingbo zurückzukommen, so fluktuieren die Werte ja ganz bedeutend. Es dürfte sich indess eine gewisse Ausgleichung dieser Werte vornehmen lassen. Wegen der unbestimmten Angaben über die Zeit und das Mass der Tiefpflüfung kann man annehmen, dass die gefundenen Zahlen eine Art von Grenzwerten darstellen, zwischen die man den tatsächlichen Wert einschliessen kann. Wenn wir annehmen, dass die Zeit $3\frac{1}{2}$ Jahre und die Tiefe allerhöchstens 34–35 cm betrug, so können wir die Werte vereinigen und berechnen, dass die jährliche Verminderung des Kulturlagers auf dem Feld ungefähr 1,8 bis 3,6 oder im Mittel 2,7 cm pr Jahr ausmache.

Es ist zu beachten, dass diese anscheinend abschreckend hohe Ziffer den vermutlichen Betrag der Verminderung während einer Periode typischer Bodenerschöpfung repräsentiert. Im Jahr 1922 wurden auf dem Feld Rüben und andere Hackfrüchte gebaut und während der Zeit, die seit der Tiefpflüfung verflossen war, hatte der Boden keine Gelegenheit seinen Humusgehalt zu vermehren. Während einer folgenden Periode von z. B. drei oder vier Jahren mit Anbau von Getreidepflanzen und darauf folgender Weidezeit erhält er eine gewisse Möglichkeit, seinen Humusgehalt zu vermehren und eine nennenswerte Deflation tritt dann nicht ein. Im Gegenteil kann man sich den Fall denken, dass dann eine gewisse Anhäufung von Staub von anderen Feldern an der Luvseite stattfinden kann.

Diese Deflation, für welche die angeführten Messungsergebnisse der Ausdruck sind, repräsentiert somit nur die Deflation während einer typischen Deflationsperiode und nicht die normale Veränderung der Erde, von deren Umfang in seiner Gänze man sich erst nach einer längeren Reihe von Jahren überzeugen kann.

Es gehört zu den Prinzipien des modernen Ackerbaus, auf einem gewissen Feld verschiedene Pflanzenarten auf einander folgen zu lassen, was entweder in sogen. freier Folge oder nach gewissen herkömmlichen Perioden der Fruchtfolge geschieht. Das bringt mit sich, dass der Boden während gewisser Perioden Schutz erfährt, nämlich wenn er Weidepflanzen

oder wenn er Herbstsaat trägt. Wenn diese Perioden von Ruhe und Deflation in regelmässiger Reihe auf einander folgen, so ist es klar, dass man aus der Deflation während eines Jahres, während welches der Acker brach liegt, nicht darauf schliessen kann, dass sie für die ganze Periode massgebend ist. In gewissem Grad kann man nach einer ganzen abgeschlossenen Periode die totale Veränderung berechnen, aber auch die Dauer und Beschaffenheit der Perioden können wechseln, so dass man erst nach einer längeren Reihe von Jahren zu einer halbwegs richtigen Auffassung gelangen kann.

Mit den verschiedenen Formen, die die Wechselwirtschaft in den verschiedenen Teilen unseres Landes annehmen kann, variieren auch die Bedingungen für Deflation auf Ackerboden in hohem Grad. Allein in Malmöhus län variiert die Fruchtfolge zwischen 4 und 10 Jahren und wenn man auch an vielen Orten, z. B. in Östergötland, vorzugsweise eines sechsjährige Fruchtfolge hat, so dürfte diese doch nur für strengeren Boden typisch sein und auch die sogen. oberschwedische (uppsvenska) 7-jährige Fruchtfolge erbieht auf verschiedenen Böden grosse Verschiedenheiten (vergl. SJÖSTRÖM, 1921). Da sich nicht mit Bestimmtheit entscheiden lässt, in welchem Grade die Fruchtfolge von Einfluss ist, muss man für den Deflationswert auf verschiedenen Böden äusserst approximative Zahlen erhalten. Fruchtfolge und Bau verschiedener Pflanzen sind auf einem grossen Gut andere als auf einem kleinen und ausserdem besteht zwischen leichtem und schwerem Boden ein grosser Unterschied.¹

Sowohl deshalb, weil sich das statistische Material einer Untersuchung wie dieser nicht verwenden lässt, als auch auf Grund des Umstandes, dass man nicht einmal auf einzelnen Gütern Jahr für Jahr bestimmten Prinzipien folgt, so dass man den Einfluss der Fruchtfolge halbwegs abschätzen kann, muss ich von jedem ernsteren Versuch einer Schätzung des Deflationswertes für verschiedene Böden Abstand nehmen.

Um für die Grösse dieser Deflation ein halbwegs zuverlässiges Mass zu erhalten, ist es, wie oben angeführt, notwendig, von einigen fixen und ihrer Grösse nach bekannten Daten auszugehen. Nur in seltenen Fällen gelingt es solche zu erhalten, und deshalb kann man keinen Wert erhalten, der als so zuverlässig betrachtet werden kann, dass man ihn als Konstante für eine bestimmte Bodenart setzen könnte.

Es sei zugegeben, dass man im Laboratorium gewisse Konstanten für die Fähigkeit des Windes, auf das Material sortierend zu wirken bestimmen kann, dann aber festzustellen, wie und wann diese Werte draussen in der Natur zur Anwendung kommen sollen, ist nicht möglich.

Wenige Dinge dürften so variierend und unbestimmt sein, wie gerade

¹ Ich habe auch den Versuch gemacht, an Hand der jährlichen statistischen Angaben über die Verteilung des Areales mit Rücksicht auf die verschiedenen Gewächse Schlüsse auf die durchschnittliche Fruchtfolge zu ziehen, es war aber nicht möglich zu bestimmten Resultaten zu kommen, da man die Bodenbeschaffenheit und eine Reihe anderer Umstände nicht kennt, die möglicher Weise von Einfluss sein können.

die Wirkungen des Windes und überall bemerkt man, wie ungemein die Wirkungen auch innerhalb ziemlich kleiner Gebiete variieren. Was für das eine Gebiet gilt, ist auf ein anderes vielleicht gar nicht anwendbar und deshalb ist es, praktisch genommen, unmöglich, Werte zu erhalten, die den allgemeinen Deflationsbetrag auf verschiedenen Böden und dergleichen in allgemeiner Weise ausdrücken, so wünschenswert das auch wäre. Jeder erhaltene Wert hat sein Interesse und seine Bedeutung nur für den Platz, an dem die Untersuchung ausgeführt wurde. Ebenso wechselnd wie die Zusammensetzung des Bodens an verschiedenen Plätzen, ebenso wechselnd wie die Topographie, die Drainierung, der Niederschlag usw. an verschiedenen Örtlichkeiten, ebenso variierend muss auch die Deflation ausfallen. Dazu kommt, dass, wie oben angeführt, die Art der Bebauung selbst äusserst verschieden ist, welcher Umstand seinerseits in verschiedenen Richtungen wirken muss. So ereignet es sich, dass Böden, die nach Zusammensetzung, Drainierung, Exposition und topographischer Natur vollkommen identisch sind, höchst verschiedene Deflationsbeträge aufweisen können, was auf der verschiedenen Art der Bebauung beruht.

Für einzelne Stürme ist es oftmals gelungen, für die Menge des fortgeblasenen Feinmaterials gewisse Werte zu erhalten. Absolute Zahlen sind wohl kaum zu erhalten, man kann sich aber doch eine gewisse Auffassung von der Gewalt bilden, mit welcher der Staub fortgeführt wird. Aus ariden und semiariden Gebieten sind ja solche zerstörende Staubstürme wohlbekannt und dass sie bedeutenden Schaden anrichten können, indem sie die Erde wegführen und dadurch die Wurzeln der Pflanzen bloslegen usw., wird von vielen Verfassern erwähnt. FREE (1911), der eine Zusammenstellung von Beobachtungen über »excessive blowing of the soil« angefertigt hat, berichtet u. a. einige Beispiele dafür, die hier erwähnt zu werden verdienen (l. c., pp. 164—165): »The damage caused in some places by wind removal of soil is quite comparable to that produced in other localities by water erosion, and consists not only in the loss of the soil material itself, which is usually relatively unimportant, but much more largely in the removal of soil from around the roots of plants, causing their death or loosening them, so that they themselves can be blown away The great dust storm of May 6—7, 1889, in the Middle West removed the soil in some places to a depth of 5 or 6 inches. Noble records the wind removal of 1 foot of soil from an area of over 100,000 acres in Australia. During the dust storms of the spring of 1894 in the south of Russia the soil was removed to an average depth of about 6 inches, and nearly 200 square miles were ruined. According to information obtained by Huntington the spring winds in the Turfan basin (Asia) not infrequently remove 2 or 3 inches of soil.«

Ähnliche Beobachtungen habe ich selbst und Andere, wenn natürlich auch in viel geringerem Masstab, an verschiedenen Stellen unseres eigenen Landes gemacht.

Im Anfang des Oktobers 1908 herrschte um mein Heim in Östergöt-

land, in Kvillinge Kirchspiel, ein sehr schwerer Sturm. Wir waren mit der Kartoffelernte beschäftigt und hatten eben die Arbeit beendet, als ein furchtbarer Sturm losbrach, der u. a. einen im Bau befindlichen Stall und Scheune niederriss. Nach diesem Sturm war der Ackerboden wie verwandelt. Grosse Flecken bestanden nur aus Grus und Sand und auf dem rein gelesenen Acker lagen überall Kartoffel und Steine völlig reingeweht. Ich berechne, dass an gewissen Stellen bis zu 5—6 cm Humus weggeführt wurden und dass der ganze Acker im Durchschnitt in einer einzigen Nacht um ca. 3—4 cm erodiert wurde.

Ein anderes Phänomen, das man auf leichteren Böden leicht wahr-



Verf. phot.

Fig. 53. Kartoffelfeld, Fårösund, Gotland. Der Boden ist so gut wie vollständig mit groben Steinen bedeckt. Am leeseitigen Rande einer niedrigen Terrasse ist die Vegetation am üppigsten.

nehmen kann und das ich sowohl in meinem Heim als an vielen anderen Stellen oft beobachtet habe, ist die Bloslegung der Saat, die im Frühling auf leichtem Humusboden eintritt. Man kann annehmen, dass beim Säen in Reihen mittels Maschine die Körner 1,5—3 cm unter der losen Erde begraben werden, so dass sie bei der Walzung 1—2 cm unter der Oberfläche zu liegen kommen. Nun kann es geschehen und geschieht gerade auf solchem Boden wie dem oben genannten oft, dass die Körner an exponierten Stellen, z. B. an der Luvseite von Hügeln und dergleichen nach einigen Tagen windigen Wetters frei und blosgeblasen liegen, so dass man deutlich die Reihen unterscheiden kann, in welchen sie gesät worden waren. Der Boden muss daher sehr stark gewalzt werden, damit die Körner nicht blosgelegt und ein Opfer der Vögel und anderer Tiere werden können. Ist aber die Erde sehr trocken, so hilft auch das kaum, son-

dern die Deflation wirkt auf diesen Boden ziemlich unabhängig davon, ob er gewalzt wurde oder nicht. In einem Fall wie dem genannten kann man an der Luvseite der Hügel während einer einzigen Periode windigen Wetters oder während der Zeit, die zwischen der Aussaat und dem Keimen der Körner vergeht, d. h. während einiger Tage bis höchstens ein Paar Wochen, mit einer Deflation von wenigstens 1 cm rechnen. Diese Tatsache habe ich oft an verschiedenen Stellen unseres Landes und besonders auf leichteren Moor- und Sumpfböden beobachtet. Man kann derartige Stellen leicht auffinden, wenn man beobachtet, wo sich Dohlen, Elstern und Krähen auf einem frisch besäten Acker sammeln.

Mit Rücksicht auf diese und ähnliche Beobachtungen, die keineswegs selten sind, enthält die Annahme einer Deflation von mehreren Zentimetern auf exponierten Stellen keine Gefahr einer Übertreibung, im Gegenteil könnte es oft wahrscheinlich erscheinen, dass die Deflation auch in unserem Klima noch grösser werden könnte.

In Halland, wo man besonders an den Stellen, die für die Winde vom Meer offen liegen, den Angriffen der Winde ausgesetzt ist und wo die Deflation manchmal während einer einzigen Sturmperiode recht beträchtliche Beträge erreicht, kann man oft hören, wie der Sand wirbeln



Fig. 54. Schematische Darstellung des Aussehens der Vegetation in verschiedenen Teilen einer Einsenkung in einem Feld.

kann. Er wirbelt gewiss nicht wie damals, als die Dünen am Strand noch nicht gebunden waren, doch erzählte mir ein Mann in Trönninge, dass es oft sehr schwer war, auf Hügeln, Böschungen und dergleichen Gewächse zum Gedeihen zu bringen, da der Sturm den Humus wegfegte, so dass die Wurzeln entblösst wurden. Besonders Erbsen, Bohnen und einige Küchengewächse, auch Kartoffel, sollen dem ausgesetzt sein. Wenn es stark blies, bevor sich diese Pflanzen bewurzelt und hinreichenden Halt gefunden hatten, geschah es, dass auf Garten- und Gemüseland die Pflanzen des luvseitigen Randes so unterminiert wurden, dass sie umfielen. Man sieht auch, dass überall die Pflanzen der Luvseite bedeutend kleiner sind als die der Leeseite.

Einen eigentümlichen Fall von Windwirkung auf angebaute Pflanzen beobachtete ich unmittelbar südlich von Halmstad. In der Mitte eines Rübenfeldes stand eine grössere Scheune, um die sich bezüglich der Höhe der Pflanzen ein wahrhaftiger Windkessel gebildet hatte. Während die Pflanzen in einem Abstand von etwa 5 m von der Scheune ein üppiges und wohlgestaltetes Aussehen hatten, waren sie innerhalb dieses Umkreises schwächlich, verkümmert und bedeutend kleiner als ihre Nachbarn auf dem freien Feld. Manche waren unterminiert, so dass 3—5 cm des Wurzelhalses über der Bodenoberfläche lagen und manche waren umgefallen und verwelkt.

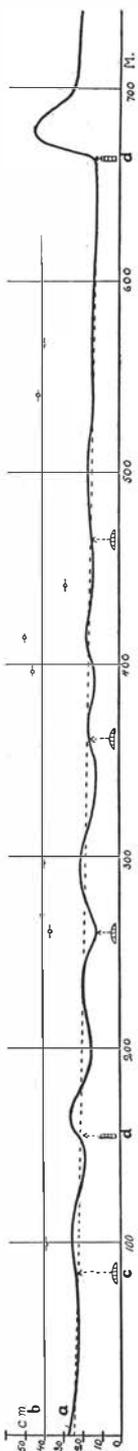


Fig. 55. Graphische Darstellung der Messungsergebnisse bei Kvie, Gotland. a. Mächtigkeit der Ackerkrume. b. Der makroskopische Flechtenrand. c. Erhebungen, Hügel u. dgl. d. Zäune. Die gestrichelte feine Linie gibt die durchschnittliche Abnahme der Mächtigkeit der Ackerkrume von W gegen E an.

Ähnliches habe ich auch auf Öland an mehreren Orten wahrgenommen. Besonders empfindlich für Schädigung durch den Wind scheinen viele Arten der Gattung *Beta* zu sein, besonders die Zuckerrübe, aber auch andere Pflanzen, z. B. die Kartoffel, scheinen in diesem Fall ungemein empfindlich zu sein. Im Lee von Steineinfriedigungen und anderen Hindernissen sieht man immer, dass die Pflanzen grösser und üppiger sind als draussen auf dem Feld und die geringste Unebenheit im Terrain mit daraus folgenden wechselnden Leeverhältnissen gibt sich unfehlbar in der variierenden Üppigkeit der Pflanzen zu erkennen.

Mit grösster Wahrscheinlichkeit spielt hier auch der Umstand mit, dass im Lee einer derartigen Erhöhung ein gewisser Grad von Staubakkumulation eintritt oder wenigstens keine so starke Deflation oder Austrocknung der Erde zustandekommt, so dass der Unterschied zwischen Lee und luvseitigem Abhang stärker akzentuiert wird.

Eine Senke oder mehr oder minder quer zur vorherrschenden Windrichtung verlaufende Furche gibt sich immer durch ihren üppigeren Pflanzenwuchs zu erkennen, wenn sie auch so seicht ist, dass sie mit dem blossen Auge kaum bemerkbar ist. Das Gleiche gilt auch von einer rückenartigen Erhöhung wegen des Lee, das sie erzeugt.

Dabei kann fluviale Erosion kaum eine andere als untergeordnete Rolle spielen, denn wenn sie verursachen sollte, dass sich der Humus im Boden von Senken und dergleichen sammelt, so würde sich das mit dem Wasser mitgeführte Material am weitesten unten in den tiefsten Partien sammeln und nicht teilweise auf den Böschungen oberhalb verteilt werden usw.

Diese grosse Bedeutung der Topographie für die Verteilung von Akkumulation und Erosion wird vielleicht am besten durch ein Beispiel beleuchtet und ich teile hier ein Profil mit, das auf einem Boden mit schwach welliger Oberfläche aufgenommen wurde. (Vergl. Fig. 55).

Wir sehen unmittelbar, wie sich jede Unebenheit im Terrain sowohl in der Mächtigkeit des Humus als in der Höhe des Flechtenrandes über dem Boden widerspiegelt. Von besonderem Interesse ist die

augenfällige Akkumulation, die drin im Wald unmittelbar innerhalb des Zaunes stattgefunden hat und die sich noch ein gutes Stück innerhalb des Waldrandes nachweisen lässt.

Es hat sich so gut wie ausnahmslos gezeigt, dass man sich die Deflationskurve im Grossen und Ganzen als eine gerade Linie denken kann, sei es, dass man von der Mächtigkeit des gegenwärtigen Humuslagers, sei es, dass man vom Flechtenrand usw. ausging, und dass man daraus den Schluss ziehen kann, dass sich die Deflation konstant vermehrt, je weiter man sich vom Lee entfernt. Gewiss können auch Kurven von anderem Typus vorkommen, sie sind aber sicher als Resultat von Zufälligkeiten, wie wechselnde Bewirtschaftungsmethoden auf verschiedenen Feldern usw. zu betrachten. Ich teile hier weiters eine Kurve über die Erdverteilung auf einem Gut in Vesterhejde auf Gotland mit (Fig. 56). Wir sehen, wie die beiden Kurven für Erdmächtigkeit und Steinanzahl anfangs gegen 150 konvergieren. Dann divergieren die Kurven gegen 200, konvergieren neuerdings, worauf sie bei etwa 300 wieder konvergieren. Bei 390 schneiden die beiden Kurven einander.

Man sieht hier unmittelbar, wie ein vollkommen gleich lange bebauter Boden von ziemlich gleichartiger Beschaffenheit durch verschiedene Bewirtschaftungsmethoden der Deflation auf verschiedene Weise ausgesetzt wird. Hätte das ganze Feld die gleiche Bewirtschaftung u. dgl. erfahren, so hätte man gefunden, dass die Kurven ziemlich geradlinig verlaufen, die eine mit immer steigendem, die andere mit fallendem Wert. Eine Vermehrung in der Mächtigkeit des Humus gibt sich unmittelbar in einer Verminderung der Anzahl der oberflächlich liegenden Steine zu erkennen und umgekehrt. Die Ursache der vermehrten Mächtigkeit bei etwa 300—390 lag gemäss Angabe darin, dass das Gebiet bis 2 Jahre vor der Vornahme der Messung hauptsächlich teils zur Gewinnung von Grünfutter, teils durch mehrere Jahre als Weidegrund verwendet worden war, während die Felder zu beiden Seiten mit Frühjahrssaat und während einiger der spätesten Jahre mit Hackfrüchten bestellt worden waren.

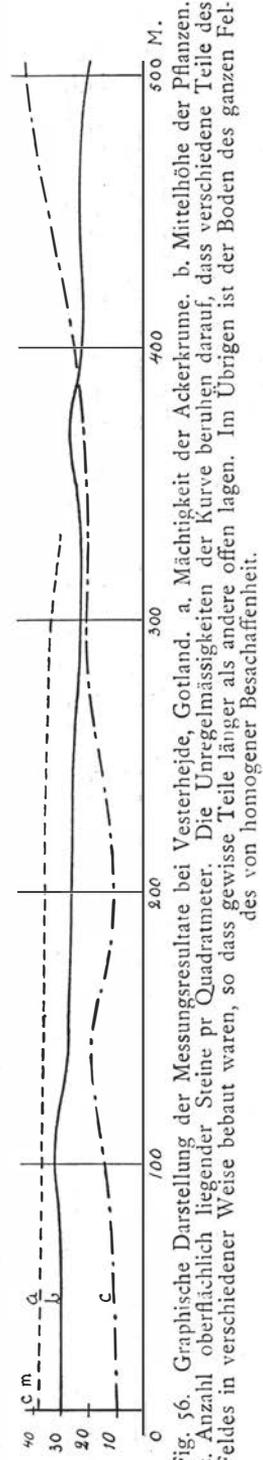


Fig. 56. Graphische Darstellung der Messungsergebnisse bei Vesterhejde, Gotland. a. Mächtigkeit der Ackerkrume. b. Mittelhöhe der Pflanzen. c. Anzahl oberflächlich liegender Steine pr Quadratmeter. Die Unregelmässigkeiten der Kurve beruhen darauf, dass verschiedene Teile des Feldes in verschiedener Weise bebaut waren, so dass gewisse Teile länger als andere offen lagen. Im Übrigen ist der Boden des ganzen Feldes von homogener Beschaffenheit.

Bezüglich Feldern, die entweder klein und von hohem Wald umgeben oder variabeln Winden von ungefähr gleicher Stärke ausgesetzt sind, zeigt sich, dass auf solchen die Deflationskurve ein ganz anderes Aussehen erhält. Man muss jedoch in solchen Fällen bei der Messung mit besonders grosser Sorgfalt zu Wege gehen, da diese isolierten kleinen Felder — wenn es sich z. B. um Sumpf- oder anderen feinen Staubboden handelt — gewöhnlich in kleinen lokalen Depressionen angelegt sind, die früher von kleinen Waldseen oder Sümpfen im Walde eingenommen waren. Auf Sandböden oder dergleichen wird das Verhältnis einfacher und man kann dort Werte erhalten, die als ziemlich sicher betrachtet werden können, während man gleichzeitig annehmen kann, dass der Boden früher auf demselben Niveau gelegen war wie der umgebende Waldboden.

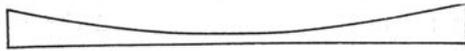


Fig. 57. Schematische Darstellung der Mächtigkeit der Ackerkrume auf einem kleineren, relativ geschützten Gebiet oder wo die Winde besonders variabel sind.

Es ergibt sich indess sowohl aus dem Flechtenrandphänomen als aus allem andern, dass die Kurve das allgemeine Aussehen erhält, das durch die oben stehende graphische Darstellung, Fig. 57, veranschaulicht wird. Die Kurve zeigt an den Rändern des Feldes eine grössere Mächtigkeit, während sich mitten auf dem Feld eine deutliche Depression geltend macht. Das ist typisch, wenn auch gewisse Modifikationen und Übergangsformen vorhanden sind. So glaube ich gefunden zu haben, dass die Deflation auf derartigem Boden wenigstens in den östlichen und südöstlichen Teilen unseres Landes in der Regel nahe der nördlichen und



Fig. 58. Schematische Figur, welche die Mächtigkeit der Ackerkrume in einem teilweise abgeschlossenen Gebiet zeigt oder wo ein Wind mehr vorherrschend ist als die übrigen.

östlichen Seite oder im Allgemeinen auf der Nordosthälfte am grössten ist, so dass die Erddecke ungefähr bei $\frac{2}{3}$ bis $\frac{5}{6}$ der Länge einer in der Richtung SW—NE über derartigen Boden gezogenen Profillinie am dünnsten ist. (Vergl. Fig. 58).

Weiters hat es sich gezeigt, dass im dem Fall, dass das Feld zur Richtung der im Frühling vorherrschenden Winde schräg liegt und der Wind infolgedessen schräg gegen einen Waldsaum abgelenkt wird, der Ackerboden letzterem zunächst am meisten ausgesetzt ist. Es beruht das vermutlich darauf, dass eine Zusammendrängung der Stromlinien der Luft eintritt, wodurch die Windstärke hier eine Steigerung erfährt, was seinerseits die Erosionskraft des Windes gegenüber der auf dem offenen Feld vorhandenen steigert.

Ich habe im Vorhergehenden an mehreren Stellen die Bedeutung der Topographie für Deflation und Akkumulation betont und hervorgehoben, wie sich die geringste Unebenheit des Bodens auf die eine oder andere Weise deutlich zu erkennen gibt. Ich habe indess eine Beobachtung gemacht, für die ich bisher keine plausible Erklärung finden konnte, dass nämlich gerade an der Leeseite eines Grabens, d. h. einer im Verhältnis zu ihrer Breite ziemlich tiefen Depression, oft eine Akkumulation nachweisbar ist.

Ich habe das zu wiederholten Malen wahrgenommen und das Phänomen kann vielleicht am besten durch die folgende Skizze, Fig. 59, illustriert werden. In all den Fällen, wo dies möglich war, habe ich Erkundigungen eingezogen, ob nicht Material aus dem Graben selbst ausgehoben wurde und direkt zu dieser Materialanhäufung beitragen konnte oder ob sich nicht früher im Graben selbst Büsche oder dergleichen befunden hatten, die dem Boden ein Lee bieten konnten, so dass eine Akkumulation zur Ablagerung kam, in vielen Fällen jedoch, in denen mit abso-

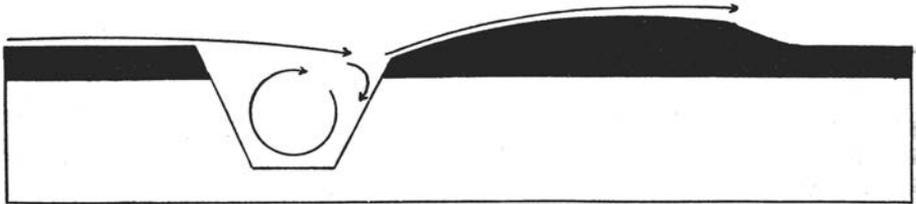


Fig. 59. Vermutlicher Verlauf der Stromlinien des Windes an einer tieferen transversalen Bodensenke, einem Graben oder dgl.

luter Sicherheit diese Faktoren nicht mitspielen konnten, zeigte sich trotzdem, dass über eine gewisse Strecke vom Graben und gegen Lee zu eine wirkliche Vermehrung nachgewiesen werden kann. In unmittelbarer Nähe des Grabens und einige Meter von demselben kann man eine direkte Erosion nachweisen, dann aber eine deutliche Akkumulation. Man kann sich vielleicht denken, dass gerade im Graben selbst eine Niederbeugung der Stromlinien der Luft stattfindet, worauf sie gegen den Grabenrand deflektiert werden.

Versuch zur Schätzung des jährlichen Deflationsbetrages.

Zu wiederholten Malen wurde ich im Verlauf der Arbeit von interessierten Personen aufgefordert, eine Ermittlung des Betrages durchzuführen, mit dem die Deflation unter verschiedenen Bedingungen und auf verschiedene Bodenarten wirkt, und auch ich selbst war von diesem Problem lebhaft interessiert, das so nahe liegt und so äusserst schwer zu lösen ist.

Während der ersten Jahre meiner Untersuchungen und Studien war ich vielleicht geneigt, die gefundenen Werte allzusehr zu verallgemeinern

und ich liess mich durch die damals gewonnenen Resultate verleiten sogar eine Reihe von Werten zu veröffentlichen, die ich damals als Minimalwerte oder besser gesagt als niedrige Mittelwerte für die Deflation auf leichteren Sand- und Moorböden ansehen zu können glaubte. In einem Aufsatz in *Sveriges Natur* 1924 publizierte ich eine Zusammenfassung eines Teiles der bis 1922 gefundenen Resultate, eine Umrechnung aber teils dieser, teils neuerer Resultate, zu denen ich während der letzten Jahre gelangt war, zeigt, dass die Ziffern, die ich damals nannte, — 0,1 bis 0,5 mm für die Vertikalerosion auf leichtem Sandhumus in den ostschwedischen Landschaften und 0,3 bis 1,1 mm für Öland und Gotland für Boden derselben Art — ganz und gar zu niedrig sein dürften.

Es ist jedoch nicht genug damit und ich will selbst der Erste sein, der eingesteht, dass die numerischen Berechnungen, die ich damals gab, nicht stichhaltig sind. Ich hatte angegeben, dass diese von mir angenommenen Mittelwerte mit Ausserachtlassung von lokalen Einflüssen für grosse Teile unseres Landes als repräsentativ betrachtet werden können sollten. Ich will folgenden Passus anführen: »Diese Werte sind als eine Art niedrigerer Mittelwerte zu betrachten, denn die erste Ziffer ist ein Minimalwert aus einer sehr grossen Zahl von Untersuchungen, während die zweite ein Mittel aus einer grossen Zahl von Mittelwerten ist. Tatsächlich ist es nichts ungewöhnliches, eine ganze Reihe von mehrmals grösseren Werten anzutreffen, da ich jedoch der Meinung war, dass dieselben mehr auf lokalen als auf normalen Verhältnissen beruhen, glaubte ich sie nicht mit berücksichtigen zu sollen.« (Vergl. SAMUELSSON 1924, p. 84).

Als ich, 1922—23, diese Schlüssätze zog, war meine Auffassung also die, dass man versuchen solle, so viel als möglich von den lokalen Verhältnissen abzusehen und sich an solche Fälle halten sollte, in denen man keinen beträchtlicheren Einfluss der topographischen Details anzunehmen brauchte.

Man kann diesen Gedankengang vielleicht für richtig halten; nach der bestimmten Auffassung aber, zu der ich später gekommen bin und in der ich nach und nach immer mehr bestärkt wurde, darf man absolut nicht von dem Einfluss der lokalen Erscheinungen absehen, vor Allem nicht dem Einfluss derer, die durch die verschiedene Bewirtschaftungsweise und dergleichen verursacht werden.

Es verlohnt daher nicht der Mühe, eine Tabelle für die Wirkung der Deflation auf die verschiedenen Bodenarten mitzuteilen und ich will nur eine Zusammenstellung geben, die zeigt, zu wie verschiedenen Resultaten ich betreffs der Erdverminderung auf verschiedenen Bodenarten gekommen bin. Es ist zu beachten, dass vielleicht nicht alle Bezeichnungen mit den für die Klassifizierung der Bodenarten konventionellen zusammenfallen; ich bin statt dessen der unter den Landleuten gebräuchlichen Terminologie gefolgt. Alle Resultate beziehen sich auf gut drainierte, durchlässige und ziemlich leichte Böden. Die Tabelle enthält somit keine Messungsergebnisse von strengen Lehmen und Lehmböden überhaupt.

I. Sehr feine Moorerde, schwarzer Humus und gut vermoderte, nicht fibröse Torferde	bis zu 60 mm Vertikalerosion		
II. Weniger gut vermoderte Torferde mit Fasern, grösseren Pflanzenfragmenten usw.	» » 45 »		»
III. Humusreiche, feine Sanderde (leichter Sandhumus) » » 25 »			»
IV. Humusreiche, gröbere Sanderde (Sandhumus) . . . » » 12 »			»
V. Feine Sanderde (leichte Sanderde) » » 10 »			»
VI. Größere Sanderde » » 6 »			»
VII. Grobe Sanderde » » 4 »			»
VIII. Gruserde » » 4 »			»
IX. Moränenerde (Urgesteinsmoräne, humusreicher) . . » » 12 »			»
X. Moränenerde (Urgesteinsmoräne, humusärmer) . . . » » 4 »			»

Es muss mit Bestimmtheit hervorgehoben werden, dass diese Werte an und für sich unter keinen Umständen in anderer Beziehung als richtig betrachtet werden dürfen, als dass sie Mittel aus einer Reihe von Werten darstellen, die ich bei der Untersuchung einer Reihe verschiedener Bodenarten gefunden habe. Wo z. B. für die erste Gruppe der wirkliche Mittelwert liegt, lässt sich nicht entscheiden. Die Zahl 60 bedeutet das Mittel aus dem Maximalwert von bis zu 30 Messungen auf derartiger Erde, aber dabei habe ich auch Werte gefunden, welche diese Zahl um ein Vielfaches übersteigen, z. B. an einer Stelle, wo ein ehemaliges Lee- oder vielleicht sogar Akkumulationsgebiet durch Abholzung des Waldes in ein typisches Deflationsgebiet verwandelt worden war, von dem im Verlauf eines einzigen Jahres nicht weniger als etwa 20 cm des Humus fortgeblasen wurden.¹

Für Gruppe II (weniger gut vermoderte Torferde) zeigen die Resultate einer Reihe von mir ausgeführter Messungen eine etwas geringere Erdverminderung als für die vorhergehende Gruppe, doch kommen höchst abweichende Ausnahmefälle vor, die, soweit ich aus einigen vereinzelt Beobachtungen einen Schluss zu ziehen wage, auf eine geradezu grössere Deflation hindeuten als in dem vorhergehenden Fall.

Der Wert, für den ich die geringsten Abweichungen gefunden habe, ist der für feine Sanderde, typische sogen. Kartoffelerde, geltende. Ich will aber auch hier nicht behaupten, dass die Maximaldeflation von ca. 1 cm pr Jahr wahrscheinlich ist, denn das würde für 100 Jahre eine Senkung der Bodenoberfläche mit 1 m bedeuten, was höchst bemerkenswert wäre.

¹ Dass er wirklich weggeblasen wurde, wird durch viele Umstände bezeugt, u. a. dadurch, dass sich auf der Oberfläche eines kleinen Sees im Lee des Feldes an windigen Tagen eine dämpfende Haut von Staub bildete, die durch den Wind an die gegenüberliegende Seite des Sees geführt wurde, wo sie einen so effektiven Wellendämpfer bildete, dass der Wellenschlag ca. 15 m vom Ufer aufhörte. Ich habe das Phänomen zu wiederholten Malen wahrgenommen und die Staubschicht, die auf dem Wasser lag, war so dicht und zusammenhängend, dass vom Boden aufsteigende Luft- oder Gasblasen sie nicht zu durchdringen vermochten, sondern stundenlang als halbkugelförmige Eihöhlungen an der Wasserfläche stehen blieben.

Unter den von mir gefundenen Werten scheint mir der für humusreiche Moränenerde der beachtenswerteste zu sein, da diese eine Verminderung von bis zu 12 mm pr Jahr zeigen würde, also ebenso viel wie humusreiche Sanderde, während andere Moränenerde sich als zu der Klasse gehörig zeigt, die am wenigsten beeinflusst wird.

Wenn die von mir angeführten Ziffern auch nicht als Werte für den wirklichen Verminderungs- oder Deflationsbetrag taugen, so können sie doch durch ihr Verhältnis zu einander eine gewisse Auffassung davon geben, wie sich die verschiedenen Bodenarten bezüglich der Deflation verhalten.

Wenn wir nun die gefundenen Werte als relative Zahlen betrachten und von den grössten Erden (grobe Sanderde, Gruserde und humusarme Moränenerde) ausgehen und deren Verdünnungswert als Einheit = a setzen, so erhalten wir folgende Tabelle für die Maximaldeflation der verschiedenen Böden in a ausgedrückt.

Grobe Sand-Gruserde, humusarme Moränenerde	=	a
Gröbere Sanderde	= ca.	1—2 a
Feine Sanderde (leichte Sanderde)	= »	2—3 a
Sandhumus und humusreiche Moränenerde	= »	3—4 a
Leichter Sandhumus	= »	6—7 a
Minder gut vermoderte Torferde	= »	11—12 a
Gut vermoderte Torferde, Moor und schwarzer Humus	= »	15 a

Das gilt somit für die Beziehungen zwischen den Maximalwerten, welche die Erdverminderung gemäss den Messungen erreicht. Der Unterschied zwischen den wirklichen Mittelwerten dürfte indess nicht so gross sein wie aus den Maximalwerten hervorgeht, sondern sicher dürfte z. B. die Deflation auf Moorboden die auf Grus- und Sandboden nicht mehr als um das 7- bis 8-fache übersteigen. Wenn es sich so glücklich gefügt hätte, dass man auf Grund der Messungsergebnisse eine Frequenzkurve über die Anzahl der Fälle hätte aufstellen können, für die man die gleichen Werte erhielt, dann hätte man den wahrscheinlichen Mittelwert für jede einzelne Bodenart zwischen zwei Grenzwerte einschliessen und mit einem gewissen Grad von Wahrscheinlichkeit sagen können, dass die Deflationskonstante für diese oder jene Bodenart unter gewissen Bedingungen diesen oder jenen Wert hat. Ich will ein Beispiel anführen. Für leichte Sanderde habe ich die Zahl 10 angeführt, die den höchsten Mittelwert ausmacht, den ich auf einem Feld von mindestens 1 Hektar gefunden habe. Für andere Probeflächen habe ich vielleicht kleinere Werte in gleichmässiger Serie 9—8—7—6—5—4—3—2—1—0 gefunden, vielleicht jedes Mal verschieden. Wäre nun z. B. 4 der häufigst vorkommende Wert gewesen, dann hätte man ein gewisses Recht zur Annahme gehabt, dass gerade 4 mm Vertikalerosion die Zahl ist, die dem wirklichen Durchschnittswert am nächsten liegt, da man aber ebenso oft die Zahl 8 oder 1 gefunden

hat, halte ich den Versuch für vergeblich, einen bestimmten Wert als den richtigen aufstellen zu wollen.

Gewiss würden sich die Werte ganz anders stellen, wenn man eine sichere Ausgangsmethode, z. B. Pegelablesungen während einer Reihe von Jahren und eine grössere Anzahl von Beobachtungen hätte. Wie die Sachen nun stehen und mit Rücksicht darauf, dass die oben angeführten Werte oftmals nicht vergleichbar sind, da der eine vielleicht nach dieser, der andere nach jener Methode gewonnen wurde, darf man ihnen keine andere Bedeutung beimessen, als dass sie vielleicht die Tendenz der Erdverminderung, auf den leichtesten Böden am grössten zu werden, zeigen, was ja a priori zu erwarten war.

Um in gewissem Mass meine Ansicht darzulegen, welchen Betrag ich mit Rücksicht auf die direkt gemessenen und die berechneten Werte für die verschiedenen Bodenarten als den wahrscheinlichsten betrachte, will ich, wenn auch nicht ohne schwere Bedenken, folgende Schätzung anführen, die den wirklichen Verhältnissen am nächsten kommen dürfte. Es ist zu beachten, dass ich als »normale« Verhältnisse die folgenden betrachte: freiliegende Felder, horizontaler Boden, einen Abstand von wenigstens 100 m vom nächsten Wald oder der nächsten Anhöhe, weiters gut kultivierten und unter guter Bewirtschaftung stehenden Boden, der gut drainiert ist und auf dem in Drainierung und Bebauungsweise während der Zeit, auf die sich Beobachtung und Berechnung bezieht, keine nachweisbare Veränderung vorgekommen ist.

Grobe Sand-Gruserde, humusarme Moränenerde	0—1	mm	pr	Jahr
Gröbere Sanderde	bis zu	1—2	»	»
Leichte Sanderde	»	2—3	»	»
Sandhumus und humusreiche Moränenerde	»	3—6	»	»
Leichter Sandhumus	»	6—9	»	»
Minder gut vermoderte Torferde	»	9—13	»	»
Gut vermoderte Torferde, Moor und schwarzer Humus	»	13—16	»	»

Dies mag als für die mittel- und südschwedischen Landschaften mit Ausnahme von Halland und Skåne sowie der Insellandschaften Gotland und Öland gültig betrachtet werden. Für diese Letzteren dürfte teils wegen der geringen Niederschlagsmenge im Frühling, teils wegen der grösseren Windfrequenz sowie der im Allgemeinen exponierteren, dort herrschenden Verhältnisse eine gewisse Erhöhung dieser Ziffern nötig sein. Vermutlich müssen diese Werte dort nahezu verdoppelt werden.

Ich will jedoch mit Bestimmtheit hervorheben, dass diese geschätzten Werte nicht als definitiv betrachtet werden dürfen, denn es ist möglich und auch in hohem Grad wahrscheinlich, dass künftige Untersuchungen, sowohl die durch mich in Gang gesetzten als solche, die ev. zur Ausführung gelangen werden, andere Resultate ergeben werden. Sie mögen

jedoch aus dem Gesichtspunkt als genügend angesehen werden, dass sie, wenn auch unsicher und schwankend, doch eine gewisse Vorstellung von der Natur der Verhältnisse geben.

Einige Vorkehrungen um der Bodenverschlechterung durch Deflation entgegenzuarbeiten.

Wie im Vorhergehenden gezeigt wurde, scheint darüber kein Zweifel herrschen zu können, dass eine der wichtigsten Ursachen der auf leichteren Ackerböden, vor Allem leichten Humus- und Moorböden, konstatierten jährlichen Verminderung ein Deflationsphänomen ist.

Um dieser Deflation entgegenzuarbeiten ist es also notwendig, gewisse Massregeln zu treffen, die, wenn auch die Deflation nie ganz aufgehoben werden kann, in solcher Richtung wirken, dass die Wirkungen der Deflation in grösstmöglichem Masse neutralisiert werden.

Der Teil der Erdverminderung, der auf Rechnung der fortschreitenden Oxydation und der übrigen chemischen Prozesse kommt, kann auf die Weise kompensiert werden, dass man dem Boden durch Aufbringung von Humus oder natürlichem Dünger, Gründüngung usw. die entsprechende Menge organischer Substanz zuführt, so dass er in diesem Fall bei Seite gelassen werden kann.

Bezüglich der durch den Wind auf die Ackererde ausgeübten Arbeit geben ja gerade die angestellten Untersuchungen den einzuschlagenden Weg an.

Es zeigt sich, dass die Deflation auf den schwereren und sandreicheren Böden am kleinsten, auf den aus feinem organischem Material gebildeten am grössten ist. Die Erfahrung zeigt auch, dass die Erdverminderung nicht mit gleich bleibender Geschwindigkeit vor sich geht, sondern sich verlangsamt, je schwerer der Boden wird, indem nach und nach neue Lager des darunter liegenden gröberen Materiales aufgepflügt und dem Humus beigemischt werden. Nach und nach muss ein stationärer Zustand eintreten, bei welchem die jährliche Zufuhr von humusbildenden Substanzen mit der jährlichen Verminderung gleichen Schritt hält.

Es hat sich auch gezeigt, dass die Deflation auf das Material sortierend wirkt, so dass der grösste Sand, Gruspartikel usw. an der Oberfläche liegen bleiben und dadurch eine Schutzdecke bilden, die unter normalen Verhältnissen den Boden gegen weitere Deflation schützt.

Die Massregeln, die in erster Linie zum Schutz des Bodens gegen Verdünnung durch Deflation zu ergreifen sind, bestehen vor Allem darin, dem Boden einen Schutz zu verleihen, der auf die während des Frühlings und Frühsommers vorherrschenden Winde hemmend wirkt, z. B. durch Anpflanzung von Bäumen, Alleeen, Hecken und dergleichen. Das muss also die primäre Massregel sein, um zu versuchen, die Kraft des Windes

zu brechen und seine Wirkung in grösstmöglicher Masse zu vermindern.

Der zweite Schritt muss darin bestehen, dass man versucht, die Erde möglichst schwer zu machen, ohne aber ihre Zeugekraft zu gefährden, so dass sie eine möglichst grosse Menge von Grobmaterial enthält und daher die kleinste mögliche Humusmenge weggeführt werden muss, damit sich auf der Oberfläche eine effektive Schutzdecke bildet.

Das kann auf viele Weisen erreicht werden. Eine der gewöhnlichsten und aus dem allgemeinen Ackerbaugesichtspunkt oft empfohlen ist die Tiefkultur, bei der man bestrebt ist, den Boden so tief als möglich zu machen, was natürlich zur Folge hat, dass eine relativ grosse Masse der Unterlage in die Höhe befördert und der Erde beigemischt wird. Eine andere Weise, die sowohl in grosser Ausdehnung angewendet worden ist, als auch gerade zur Aufgabe hatte, den Boden »kräftiger«, d. h. fester und schwerer zu machen, ist Aufbringung von Sand oder Lehm auf leichte Humusböden, was entweder direkt geschehen kann, so dass der Sand oder der Lehm auf der Erde eine Decke bildet oder durch Eineggen, wobei das aufgebrachte Material der Erde beigemischt wird. Mit Rücksicht auf die Deflation ist natürlicher Weise die erste Methode vorzuziehen, wenn aber dann die nächste Pflügung kommt, reisst sie diese Sanddecke auf und vermischt sie mit dem Humus, so dass der Unterschied zwischen Sanddeckung und Sandmischung nur ein Gradunterschied wird.

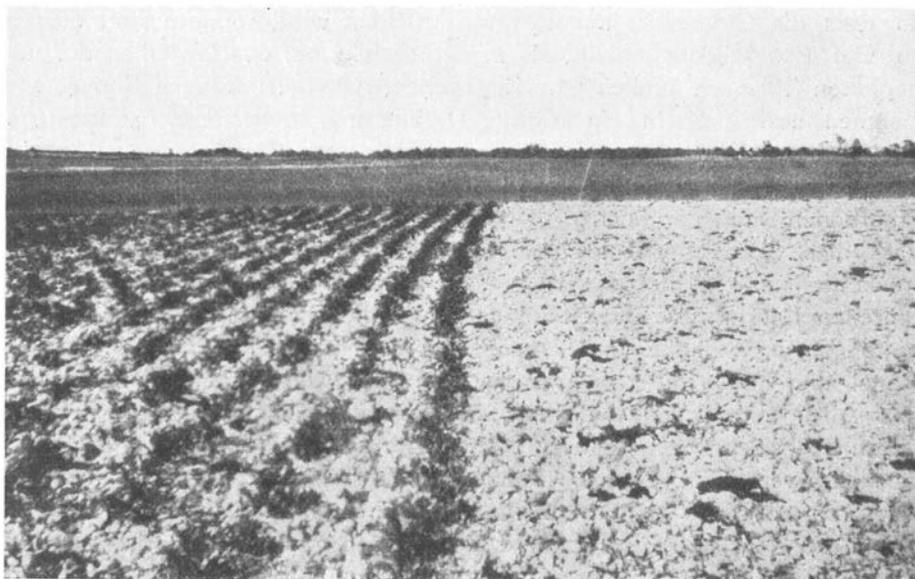
Weiters muss ein vermehrter Anbau von Weidepflanzen als gegen die Deflation wirkend angesehen werden. Teils werden die Angriffe des Windes direkt verhindert, teils lässt sich denken, dass in der Grasvegetation ein Teil des Staubes gebunden wird, der sonst vom Feld weggeführt würde und nun statt dessen zur Ablagerung kommt.

Für die Deflation günstig und dieselbe im höchsten Grad erleichternd muss die Brachehaltung angesehen werden, weshalb es am geeignetsten betrachtet werden muss, die Anwendung der Brache so viel als möglich einzuschränken, und das Unkraut, so gut es geht, durch »Halbbrache« oder durch Anbau von Hackfrüchten zu bekämpfen zu suchen. Die Hauptsache ist, dass die Erde während der kritischsten Zeiten des Jahres so wenig als möglich blosgelegt wird.

Weiters dürfte mit Rücksicht auf die Deflation auf leichteren Böden eine Frühjahrspflügung statt der Herbstpflügung zu empfehlen sein.

Wenn man nämlich den Umstand in Betracht zieht, dass die leichte Erde während des Winters eine ziemlich feste Oberfläche erhalten hat und dass diese viel weniger der Deflation ausgesetzt oder für sie geeignet ist als die aufgelockerte und durch das Gefrieren noch feiner zerteilte Erde, die der im Herbst gepflügte Acker zeigt, dann versteht man leicht, dass der Boden gegen die Angriffe der Atmosphärien desto effektiver geschützt ist, je weniger man ihn berührt. Aus diesem Gesichtspunkt muss man die Frühjahrspflügung als der Herbstpflügung überlegen betrachten, wofür auf den Anbau von Frühlingsaat und

Hackfrüchten das Hauptgewicht gelegt wird, wie das auf mittelgrossen und kleineren Gütern mit leichten Böden wohl meist der Fall ist. Sonst liegt es ja in der Natur der Sache, dass man den Anbau von Herbstsaat als das Ideal betrachten muss, wenn z. B. die Besäuerung mit Weidepflanzen im Herbst geschehen kann und der Boden während der Frühjahrs- und Sommerdürre gar nicht blossgelegt zu werden braucht, dann muss aber wieder der Brache in der Zirkulation ein grösserer Platz eingeräumt werden, was seinerseits mit Rücksicht auf die Deflation ein vermehrtes Gefahrenmoment mit sich bringt. Ausserdem ist es für kleinere Bauern, die es wohl meist sind, die leichtere Böden bebauen, oft schwer mit Er-



Verf. phot.

Fig. 60. Vollständig ausgebildete Hamada auf einem Acker. Links Kartoffeln, rechts Brache. Färö.

folg Herbstsaat zu bauen, da sie im Herbst die abgeernteten Äcker oft zur Weide benötigen und in diesem Fall der mit Winterfrucht bestellte Acker abgesperrt werden muss oder andere ziemlich weitläufige Massregeln ergriffen werden müssen, um das Vieh zu verhindern an der wachsenden Herbstsaat Schaden anzurichten.

Dem, der leichte Erde bebaut, stellen sich viele und oft grosse Schwierigkeiten in den Weg und es ist nicht möglich eine Norm dafür aufzustellen, wie man nicht nur bei der Bewirtschaftung, sondern auch zum Schutz des Bodens zu Wege gehen soll. Die Tendenz und die Bestrebungen im Allgemeinen gehen ja immer mehr in der Richtung, dass der Ackerbau von einer bestimmt fixierten Wechselwirtschaft zu einem sog. freien Ackerbau übergeht, und die Statistik zeigt auch, wie z. B. die

Brachehaltung immer mehr zurückgeht und Weideanbau Terrain gewinnt. (Vergl. SJÖSTRÖM, A. 1921, pp. 20 f.). An und für sich enthält dieser Übergang vom Brotkornbau zum Bau von Futterpflanzen vielleicht eine rückschreitende Entwicklung, andererseits bedarf es beim freien Ackerbau einer viel grösseren Einsicht des Landmannes und hauptsächlich bringt er mit sich, dass dabei der Boden nicht im selben Mass wie bei der Wechselwirtschaft der Schädigung durch die Atmosphärien ausgesetzt, sondern in viel höherem Grad vor den verhängnisvollen Wirkungen der Deflation geschützt wird.

Schliesslich muss auch die Notwendigkeit davon hervorgehoben werden, dass die Drainierung des Bodens auf eine vernünftige Weise geschieht, so dass die Erde nicht unnötig ausgetrocknet wird, sondern statt dessen so viel Feuchtigkeit behält, als mit Rücksicht auf das Gedeihen der angebauten Pflanzen tunlich ist. Zugegeben, dass auf strengen Böden, wie Lehmen und Mergeln ein kräftige Drainierung notwendig ist, muss man doch bei der Drainierung der leichteren Böden mit einer gewissen Vorsicht zu Werke gehen. Wie schon in dem Kapitel über die Winderosion auf Moorboden und dergleichen hervorgehoben wurde, hat es sich gezeigt, dass diese Erde desto leichter vom Wind fortgeführt werden kann, je trockener und leichter sie ist.¹ Man kann oft hören, wie von alten, erfahrenen Landwirten Einwendungen gegen die oft ganz wahnsinnige Drainierungsraserei erhoben werden, die hier und dort geherrscht hat. In der Regel aber haben die »Sachverständigen«, für welche die Drainierung als das Alleinseligmachende dasteht, die gemachten Einwendungen nur mit einem Achselzucken abgefertigt und, wie von den Einwendungen aufgestachelt, weiter ihr Thema »drainieren«, »tief drainieren«, »trockenlegen« usw. gepredigt und in den landwirtschaftlichen Spalten unserer Zeitungen steht oft der Aufruf »Drainiere den Boden gut«. Ja, das ist gut und schön. Mit »gut« drainieren meint man gewöhnlich tief drainieren und für den gemeinen Mann ist es nicht immer so leicht zu entscheiden, wie er seinen Boden drainieren soll, damit es auf geeignete Weise geschieht.

Hier hat der Volksunterricht eine grosse Aufgabe zu erfüllen. Es taugt nicht, einfach einen Graben zu ziehen und zu glauben, dass man alle Schuldigkeit getan hat, wenn man nur das Wasser ableitet und das Grundwasserniveau senkt. Für jede einzelne Bodenart bedarf es einer anderen Drainierungsmethode in derselben Weise, wie auch die Bebauungsmethoden selbst mit Naturnotwendigkeit variieren müssen, und es gehört auf Seiten des betreffenden Vorarbeiters bei der Drainierung bedeu-

¹ HENSELE, der eine Reihe sehr interessanter Versuche über den Einfluss des Windes auf den Boden gemacht hat sagt (1893, p. 363): »dass verhältnissmässig geringe Mengen von Wasser die Flugbarkeit der Sandtheilchen aufheben. In letzterer Beziehung deuten die Versuche darauf hin, dass ein um so grösserer Wassergehalt dazu gehört, um den Einfluss des Windes auf den Boden aufzuheben, je feiner die Bodentheilehen sind«.

tendes Verständnis dazu, damit sich nicht eines schönen Tages das ganze Drainierungsunternehmen als misslungen erweisen soll.

Aber für die leichteren Böden, auf denen gerade der Humus selbst, die feinsten und wertvollsten Partikel es sind, die von der Deflation in erster Linie angegriffen werden, gilt unbedingt der Satz: Drainiere den Boden gut, aber nicht zu viel, drainiere ihn gerade so, dass das Wachstum und die Ertragsfähigkeit nicht gefährdet werden, aber nicht mehr, denn wird ein solcher Boden zu stark drainiert, so wird nicht nur Tragkraft und Ertragsfähigkeit gefährdet, sondern, was schlimmer ist, der Boden selbst.

Litteraturverzeichnis.

Die in dieser Abhandlung enthaltenen Zitate sind in extenso wiedergegeben, sofern die Quellen in englischer oder deutscher Sprache erschienen sind, andernfalls sind sie in möglichst getreuer deutscher Übersetzung wiedergegeben. Wo eine wortgetreue Übersetzung nicht möglich war, wurde der Wortlaut des Originalen in Klammern parallel mit der Übersetzung angegeben.

Abkürzungen.

- D. G. T. = Geografisk Tidsskrift udgivet af Bestyrelsen for det Kongelige Danske Geografiske Selskab. Kjöbenhavn.
 G. F. F. = Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar.
 K. V. A. H. = Kungliga Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar. Stockholm.
 Bih. K. V. A. = Bihang till K. Svenska Vet.-Akad:s Handl. Stockholm.
 Öfv. K. V. A. = Öfversikt af K. Svenska Vet.-Akad:s Förhandlingar. Stockholm.
 Medd. Gr. = Meddelelser om Grönland, udgivne af Commissionen for Ledelse af de geologiske og geographiske Undersøgelser i Grönland. Kjöbenhavn.
 Pet. Mitt. = Dr. A. Petermanns Mitteilungen aus Justus Perthes' geographischer Anstalt. Gotha.
 Pet. Mitt. Erg. = Ergänzungsheft zu Pet. Mitt.
 S. G. U. = Sveriges Geologiska Undersöknings publikationer.
 Sk. F. T. = Svenska Skogsvårdsföreningens Tidsskrift. Stockholm.

- AMILON, J. A. (1914): Om Hallands Väderö. Sk. F. T., Årg. 12. Stockholm 1924.
 ANDERSSON, J. G. (1904): Antarktisk färder till Sydgeorgien, Falklandsöarna och Eldslandet samt övervintringen i Hoppets vik. Antarctic II. Stockholm 1904.
 ANDRÉE, S. A. (1883): Om yrsnön i de arktiska trakterna. Öfv. K. V. A. 1883. N:o 9.
 ANDREJEFF, K. (1886): Beobachtungen der Russischen Polarstation auf Novaja Semlja II. Theil. Meteorologische Beobachtungen herausgegeben unter Redaktion von R. Lenz. St. Petersburg 1886.
 BARDARSSON, GUDM. (1913): Skogræktin og loptslagið. Frey, X. 7. Reykjavik 1913.
 ——. (1915): Um Skogræktina. Frey, XIII. Reykjavik 1915.
 BJÖRKMAN, G. och DU RIETZ, G. EINAR. (1923): Associationernas succession i norra Lule Lappmarks subalpina högmossar. Botaniska Notiser. Lund 1923.

- BJÖRLYKKE, K. O. (1913): Sandfuk og Sandslit. En iagttagelse fra Kvitsanden ved Røros. Naturen. Kristiania 1913.
- (1918): Lössjord i Norge? Forhandl. ved de Skand. Naturforskeres 16. Møte. Kristiania 1918.
- BODMAN, GÖSTA. (1904): Om klimatet i Antarktis med särskild hänsyn till Grahams Land. Ymer 1904. Stockholm.
- (1908): Das Klima als eine Funktion von Temperatur und Windgeschwindigkeit. Wiss. Erg. d. Schwed. Südpolarexp, 1901—1903. Bd. II. Lief. 1. Stockholm 1908.
- (1908 a): Meteorologiske Resultate der schwedischen Südpolar-Expedition. I. Stündliche Beobachtungen bei Snow Hill. Ibid. Bd. II. Lief. 2. Stockholm 1908.
- (1909): Meteorologiske Resultate der Schwedischen Südpolar-Expedition. II. Tägliche Beobachtungen an Bord der »Antarctic» und auf der Paulet-Insel. Ibid. Bd. II. Lief. 3. Stockholm 1909.
- (1910): Meteorologiske Beobachtungen der Schwedischen Südpolar-Expedition. III. Zusammenfassung der allgemeinen meteorologischen Resultate sowie Beobachtungen während der Schlittenfahrt 30. Sept.—4. Nov. 1902. Ibid. Bd. II. Lief. 4. Stockholm 1910.
- BRUUN, DANIEL. (1915): Erik den Röde og Nordbokolonierne i Grönland. Kjöbenhavn 1915.
- CARLHEIM-GYLLENSKÖLD, V. (1900): På åttionde breddgradeu. Stockholm 1900.
- CHATILLON-WINBERGH, A. (1913): En stormhärjning i Västerbottens kustland. Sk. F. T., 11. årg. Stockholm 1913.
- CHYDENIUS, K. (1865): Svenska Expeditionen till Spetsbergen år 1861 under ledning af Otto Torell, Stockholm 1865.
- V. DRYGALSKI, ERICH. (1904): Zum Kontinent des Eisigen Südens. Deutsche Südpolarexpedition. Fahrten und Forschungen des »Gauss» 1901—1903. Berlin 1904.
- DU RIETZ, G. E. (1921): Några iakttagelser öfver saltstänkets ekologiska betydelse. Svensk botanisk tidskrift 1921. Stockholm.
- (1921 a): Några iakttagelser öfver myrar i Torne Lappmark. Botaniska Notiser 1921. Lund.
- DUSE, S. A. (1914): Bland pingviner och sälar. Minnen från svenska sydpolarexpeditionen 1901—1903. Stockholm 1914.
- ENGSTRÖM, ALBERT. (1923): Gotska Sandön måste bli nationalpark. Sveriges Natur 14. årg. Stockholm 1923.
- ENQUIST, FR. (1916): Der Einfluss des Windes auf die Verteilung der Gletscher. Bull. of the Geol. Inst. Upsala, vol. XIV. 1916.
- FRÄNKEL, MORITZ. (1909): Sveriges Jordbruk vid 1900-talets början. Statistiskt kartverk utarbetat af Wilhelm Flach, H. Juhlin-Dannfelt, Gustav Sundbärg. Göteborg 1909.
- FREE, E. E. (1911): The Movement of Soil Material by the Wind. U. S. Dept. of Agriculture, Bureau of Soils—Bull. No 68. Washington 1911.
- FRIES, TH. C. E. (1913): Botanische Untersuchungen im nördlichsten Schweden. Ein Beitrag zur Kenntnis der alpinen und subalpinen Vegetation in Torne Lappmark. Akad. Abhandl. Vetenskapliga och praktiska undersökningar anordnade af Luossavaara och Kirunavaara Aktiebolag. Upsala 1913.
- GREELY, A. W. (1886): Three Years of Arctic Service. An Account of the Lady Franklin Bay Expedition of 1881—84. I, II. London 1886.
- GUINCHARD, J. (1915): Sveriges land och folk. Historisk statistisk handbok. I, II. Stockholm 1915.

- HAMBERG, AXEL. (1901): Sarjekfjällen. En geografisk Undersökning. Ymer 1901. Stockholm.
- (1907): Die Eigenschaften der Schneedecke in den lappländischen Gebirgen. Naturwissenschaftliche Unters. d. Sarekgebirges in Schwedisch-Lappland. Bd. I. Abt. 3. Lief. 1. Stockholm 1907.
- HAMMER, R. R. I. (1883): Undersögelse ved Jacobshavns Isfjord og nærmeste Omegn i Vinteren 1879—80. Medd. Gr., H. 4. Kjöbenhavn 1883.
- HANN, JULIUS. (1908, 1910, 1911): Handbuch der Klimatologie. I, II, III. Stuttgart 1908, 1910, 1911.
- HARDER, POUL. (1907—1911): Virkninger af Flyvesand. Nogle Iagttagelser fra Island. Medd. fra Dansk. Geol. Forening., Bd. 3. Köbenhavn 1907—1911.
- HARTZ, N. (1892): Druckfehl im Text für HARTZ (1895).
- (1895): Östgrönlands Vegetationsforhold. Medd. Gr., H. 18. Kjöbenhavn 1896.
- (1896): Druckfehl im Text für HARTZ (1895).
- HARTZ, and KRUISE, C. (1911): The Vegetation of northeast Greenland $69^{\circ}25'$ lat. N. — 75° lat. N. Medd. Gr., 30: 2. Kjöbenhavn 1911.
- HENSELE, J. A. (1893): Untersuchungen über den Einfluss des Windes auf den Boden. Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik. Bd. 16. Heidelberg 1893.
- HESSELMANN, H. (1908): Om flygsandsfalten på Fårön och skyddskogslagen af den 24 juli 1903. Sk. F. T., 6. årg. Stockholm 1908.
- (1912): Om snöbrotten i norra Sverige vintern 1910—1911. Sk. F. T., 10. årg. Stockholm 1912.
- HOBBS, W. H. (1915): The Role of the Glacial Anticyclone in the Air Circulation of the Globe. Proc. Am. Phil. Soc. Vol. liv. N:o 218. Philadelphia 1915.
- HÖGBOM, IVAR. (1923): Ancient Inland Dunes of Northern Europe. Geografiska Annaler 1923. Stockholm.
- HOLMGREN, A. LEO. (1921): Stormhärjningen hösten 1917 å Älvdalens besparingsskog. Sk. F. T., 19. årg. Stockholm 1921.
- HOMÉN, TH. (1917): Våra skogar och vår vattenhushållning. Helsingfors 1917. *Isländsk Vedurfarsbók* (Annuaire Météorologique d'Islande. Publié par section Météorologique de Löggingingarstofan). Reykjavik.
- JENSEN, J. A. D. (1879): Beretning om en Undersøgelse af Grönlands Vestkyst (en Del af Holstensborgs och Egedesminde Distrikter) fra $66^{\circ}55'$ — $68^{\circ}30'$. Medd. Gr., H. 2. Kjöbenhavn 1881.
- JÖNSSON, I. (1893): Jordarternas praktiska användbarhet. (Bilaga till Praktiskt geologiska undersökningar inom Hallands län med bidrag af länets Hushållningssällskap utförda genom Sveriges Geologiska Undersökning åren 1882—1891.) S. G. U. Ser. C., N:o 131. Stockholm 1893.
- KALLIN, K. E. (1909): Om skogen skydd mot yttre faror. Skogsvårdsföreningens folkskrifter N:o 19. Stockholm 1909.
- (1910): Druckfehl im Text für KALLIN (1909).
- KARLSSON, V. och WAHLQVIST, A. H. (1870): Några ord till upplysning om bladet »Rådanefors». S. G. U. Ser. Aa. N:o 39. Stockholm 1870.
- KIHLMAN, A. O. (1890—92). Pflanzenbiologische Studien aus Russisch Lappland. Acta Societatis pro Fauna et Flora Fennica. T. VI. N:o 3. Helsingfors 1890—92.
- KLINCKOWSTRÖM, AXEL. (1891): Tre månaders dag. Minnen från svenska Spetsbergsexpeditionen 1890. Stockholm 1891.

- KOCH, J. P. und WEGENER, A. (1911): Die glaciologischen Beobachtungen der Danmark-Expedition. Danmarksexpeditionen til Grönlands Nord-östkyst 1906—1908. Medd. Gr., H. 46. Kjöbenhavn 1917.
- KÖPPEN, W. (1884): Die Wärmezonen der Erde nach der Dauer der heissen, gemässigten und kalten Zeit und nach der Wirkung der Wärme auf die organische Welt betrachtet. Met. Z. 1884. Braunschweig.
- KOFOED-HANSEN, A. F. (1922): Om Lössjords Forhold til Skovvegetationen. Sk. F. T., 20. årg. Stockholm 1922.
- KRUUSE, C. (1898): Vegetationen i Egedesminde Skjærgaard. Medd. Gr. H. 14. Kjöbenhavn 1898.
- (1905): List of the Phanerogams and Vascular Cryptogams found on the Coast 75°—66°20' lat. N of East Greenland. Medd. Gr. H. 30. Kjöbenhavn 1905.
- (1911): Rejser og botaniske Undersøgelser i Öst-Grönland mellem 65°30' og 67°20' i Aarene 1898—1902 samt Angmagsalik-Egnens Vegetation. Medd. Gr. H. 49. Kjöbenhavn 1912.
- LEWIS, FR. J. (1904): Geographical Distribution of Vegetation of the Basins of the Rivers Eden, Tees, Wear, and Tyne. Part. I. Geogr. Journ. vol. 23; Part. II. Ibid. vol. 24. London 1904.
- LIDBECK, E. G. (1759): Anmärkingar vid Skånska Flyg-Sands-tracterna och deras hjälpande genom plantering. K. V. A. H., XX. Stockholm 1759.
- V. LINNÉ, CARL. (1745): Öländska och Gothländska Resa. . . . Stockholm 1745.
- (1751): Skånska Resa. . . . Stockholm 1751.
- MARTENS, FRIEDRICH. (1675): Spitsbergische oder Groenlandische Reise Beschreibung gethan im Jahr 1671. Hamburg 1675.
- MATTSON, L. (1918): Stormhärjningen i norra Dalarne hösten 1917. Sk. F. T. 16. årg. Stockholm 1918.
- MAWSON, DOUGLAS. (1915): The Home of the Blizzard. Being the Story of the Australasian Antarctic Expedition, 1911—1914. London 1915.
- MEINARDUS, W. (1909—1911): Meteorologische Ergebnisse der Winterstation des »Gauss» 1902—1903. Deutsche Südpolar-Expedition 1901—1903. III. Bd. Meteorologie. I. Berlin 1909—1911.
- MELIN, ELIAS. (1917): Studier över de norrländska myrmarkernas vegetation med särskild hänsyn till deras skogsvegetation efter torrläggning. Akad. avh. (Norrländskt handbibliotek VII). Uppsala 1917.
- V. MIDDENDORFF, A. TH. (1867): Reise in den äussersten Norden und Osten Sibiriens. Band. IV, Theil I. St. Petersburg 1867.
- MOHN, H. (1905): Meteorology. The Norwegian North Polar Expedition 1893—1896. Scientific Results. Vol. VI. Christiania 1905.
- MONTIN, LARS. (1768): Anmärkingar vid Flyg-Sandens cultiverande. (Halland). K. V. A. H., XXIX. Stockholm 1768.
- MURRAY JOHN. (1876—1877): On the Distribution of Volcanic Debris over the Floor of the Ocean, — its Character, Source, and some of the Products of its Disintegration. Proc. of the Royal Soc. of Edinburgh. Vol. IX. Edinburgh 1875—78.
- (1883—84): Druckfehl im Text für MURRAY, JOHN and RENARD, A. (1883—1884).
- MURRAY, JOHN and HJORT, JOHAN. (1912): The Depths of the Ocean. London 1912.
- MURRAY, JOHN and RENARD, A. (1883—1884): On the microscopic Characters of Volcanic Ashes and Cosmic Dust, and their Distribution in the Deep Sea Deposits. Proc. of the Royal Soc. of Edinburgh. Vol. XII. Edinburgh 1882—84.

- NANSEN, FR. (1890): The first Crossing of Greenland. I, II. London 1890.
 ——. (1911): In Northern Mists. I, II. London 1911.
 ——. (1920): En Ferd til Spitsbergen. Kristiania 1920.
- NARES, G. S. (1878): Narrative of a Voyage to the Polar Sea during 1875—76 in H. M. Ships »Alert» and »Discovery». I, II. London 1878.
- NEHRING, A. (1890): Ueber Tundren und Steppen der Jetzt- und Vorzeit, mit besonderer Berücksichtigung ihrer Fauna. Berlin 1890.
- NELSEN, HELGE. (1909): Öland. Emigrationsutredningens bygdeundersökningar. Stockholm 1909.
- NORDENSKJÖLD, A. E. (1880—1881): Vegas färd kring Asien och Europa. I, II. Stockholm 1880—1881.
 ——. (1882): Rapporter skrifna under loppet af Vegas expedition till d:r Oscar Dickson. (Vegaexpeditionens vetenskapliga iakttagelser Bd. I). Stockholm 1882.
 ——. (1883—1884): Om den geologiska betydelsen av kosmiska ämnens nedfallande till jordytan, särskilt med afseende på den Kant-Laplaceka teorien. (Studier och forskningar föranledda af mina resor i höga Norden.) Stockholm 1883—84.
 ——. (1870): Redogörelse för en expedition till Grönland år 1870. Öfv. K. V. A. 1870. Stockholm.
 ——. (1874): Om kosmiskt stoft, som med nederbörden faller till jordytan. Ibid. 1874. Stockholm.
 ——. (1885): Den andra Dicksonska expeditionen till Grönland, dess inre isöken och dess ostkust. Stockholm 1885.
- NORDENSKJÖLD, OTTO. (1910): Från danska Sydvästgrönland. Ymer 1910. Stockholm.
- OLAUS MAGNUS: Historia om de nordiska folken . . . (Roma MDL.V). I svensk öfversättning utgifven genom Michaelisgillet. Upsala. MCMIX.
- OSTENFELD, C. H. (1901): Botany of the Faeröes, Vol. I. Geography and Topography. Copenhagen 1901.
 ——. (1908—11): Ibid. Vol. III. The Land Vegetation of the Fæöes. Copenhagen 1908—1911.
- PASSARGE, S. (1921): Kältewüsten und Kältesteppe. Vergleichende Landschaftskunde, H. 2. Berlin 1921.
- PIRSSON, LOUIS V. and SCHUCHERT, CH. (1915): A Text-Book of Geology. New York 1915.
- PJETURSSON, H. (1898): Geologiske Optegnelser. Opmaalingsexpeditionen til Egedesminde-Distrikt 1897. Medd. Gr., H. 14. Kjöbenhavn 1898.
- PRYTZ, C. V. (1901—04): Lidt om Trævæksten paa Island. D. G. T., Bd 17. Kjöbenhavn 1901—04.
 ——. (1905): Skovdyrkning paa Island. Tidsskrift for Skovvæsen, Bd XVII. Kjöbenhavn 1907.
- RASMUSSEN, KNUD. (1919): Norr om människor. Berättelse om den andra Thuleexpeditionen och utforskandet av Grönland från Melvillebukten till Kap Morris Jesup. (Övers. av Axel Ahlman). Stockholm 1919.
- RENARD, A. (Siehe Murray, John. 1883—84).
Report of the Scientific Results of the Exploring Voyage of S. M. S. Challenger 1873—86. Narrative of the Cruise, Vol. I, Second Part. London 1885.
- RESVOLL, THEKLA. (1906): Pflanzbiologische Beobachtungen aus dem Flugsandgebiet bei Röros im inneren Norwegen. Nyt Magazin for Naturvidenskab, Bd 44. Kristiania 1906.
- RESVOLL-DIESET, HANNA. (1908—09): Lidt om Spitsbergens Plantevekst. Norsk Geogr. Aarbog, XX. Kristiania 1908—1909.

- v. RICHTHOFEN, F. (1877—1882): China. Ergebnisse eigener Reisen, I, II. Berlin 1877, 1882.
- RYDER, C. (1889): Undersögelse af Grönlands Vestkyst fra 72° til 74° 35' N. Br. Medd. Gr., H. 8. Kjöbenhavn 1889.
- (1895): Beretning om den Östgrönlandske Expedition 1891—92. Medd. Gr., H. 17. Kjöbenhavn 1895.
- SAMUELSSON, CARL. (1921): Till frågan om vinderosion i arktiska trakter med särskild hänsyn till de å Spetsbergen rådande förhållandena. Ymer 1921. Stockholm.
- (1924): Stoffflykten å våra åkerjordar och myrmarker. Sveriges Natur 1924. Stockholm.
- (1925): Några Studier över erosionsföreteelserna på Island. Ymer 1925. Stockholm.
- SAMUELSSON, G. (1910): Scottish Peat Mosses. Bull. of the Geol. Inst. of Upsala, Vol. X. Upsala 1911.
- SANDSTRÖM, J. V. (1912): Ueber die Energieumwandlungen in der Atmosphäre. K. V. A. H., Bd. 47. Stockholm 1911—1912.
- (1913): Eine meteorologische Forschungsreise in den Schwedischen Hochgebirgen. K. V. A. H., Bd. 50. Stockholm 1912—1913.
- SAPPER, KARL. (1909): Die Bedeutung des Windes auf Island. Aus der Natur 5: 1. Leipzig 1909.
- SCORESBY, W:M. (1820): An Account of the Arctic Regions, with a History and Description of the Northern Whale-Fishery. I, II. Edinburgh 1820.
- SHACKLETON, E. H. (1910): Antarktis hjärta. Berättelsen om den engelska sydpolexpeditionen 1907—1909. (Översättning av Dr. Carl Forsstrand), I, II. Stockholm 1910.
- SIMPSON, C. G. (1919): British Antarctic Expedition 1910—1913. Meteorology I, II. Calcutta 1919.
- SCHOTTE, G. (1916): Från Skogsvårdsföreningens tionde exkursion sommaren 1914. Sk. F. T., 14 årg. Stockholm 1916.
- (1916 a): Om snöskadorna i södra och mellersta Sveriges skogar åren 1915—1916. Sk. F. T., 14 årg. Stockholm 1916.
- SERNANDER, R. (1905): Flytjord i svenska fjälltrakter. G. F. F., B. 27. Stockholm 1905.
- (1925): Där flora och fauna förr hade sitt paradiset är nu ett ökenlandskap. Nya Dagligt Allehanda N:o 333 (6/XII). Stockholm 1925.
- SJÖBECK, M. (1923): En översandad ekskog vid stranden av Öresund. Sveriges Natur 1923. Stockholm.
- SJÖSTRÖM, A. (1921): Om växtföljder och deras betydelse. K. Lantbruks-Akademiens handlingar och tidskrift, 61. årg. Stockholm 1921.
- STEENSTRUP, K. J. V. (1893): Bliver Isen saa haard som Staal ved høje Kuldegrader? G. F. F., Bd. 15. Stockholm 1893.
- SUPAN, ALEX. (1879): Die Temperaturzonen der Erde. Pet. Mitt., 1879. Gotha.
- (1916): Grundzüge der physischen Erdkunde. 6. Aufl. Leipzig 1916.
- SVENONIUS, FR. (1899): Öfversikt af Stora Sjöfallets och angränsande fjälltraktens geologi. G. F. F., Bd. 21. Stockholm 1899.
- Sveriges Officiella Statistik*, utgiven av K. Statistiska Centralbyrån, Stockholm:
- , Arealinventeringen och husdjursräkningen den 1 juni 1919. Statistiska meddelanden Ser. A. Band III: 2 & 3. 1920.
- , Jordbruk och boskapsskötsel.
- , Statistisk Årsbok för Sverige.
- THAER, A. (1809): Grundsätze der rationellen Landwirtschaft II. Berlin 1809.

- THAER, A. (1816): Den Rationela Landthushållningen Grundsatser II. Genom Kongl. Landtbruks-Akademiens försorg öfversatt och till trycket befordrad. Stockholm 1816.
- THORODDSEN, TH. (1885): Ódáðahraun. Sjerprentað úr Andvara, XI. Reykjavik 1885.
- . (1883): Vulkaner i det nordöstlige Island. Bih. K. V. A. 1883. Stockholm.
- . (1891): Geologiske Iagttagelser paa Snæfellsnes og i Omegnen af Faxebugten i Island. Ibid. 1891.
- . (1892—1904): Landfræðissaga Íslands, I—IV. Reykjavik & Kaupmannahöfn. 1892—1904.
- . (1896): Fra det Sydöstlige Island. D. G. T. Bd. 13. Kjöbenhavn 1896.
- . (1898): Fra det nordlige Island. Ibid. Bd. 14. 1898.
- . (1903—04): En Udflugt til Vulkanen Skjaldbreid paa Island. Ibid. Bd. 17. 1903—04.
- . (1903—04): Geografiske og geologiske Undersøgelser ved den sydlige Del af Faxaflói paa Island. Ibid. 1903—04.
- . (1906): Island. Grundriss der Geographie und Geologie. Pet. Mitt. Erg. 152—153. Gotha 1906.
- . (1914): An Account of the Physical Geography of Iceland with special Reference to the Plant Life. The Botany of Iceland, Part 1: 2. Copenhagen 1914.
- Tidsskrift for Skogsbrug.* Kristiania 1912.
- WARMING, E. (1886): Beretning om den botaniske Expedition med »Fylla» i 1884. Medd. Gr., H. 8. Kjöbenhavn 1886.
- . (1888): Om Grönlands Vegetation. Medd. Gr., H. 12. Kjöbenhavn 1888.
- . (1909): Dansk Plantevæxt. 2. Klitterne. Kjöbenhavn 1909.
- WEGENER, ALFRED. (1911): Meteorologische Terminalsbeobachtungen am Danmarks-Havn. Medd. Gr., Bd. 42. Kjöbenhavn 1909—1914.
- . (1909—14): Drachen- und Fesselballonaufstiege ausgeführt auf der Danmark-Expedition 1906—1908. Medd. Gr., H. 42. 1909—1914.
- WERTH, E. (1906—1911): Die Vegetation der Subantarktischen Inseln. Deutsche Südpolarexpedition 1901—1903. VIII. Bd., H. I—III. Berlin 1906—1911.
- WIJKANDER, AUG. (1875): Bidrag till kännedomen om vindförhållandena i de Spetsbergen omgifvande delarna af Norra Ishafvet. Öfv. K. V. A. 1875. Stockholm.
- WILLAUME-JANZEN, W. (1888): Meteorologiske Observationer i Nanortalik og Angmagsalik sammenlignede med Observationer fra andre Stationer. Medd. Gr., H. 9. Kjöbenhavn 1889.
- . (1895): Resumé af de meteorologiske Observationer. Medd. Gr., H. 17. 1895.
- WOHLIN, NILS. (1910): Faran af bondeklassens undergrävande i samband med de gamla arfvejordsåskådningarnas upplösning, emigrationen och bondejordens mobilisering. Emigrationsutredningen, Bil. X. Stockholm 1910.