

die sich auch in Art und Menge bestimmter Elemente im Niederschlagswasser und in der Luft erkennen lassen (CAUER über Helgoland). Klima und Boden stehen hier in enger Wechselbeziehung und bleiben die begrenzenden Standortfaktoren landwirtschaftlicher Bodennutzung.

2. Durchführung der Untersuchungen

In enger Zusammenarbeit zwischen der Marschversuchsstation für Niedersachsen in Infeld und der agrarmeteorologischen Abteilung des Wetteramtes Bremen wurde ein Untersuchungsprogramm entwickelt, um die Qualität der Niederschläge in diesen küstennahen Niede-

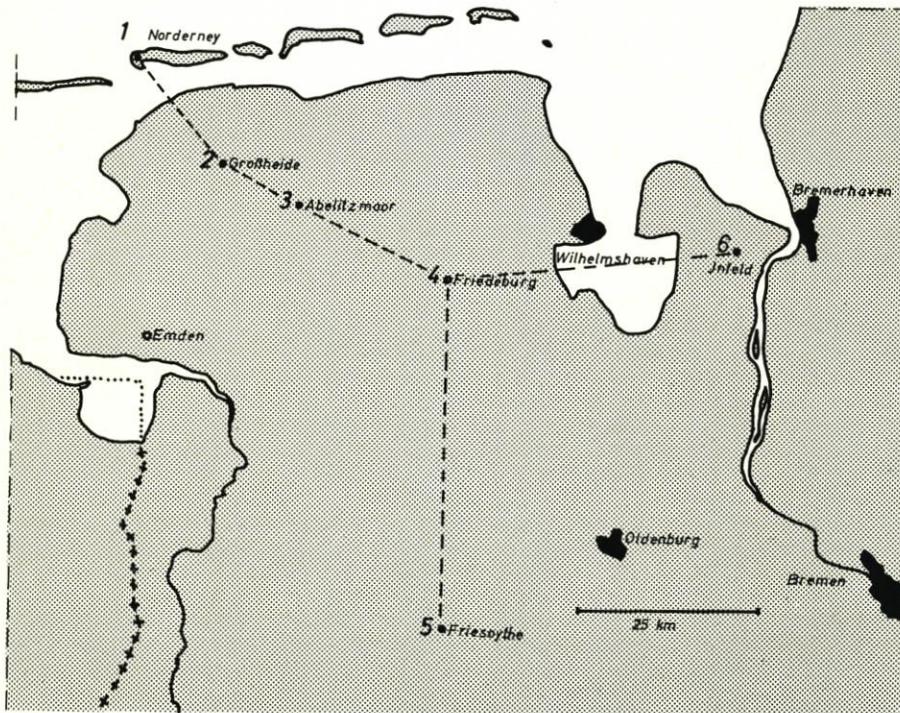


Abb. 1. Die geographische Lage der Meßstellen

rungsgebieten einer näheren Betrachtung zu unterziehen. Es kam dabei weniger darauf an, zu der Fülle bereits vorhandener Angaben über den Gehalt an Pflanzennährstoffen weitere Daten zu liefern, als vielmehr festzustellen,

1. welche meteorologischen Faktoren diese wechselnde Qualität des Niederschlagswassers in Meeresnähe bedingen;
2. ob aus der wechselnden Qualität der Niederschläge bodenstrukturstörende Einflüsse zu erwarten sind.

Diesem Bericht liegt nunmehr ein Untersuchungszeitraum von zwei Jahren zugrunde (November 1960 bis November 1962). In diese Zeit fallen recht extreme Großwetterlagen, z. B. die Sturmflut vom 16. Februar 1962. Die Fülle des zu untersuchenden Materials erzwingt eine zeitliche Begrenzung, verlangt dann aber gleichzeitig eine entsprechende Beschränkung bei Aus-

sagen für langfristige Beobachtungen. Daher sollen unter Hinweis auf diese Einschränkungen die im Küstengebiet beobachteten klimatischen Besonderheiten der Einflüsse des Niederschlagswassers auf den Marschboden aufgezeigt werden.

Bei der Auswahl der Meßstellen im dichten Netz meteorologischer Beobachtungsstellen des Wetteramtes Bremen (Regenmeßstellen) konnte die Nähe von Industrie- und Bahnanlagen sowie dichtbesiedelter Gebiete gemieden werden, um die von dort aus mögliche Ausbreitung von Rauchgasimmissionen auszuschalten. Aus Untersuchungen STRATMANN'S (1955) ist bekannt geworden, daß Konzentrationserhöhungen von SO_2 in der Luft im Windschatten von Immissionsquellen bei Schornsteinhöhen von 80 bis 100 m je nach den meteorologischen Verhältnissen bis etwa 6 km reichen. Mit zunehmender Entfernung findet ein gleichmäßiger Massenaustausch statt, der dann keine extrem hohen Verunreinigungen in der Luft und im Niederschlagswasser mehr erwarten läßt. Im relativ dünn besiedelten industriearmen Ostfriesland war diese Forderung am leichtesten zu erfüllen, so daß ohne nahe Störquellen die eigentlichen meteorologischen Ursachen für einen wechselnden Gehalt an Na, Cl, Mg, Ca, S usw. im Niederschlagswasser in unterschiedlicher Entfernung von der Meeresküste erfaßt werden konnten. Die Meßstellen waren folgende:

	kürzeste Entfernung zur Küste in km
1. Norderney, Kreis Norden/Ostfriesland	0,1
2. Großheide, Kreis Norden/Ostfriesland	9
3. Abelitzmoor, Kreis Aurich/Ostfriesland	18
4. Friedeburg, Kreis Wittmund/Ostfriesland	28
5. Friesoythe, Kreis Cloppenburg/Oldenburg	75
6. Infeld, Kreis Wesermarsch/Oldenburg	7

Die Meßstellen 1 bis 5 stellen eine in Richtung Nordwest-Südost verlaufende Beobachtungskette unterschiedlicher Entfernung zur Küste dar. Die Meßstelle 6, durch Wesermündung, Außenweser und Jadebusen dreiseitig von Wasser umgeben, gibt — dazu noch relativ nahe zum Industriegebiet Nordenhams (4 km) — weniger klare Beziehungen. Sie ist für die Versuchsfelder der Marschversuchsstation Infeld eingerichtet und hier zur Vervollständigung mit aufgeführt.

Jede Meßstelle erhielt neben dem Regenmesser (nach HELLMANN) zusätzlich eine größere Auffangwanne (70×45 cm), die es ermöglichte, sogar bei kleinsten Tagesniederschlägen (bis zu 0,1 mm) genügend Niederschlagswasser für die vorgesehenen Analysen zu gewinnen. Die Auffangwanne (Abb. 2) ist aus glasfaserverstärktem Polyesterharz angefertigt und wurde auf 60 cm hohe Holzpfosten montiert. Dies und die Höhe der Wandung (10 cm) sollten Spritztropfen von der umgebenden Bodenoberfläche abhalten. Das Gerät stand jeweils auf einer Rasenfläche. Eine leichte Schräge läßt das Niederschlagswasser schnell auf dem sehr glatten Kunststoffboden zu einem in einer der Ecken eingelassenen Ablaufstutzen fließen. Damit wird der Verdunstungsverlust (= Konzentrationserhöhungen!) minimal gehalten. Der Ablaufstutzen mündet in einen Glastrichter, der auf einer 5-l-Glasflasche fest angebracht ist. Im Glastrichter wurde wöchentlich die zum Filtrieren des zwangsläufig mit aufgefangenen Staubes eingelegte Watte erneuert. Wasserlösliche Anteile des Staubes wurden auf diese Weise mit erfaßt. Das Bedienungspersonal wurde angehalten, vor allem nach längeren Trok-



Abb. 2. Auffanggerät für niederschlagschemische Untersuchungen. Im Hintergrund der Windmesser

Das Gerät stand jeweils auf einer Rasenfläche. Eine leichte Schräge läßt das Niederschlagswasser schnell auf dem sehr glatten Kunststoffboden zu einem in einer der Ecken eingelassenen Ablaufstutzen fließen. Damit wird der Verdunstungsverlust (= Konzentrationserhöhungen!) minimal gehalten. Der Ablaufstutzen mündet in einen Glastrichter, der auf einer 5-l-Glasflasche fest angebracht ist. Im Glastrichter wurde wöchentlich die zum Filtrieren des zwangsläufig mit aufgefangenen Staubes eingelegte Watte erneuert. Wasserlösliche Anteile des Staubes wurden auf diese Weise mit erfaßt. Das Bedienungspersonal wurde angehalten, vor allem nach längeren Trok-

kenperioden die Auffangwanne zu reinigen. Exkremete von Vögeln ließen sich leicht fernhalten, indem die Wanne mit einem engmaschigen Polystyrolnetz bespannt wurde. Dadurch vermieden es Vögel, sich auf den Wannrand zu setzen. Auch das Laub und ähnliches konnte ferngehalten werden. Die Niederschläge jedes Regentages wurden zusammen mit der üblichen Morgenablesung der übrigen Geräte aus der großen Auffangflasche nach kräftigem Durchschütteln in 500-ml-Polyäthylenflaschen abgefüllt. Der Rest wurde verworfen. Zum Monatsende wurden die gut verschlossen und nummeriert aufbewahrten Wasserproben eingesammelt und anschließend zentral in der Marschversuchsstation untersucht. Durchschnittlich 12 bis 15 Regentage je Monat ergaben jährlich 130 bis 180 Wasseranalysen je Beobachtungsstation. Folgende Analysen wurden durchgeführt:

1. Ca	}	flammenphotometrisch			
2. Na					
3. K					
4. Mg	}	kolorimetrisch	mit Titangelb	} bzw. durch Destillation	
5. NO ₃			mit Natriumsalicylat		} nach KJELDAHL
6. NH ₃			mit Neßlers Reagenz		
7. SO ₃		gravimetrisch	mit BaCl ₂		
8. Cl		maßanalytisch	mit $\frac{n}{50}$ AgNO ₃		
9. pH		mittels Glaselektrode			
10. Leitfähigkeit		mittels Platinelektrode			

Die gefallenen Niederschlagsmengen wurden an allen Stationen mit dem normalen Regenmesser gemessen. In Norderney und Infeld erfolgte zusätzlich eine laufende Registrierung der Windstärke und Windrichtung¹⁾.

3. Ergebnisse der Untersuchungen nach landwirtschaftlich-bodenkundlichen Gesichtspunkten

Zur Besprechung der nunmehr vorliegenden, umfangreichen Analysen wird zunächst eine tabellarische Übersicht vorangestellt. Durch Multiplikation der Niederschlagsmenge jedes Regentages mit der jeweils gemessenen Konzentration der verschiedenen Anionen und Kationen wurde die jeweilige Menge in g bzw. kg/ha festgestellt. Durch Summieren dieser täglichen Regenmenge ist ein genaueres Ergebnis der Endsumme eines Monats oder Jahres zu erzielen als beim Sammeln der Niederschläge in kleineren Auffanggeräten und Analysieren des Monatsdurchschnittes. So können z. B. die Niederschläge einer bestimmten Wetterlage getrennt erfaßt werden, und letztlich ist diese Arbeitsweise überhaupt die Voraussetzung für ein Erkennen der meteorologischen Einflüsse auf die wechselnde Menge und Qualität der Niederschlagsbeimengungen, worüber im Abschnitt 4 berichtet wird.

Für landwirtschaftliche Fragestellungen ist zunächst die Summe und Art der in den Niederschlägen dem Boden zugeführten Anionen und Kationen, allenfalls deren jahreszeitliche Verteilung von Bedeutung. In dem diesem Bericht zugrunde liegenden Zeitraum fielen im Durchschnitt aller Meßstationen 48% der Niederschlagsmengen in den Wintermonaten Oktober bis März und 52% in den Sommermonaten April bis September. In diesen nahezu gleichmäßig über das Jahr verteilten Niederschlagsmengen sind jedoch bei dem dem Einfluß der Küstennähe stark unterliegenden Na₂O- und MgO-Gehalt 60% der Mengen in den Winterniederschlägen enthalten, während sich z. B. der auf Küstennähe weniger stark reagierende CaO-Gehalt des Niederschlagswassers mit 51% der Mengen in den Wintermonaten der Mengenverteilung des Regens anpaßt.

¹⁾ Allen an dieser Untersuchung beteiligten Mitarbeitern sei an dieser Stelle besonders gedankt.

den Durchschnittangaben. Je stärker diese voneinander abweichen, um so größer ist der meteorologische Einfluß der Küstennähe und damit des Meereswassers. Setzt man den Minimalwert (Station Friesoythe) = 1 und den Maximalwert (Station Norderney) als ein Vielfaches davon, so ergibt sich eine völlig andere Rangordnung, nämlich

Mg	1:8,6	S	1:1,9
Cl	1:7,7	K	1:1,4
Na	1:4,8	NO ₃	1:1,2
Ca	1:2,2	NH ₄	1:1,0

Tabelle 2

Kationen- und Anionenkonzentration im Niederschlagswasser

	mg/l (Jahresdurchschnitt)					Ø Mitteleuropa nach RIEHM (1961)	
	1	2	3	4	5	6	
Ca	2,2	1,6	1,2	1,1	1,2	2,3	1,0
Na	18,4	5,5	4,3	4,4	3,9	6,2	0,2
Mg	2,2	0,4	0,4	0,4	0,2	0,3	0,2
K	2,2	1,8	1,7	1,6	n. b.	1,9	0,2
S	6,8	n. b.	n. b.	3,6	n. b.	4,6	0,1
Cl	41,4	8,2	5,6	5,4	n. b.	8,8	0,5
NO ₃	2,0	n. b.	n. b.	1,6	n. b.	1,8	0,3
NH ₄	2,3	n. b.	n. b.	2,2	n. b.	2,2	0,2

- 1 = Norderney
2 = Großheide
3 = Abelitzmoor
4 = Friedeburg
5 = Friesoythe
6 = Infeld

Tabelle 3

Das Mehrfache an Konzentrationen von einigen Anionen und Kationen im Niederschlagswasser sechs küstennaher Meßstationen gegenüber dem mitteleuropäischen Durchschnitt

Element	S	vom 36,4fachen	bis zum 67,5fachen	im Mittel	das 50fache
"	Na	" 19,4	" " 92,0	" " "	40 "
"	Cl	" 10,8	" " 82,8	" " "	28 "
"	NH ₄ -N	" 11,0	" " 11,3	" " "	11 "
"	K	" 8,2	" " 11,8	" " "	10 "
"	NO ₃ -N	" 5,3	" " 6,6	" " "	6 "
"	Mg	" 1,3	" " 11,0	" " "	4 "
"	Ca	" 1,1	" " 2,3	" " "	2 "

Auf Grund dieser Feststellung wurde im folgenden das Schwergewicht der Aussagen auf die Kationen Mg, Na, Ca gelegt, zumal diese analytisch leicht aus kleinsten Substanzmengen bestimmt werden können.

Man kann damit einer amerikanischen Auswertungsmethodik (US SAL. LAB. STAFF 1959) folgen, die zur Kontrolle über den Wert des Berieselungs- und Beregnungswassers in allerdings ariden Gebieten bestimmt ist. Man befürchtet dort, daß an Na-Ionen reiche, aber an Ca- und Mg-Ionen arme Wässer nachhaltig die Struktur der behandelten Böden schädigen können. CZERATZKI (1961) hat darüber kürzlich ein Beispiel für das deutsche Schrifttum geliefert. Der Wert des Beregnungswassers wird dabei durch zwei analytisch leicht und schnell bestimmbare Größen ermittelt.

a) Das Verhältnis von Mg^{++} und Ca^{++} zu Na^+ wird durch das sogenannte Natriumadsorptionsverhältnis (NaAV) in einer Zahl angegeben: $NaAV = \frac{Na^+}{\sqrt{(Ca^{++} + Mg^{++})/2}}$

Mit zunehmendem Überschuß an Natriumionen gegenüber Mg^{++} - und Ca^{++} -Ionen in einer wäßrigen Lösung steigt die Eintauschfähigkeit des Na^+ an der Bodenkolloidoberfläche. Je größer das Natriumadsorptionsverhältnis (NaAV), um so stärker ist auch die Eintauschkraft des Na^+ , um so mehr steigt vor allem für den Ca^{++} -armen Boden die Gefahr eines zunehmenden Austausches gegen Na^+ . Die sich dann vergrößernden Hydrathüllen zunehmend mit Na^+ belegter Sorptionskomplexe bedingen die bekannten ungünstigen Struktureigenschaften kolloidhaltiger Böden (Verschlammungen — Einzelkornstruktur — Verkrustungen).

b) Durch Messen der Leitfähigkeit können alle in einer Lösung befindlichen Anionen und Kationen in einer Größenordnung in ihren Wirkungen zum Ausdruck gebracht werden. Je höher damit die allgemeine Salzkonzentration — wobei Chloride und Sulfate im küstennahen Niederschlagswasser überwiegen —, um so größer ist die Gefahr, daß die bekannten Schäden an Böden und Pflanzen in Erscheinung treten.

a) und b) können aus einer beigegebenen Graphik zu Bereichen niedriger — mittlerer — hoher Gefährdung geordnet werden, z. B. Natriumgefährdung:

niedrig	NaAV	< 10
mittel	NaAV	10—18
hoch	NaAV	> 18

und Salzgefährdung:

niedrig	< 250 μ S
mittel	250—750 μ S
hoch	> 750 μ S

Nicht immer stimmen Natriumgefährdungsbereich und Salzgefährdungsbereich völlig überein.

In der folgenden Tabelle 4 sind für den Meßzeitraum September 1961 bis September 1962 Salz- und Natriumgefährdung aus Niederschlagswässern mit den in diesem Zeitraum erfaßten Regentagen aufgeschlüsselt.

Tabelle 4

Anzahl Regentage unterschiedlicher Salz- und Natriumgefährdung

Meßstelle	Norderney	Großheide	Infeld	Friedeburg	Friesoythe
Salzgefährdung					
niedrig	110	162	149	126	147
mittel	47	16	7	2	3
hoch	19	3	3	2	—
Natriumgefährdung					
niedrig	118	168	153	124	148
mittel	34	8	3	5	2
hoch	24	5	3	1	—

Mit zunehmender Entfernung von der Küste nehmen Salzgefährdung und Natriumgefährdung ab. Schon die Tatsache, daß im Küstengebiet durchschnittlich fünf bis sieben Regentage eines Jahres Niederschlagswässer anliefern, deren Salzgehalt bzw. Natriumgehalt eine große Gefahr für die Struktur der Böden darstellen, könnte ein wertvoller Hinweis dafür sein, weshalb besonders die in Ackernutzung liegenden küstennahen Marschböden, bei der für dieses

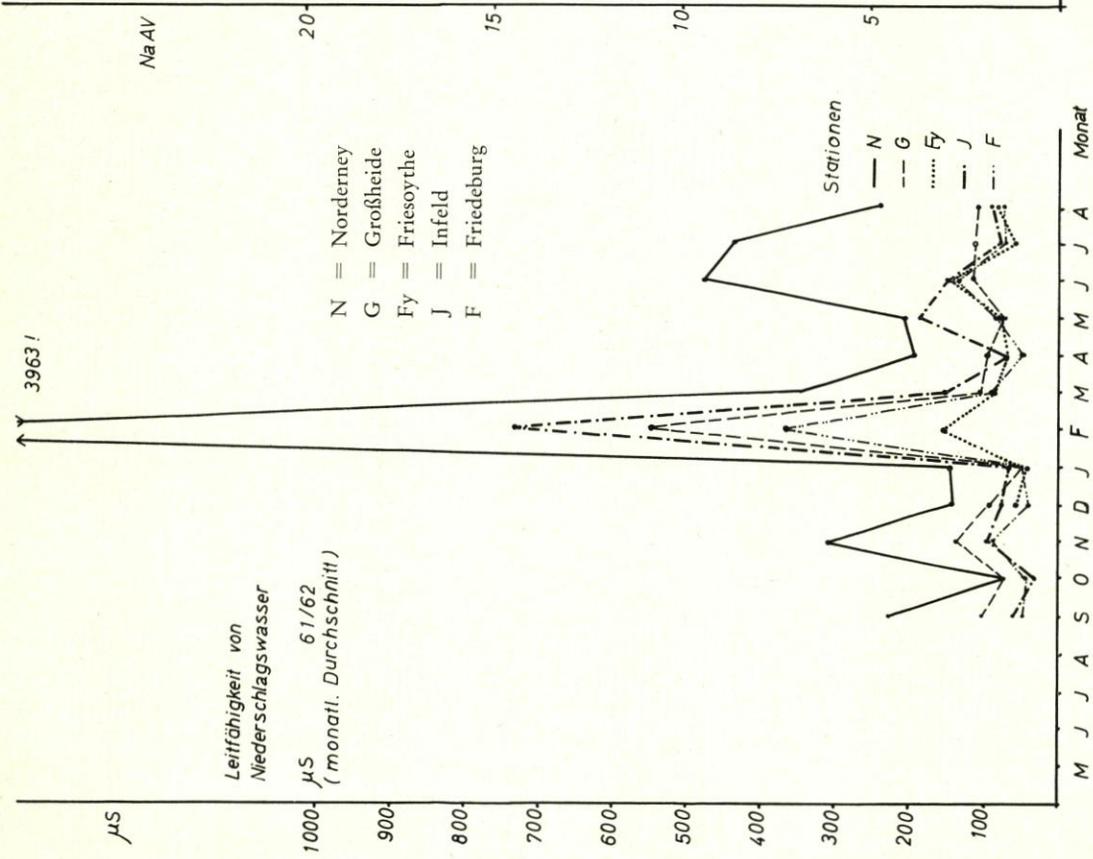


Abb. 3. Monatliche Durchschnittswerte der elektrischen Leitfähigkeit des Niederschlagswassers

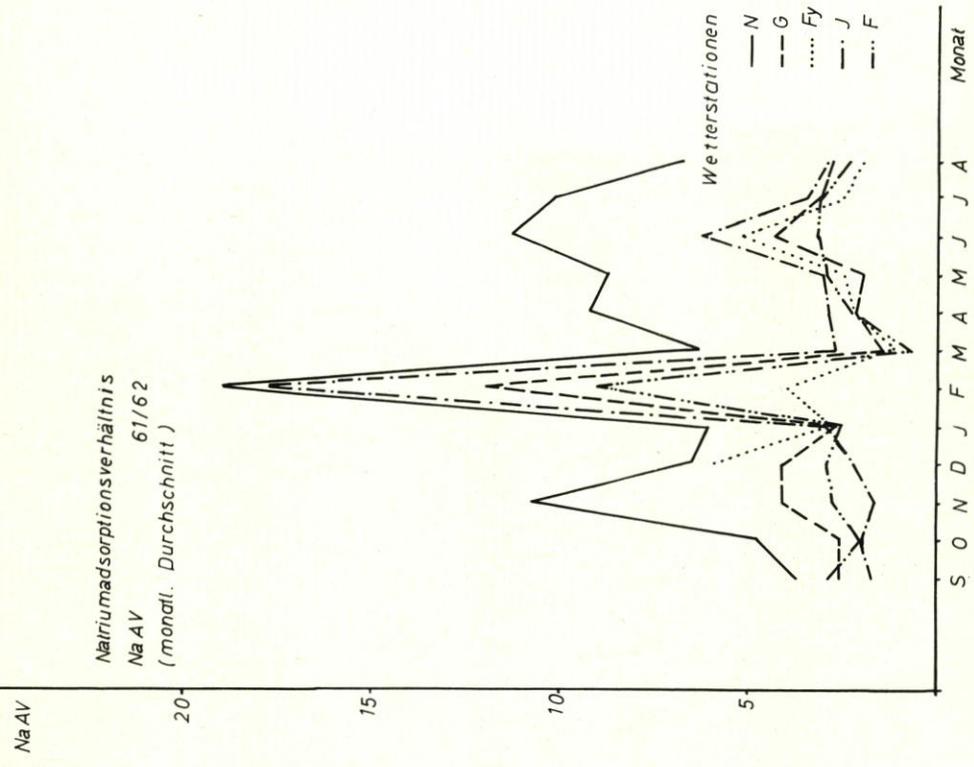


Abb. 4. Monatliche Durchschnittswerte des Natriumadsorptionsverhältnisses (Abkürzungen siehe Erläuterungen zu Abb. 3)

Gebiet im allgemeinen geringen Niederschlagsdichte (Regenintensität selten $> 1-2$ mm/h), trotz erheblicher Aufwendungen für Kalk, Humus- und Phosphatzufuhr zum schnellen Strukturverlust durch Verschlämmen neigen. Allerdings muß abschwächend erwähnt werden, daß die Tage mit in dieser Hinsicht gefährlichen Niederschlägen im allgemeinen die geringeren Niederschlagsmengen (s. auch Abschn. 4. c) liefern. Eine Aufgliederung in die einzelnen Monate läßt diese vorzugsweise in der vegetationslosen Zeit auftreffen. Eine in den Abbildungen 3 und 4 gewählte Darstellungsform des jeweiligen Monatsmittels der Salz- und Natriumgefährdung läßt dies deutlich erkennen. Neben der in dieser Darstellung durch die Februarsturmflut 1962 deutlichen Spitze in den für fünf Stationen aufgezeichneten Ganglinien sind noch zwei kleinere Zunahmen der Salz- und Natriumgefährdung im Spätherbstmonat November 1961 und im Frühsommermonat Juni 1962 — beides Monate mit stürmischen Wetterlagen — zu erkennen. Die Abbildungen zeigen, daß die monatlichen Durchschnittswerte bei den Festlandstationen < 5 NaAV und $< 250 \mu S$ liegen. Großwetterlagen wie die Sturmflut-tage im Februar 1962, lassen diese Werte sehr stark in einen mittleren bis hohen Gefahrenbereich anschwellen, der sonst allein in der Inselstation Norderney zu finden ist. In dem Reagieren auf solche Witterungsumstände zeigt sich eine deutliche Abstufung der Meßstationen nach der Entfernung zur Küste. Die am weitesten entfernte Meßstelle bei Friesoythe läßt nur noch einen sehr geringen Meereseinfluß erkennen.

Die in den Beregnungsgebieten bewährte Methodik der vorbeugenden Untersuchung des zu verwendenden Wassers soll abschließend durch zwei Versuchsreihen mit einem gegen Verschlammung empfindlichen Marschboden überprüft werden.

1. Durchlaufversuch
2. Spülversuch

Zur Durchführung des Durchlaufversuchs wurden Glasröhrchen, 45 cm lang, 15 mm Durchmesser, von unten mit Diolengaze verschlossen, mit 25 g natürlichen, luftgetrockneten Krümel eines Seebrackmarschbodens, 2 bis 3 mm Durchmesser, locker gefüllt. In wiederholten Gaben wurden jeweils 100 ml wäßriger Lösungen verschiedener NaCl-Konzentrationen (0 g/l, 0,2 g/l, 0,4 g/l, 0,8 g/l) zur Perkolation dieser künstlichen Bodensäulen verwendet. Der Versuch wurde in vierfacher Wiederholung für jede oben angegebene Konzentration der Lösungen angesetzt. Mittels angebrachter Marken konnte die beim Durchlauf wechselnde Höhe der dabei überstehenden Wassersäule im Glasröhrchen abgestoppt und dadurch die Durchlässigkeit bei wechselnder Druckhöhe nach der Formel:

$$k = 2,3 \cdot \frac{L \cdot f}{\Delta t \cdot F} \cdot \log \frac{h_1}{h_2} \text{ cm/s}$$

errechnet werden. Zwischen jeder Durchlaufmessung wurden mehrstündige bis mehrtägige Pausen eingelegt. Während dieser Zeit blieben die künstlichen Bodensäulen mit dem Perkolat in kapillarer Verbindung. Das Ergebnis ist in Tabelle 5 aufgeführt.

Die luftgetrockneten Krümel saugen beim ersten Durchlauf begierig das Perkolationswasser auf. Dabei setzen Quellungsvorgänge ein, die ein teilweises Zerfallen der Krümel und engeres Aneinanderpassen im Glasröhrchen bedingen. Beim zweiten Durchlauf ist die anfangs recht große Durchlaufgeschwindigkeit dadurch erheblich, prozentual bei allen mit Salzlösungen behandelten Bodensäulen stärker als bei Verwendung destillierten Wassers, verringert worden. Im weiteren Verlauf des Versuchs kommt es zu einer Annäherung der Ergebnisse. Erst nach längerer Versuchsdauer lassen sich wieder größere Differenzen der Durchlaufgeschwindigkeiten erkennen. Versucht man die unterschiedliche Lagerungsweise der Bodenkrümel in den Perkulationsröhrchen dadurch zu eliminieren, daß die jeweils zuerst gemessene Durchlässigkeit als Bezugsbasis für die prozentuale Veränderung der Permeabilität gewählt wird, gleichen sich diese in der Tabelle

Tabelle 5
Durchlaufgeschwindigkeit in cm/s (K)
bei verschiedenen konzentrierten Salzlösungen (NaCl)

Zeit in h seit Beginn des Ver- suches	Konzentrationen in g/l				Niederschlags- wasser vom 16./17. 2. 1962
	0	0,2	0,4	0,8	
0	4,22	4,05	4,03	4,90	4,63
19	2,10	1,40	1,22	1,31	1,44
47	0,67	0,72	0,61	0,82	0,71
144	0,59	0,58	0,63	0,70	0,59
239	0,57	0,54	0,58	0,64	0,61
334	0,57	0,51	0,53	0,53	0,51

sichtbaren Unterschiede weitgehend aus. Die hierzu verwendeten NaCl-Lösungen sind gegenüber dem Niederschlagswasser einseitig Na^+ - und Cl^- -Ionen führende Lösungen. Das NaAV ist daher unendlich groß. Während die Leitfähigkeit bei 0 g/l NaCl = 10 μ S, 400 μ S bei 0,2 g/l NaCl, 1000 μ S bei 0,4 g/l NaCl und 2000 μ S bei 0,8 g/l NaCl zeigt und das Niederschlagswasser der Sturmfluttag in Infeld 750 μ S hatte, ist die dadurch ausgedrückte Salzgefährdung mittel bis hoch zu nennen. Rechnet man den Durchlauf von 2×100 ml auf einer Querschnittsfläche von 1,76 cm^2 auf mm Niederschlagshöhe um, so entspräche dies 114 mm. 114 mm mit 0,4 g/l NaCl ergeben 156 kg NaCl je Hektar, eine Größenordnung, die unter den beschriebenen Verhältnissen im Küstengebiet im Laufe eines Jahres durchaus als Mittelwert aus den Niederschlägen gewonnen werden kann. Bei 800 mm Jahresniederschlag müßte dafür eine mittlere Salzkonzentration von 19,5 mg/l NaCl bzw. 7,7 mg/l Na gemessen werden, wenn alle Na-Ionen nur mit Cl^- -Ionen im Niederschlagswasser Salze bilden würden. Die gleichzeitig im Niederschlagswasser gegebenen Mg- und Ca-Salze dürften die hier theoretisch entwickelte Gefährdung der Bodenstruktur unter natürlichen Verhältnissen erheblich abschwächen, zumal die Niederschläge mit hohem NaAV und hoher Leitfähigkeit mengen- und zahlenmäßig gering bleiben. Im Rahmen dieser Betrachtung muß der Faktor Zeit auch bei geringeren Konzentrationen schärfer beurteilt werden. Zumindest ist aber damit die Sonderstellung der unter solchen Niederschlagsverhältnissen liegenden, ohnehin strukturlabilen Marschböden eindeutig aufgezeigt. Zur Erklärung dieser Ergebnisse wurde eine weitere Untersuchungsmethodik angewendet.

Im Spülversuch wurden ebenfalls 10 g natürliche, lufttrockene Krümel (1 bis 2 mm) zunächst in Petrischalen mit jeweils 7,5 ml der oben genannten Lösungen steigender NaCl-Konzentration a) 72 Stunden und b) zwei Stunden bei 20° C bebrütet und in einer von NEUHAUS (1962) entwickelten Spülapparatur dem Druck und Abrieb in strömendem Leitungswasser ausgesetzt. Anschließend wurde nach dem Klarspülen der Rest bei 105° C getrocknet und die nach nochmaligem trockenen Sieben verbleibenden Anteile an 2 bis 3 mm großen Krümeln bestimmt. Daraus errechnet sich der Prozentsatz der Aggregatstabilität.

Die nach 72stündiger Einwirkungszeit des Wassers auf die Krümel verbleibende durchschnittliche Stabilität beträgt 36 % gegenüber 62 % bei nur zweistündiger Einwirkungszeit. Die zusätzliche Wirkung steigender NaCl-Konzentrationen des Vorbereitungswassers ist nach kurzer Einwirkungszeit von nur zwei Stunden nicht zu erkennen, ja, es ist sogar eine leichte, jedoch nicht wesentliche Verbesserung der Strukturstabilität zu bemerken. Bei 72stündiger Einwirkung ist von 0,2 bis 0,4 g/l NaCl ebenfalls eine, jedoch nicht wesentliche Verminderung der Aggregatstabilität zu beobachten. Die Dauer der Einwirkung des Wassers ist demnach von stär-

kerem Einfluß auf die Aggregatstabilität als die mögliche Salzkonzentration. Die Vergleichsmessungen mit destilliertem Wasser haben den Nachteil, daß hierbei Austauschvorgänge (Boden \rightarrow dest. Wasser) die Stabilität der Krümel nachhaltig negativ beeinflussen, weshalb nach KULLMANN und KOITZSCH (1961) Leitungswasser $> 10^0$ DH vorzuziehen ist, denn bestimmte Konzentrationsverhältnisse in der Bodenlösung müssen zum Erhalten einer stabilen Krümelstruktur vorliegen. So betrachtet, dürfte der kurzfristige Einfluß der salzhaltigen Niederschläge im Küstengebiet auf die Bodenstruktur weniger kritisch zu beurteilen sein. Die von CZERATZKI (1961) berichteten und selbst durchgeführten Versuche mit Na-haltigem Beregnungswasser auf Löß bringen hinsichtlich der gemessenen Bodenstrukturen zum Teil wesentlich bedeutsamere Ergebnisse. Unterstellt man jedoch die über Jahrhunderte anhaltende Beeinflussung der Marschböden mit Na-haltigem Niederschlagswasser und auch höheren NaAV, so dürften die bodenphysikalischen Eigenschaften dieser Böden im humiden Seeklima und bei Grundwassernähe zum Teil auch durch die Qualität des Niederschlagswassers ihre Erklärung finden. Die recht wechselnden Konzentrationen an in dieser Hinsicht negativ oder positiv wirkenden Elementen finden in meteorologischen Untersuchungen ihre Erklärung.

4. Zusammenhang mit meteorologischen Faktoren

An den sechs eingerichteten Beobachtungsstellen waren wesentliche Unterschiede in den Salzkonzentrationen gefunden worden, die sich in ihrer Höhe bei den einzelnen Elementen zudem erheblich unterscheiden. Schon dadurch ist ein Hinweis auf die Hauptquellen dieser Bestandteile gegeben. Ein noch deutlicheres Bild über die Herkunft der Salze läßt sich aber gewinnen, wenn die Konzentrationen mit der an den Meßtagen herrschenden Witterung in Zusammenhang gebracht werden. Gerade der Einfluß der Meeresnähe, auf den es bei der vorliegenden Untersuchung besonders ankam, wird sich beispielsweise dann am besten herausstellen lassen, wenn man die Meßergebnisse in Abhängigkeit von der jeweiligen Richtung der Luftströmungen betrachtet. Daher wurde das gesamte Material nach den verschiedenen Windrichtungen aufgeteilt, außerdem nach der Windstärke und nach den gefallen Niederschlagsmengen. Schließlich wurden noch die Verhältnisse bei einigen besonderen Witterungserscheinungen untersucht.

a. Abhängigkeit von der Windrichtung

Zur Charakterisierung der Strömungsverhältnisse während der Meßperiode stand die Windrichtung von Norderney zur Verfügung. Für jeden Tag wurde eine Hauptwindrichtung ermittelt (jeweils von 7 Uhr bis 7 Uhr des folgenden Tages entsprechend dem Zeitraum der Niederschlagsmessungen). Damit erfolgte eine Einteilung des Materials in vier Windrichtungsgruppen, die unter dem Gesichtspunkt ausgewählt wurden, in erster Linie den Einfluß des Meeres herauszufinden. Bei Winden von West bis Nordost wird in Norderney die Luft eindeutig von der See her herangeführt. Diese Gruppe wird mit „Nordwestsektor“ bezeichnet. Demgegenüber steht der „Südsektor“ mit Winden aus Südost und Süd, die hier nur die kürzeste Entfernung über das Watt zurückgelegt haben. Winde um Südwest und von der anderen Seite um Ost wehen dagegen etwa parallel zum allgemeinen Küstenverlauf; ihr Weg über Wasser oder Land ist daher nicht so genau zu bestimmen. Für diese Fälle wurden die Gruppen „Südwest“ und „Ost“ gebildet.

Bei den im Binnenland gelegenen Stationen hat diese Einteilung die gleiche Gültigkeit. Winde aus dem „Nordwestsektor“ lassen den stärksten Einfluß des Meeres erwarten. Zusätzlich kann hier eine nochmalige Unterteilung die Verhältnisse weiter verdeutlichen, denn nur Nord-

west- und Nordwinde erreichen von der offenen See her die Binnenlandstationen auf dem kürzesten Wege gegenüber den eigentlichen Westwinden. Dem war auch durch Auswahl der Meßstellen, die etwa in einer Reihe von Nordwest nach Südost liegen (Ausnahme Infeld), Rechnung getragen worden. Im „Südsektor“ kann kaum ein Einfluß des Meerwassers vorhanden sein, und in den beiden übrigen Sektoren sind die Voraussetzungen wieder etwas weniger einheitlich, da hier je nach Lage der Station die Wesermündung und der Jadebusen sowie auf der anderen Seite der Dollart von Bedeutung sein können.

Alle vorhandenen Beobachtungstage wurden nach den oben genannten vier Windrichtungsgruppen unterteilt und für die dann zusammengehörenden Fälle die Mittelwerte der Konzentrationen gebildet. Die Ergebnisse enthält Tabelle 6, der die nachfolgenden Zusammenhänge zu entnehmen sind.

Tabelle 6

Mittlere Konzentration (mg/l) der Beimengungen im Niederschlagswasser bei Winden aus verschiedenen Sektoren

	Nordwest	Südwest	Ost	Süd	Nordwest	Südwest	Ost	Süd
	a) Na ₂ O (Mai 1961 bis August 1962)				b) CaO (Mai 1961 bis August 1962)			
Norderney	101,0	20,3	31,2	8,7	12,8	4,5	5,0	6,0
Großheide	24,4	7,6	8,4	4,7	5,1	3,1	5,3	3,1
Abelitzmoor	9,2	5,9	8,5	4,0	2,2	2,1	2,5	4,7
Friedeburg	11,8	6,6	6,5	5,3	3,0	2,6	5,1	2,4
Friesoythe	11,8	5,3	5,9	6,4	2,6	2,6	3,8	2,1
Infeld	23,5	7,9	6,8	4,7	3,8	3,3	5,4	9,3
	c) K ₂ O (Mai bis August 1961)				d) MgO (Okt. 1961 bis Aug. 1962)			
Norderney	5,6	2,1	1,4	1,9	8,68	1,78	2,15	1,35
Großheide	2,6	2,2	(8,6)	1,7	1,21	0,62	0,40	0,54
Friedeburg	2,8	3,5	3,1	2,5	0,81	0,49	0,73	0,50
Friesoythe	2,5	1,9	3,8	1,8	0,68	0,53	0,47	0,37
Infeld	2,0	2,9	3,6	1,8	1,08	0,45	0,49	0,36
	e) SO ₃ (Mai bis Dezember 1961)				f) NH ₄ (Juli bis Dezember 1961)			
Norderney	27,3	10,8	—	14,3				
Friedeburg	9,3	14,4	8,9	12,4				
Infeld	13,9	7,7	19,4	23,2	2,2	2,3	3,0	2,1

Beim Natrium (Tab. 6a) läßt die Aufteilung nach den verschiedenen Windrichtungen ganz besonders gut den vorherrschenden Einfluß des Meerwassers erkennen. In Norderney ist der Gehalt an Na₂O bei Winden aus dem Nordwestsektor überaus hoch; bei Südwinden geht die Konzentration auf weniger als $\frac{1}{10}$ dieses Wertes zurück, Südwest- und Ostwinde enthalten etwa $\frac{1}{5}$ bis $\frac{1}{3}$. Weiter binnenwärts nehmen im Nordwestsektor die Werte entsprechend der Entfernung von der Küste ab, so z. B. in Infeld und Großheide auf etwa $\frac{1}{4}$, in Friedeburg, Abelitzmoor und Friesoythe auf etwa $\frac{1}{10}$ desjenigen von Norderney. Der stärkste Rückgang der Konzentrationen ist also in einer etwa 30 km breiten Zone von der Küstenlinie her erfolgt (bis Friedeburg); weiter südlich ändern sich die Werte nur noch wenig. Abelitzmoor mit einer geringeren Küstenentfernung weist nur deshalb einen kleineren Wert als Friedeburg auf, weil dort die Beobachtungsreihe früher abgebrochen werden mußte und daher die Wintermonate mit den hohen Konzentrationen fehlen.

Bei Winden aus dem Südsektor zeigen sich andere Verhältnisse. Alle vier Binnenlandstationen haben fast den gleichen Wert, unabhängig von der Entfernung zur Küste, und sogar Norderney erreicht noch nicht einmal das Doppelte davon. Bei solchen Windrichtungen von

Land her ist also bis dicht an die Küstenlinie heran kein Unterschied in der Natriumkonzentration vorhanden. Bei den übrigen, etwa küstenparallelen Windrichtungen steigen demgegenüber die Werte an den im Binnenland gelegenen Stationen wieder geringfügig an, in Norderney selbst naturgemäß schon etwas stärker. Als Hauptquelle für das Natrium sind damit die Natrium-Salze des Meerwassers offensichtlich angezeigt.

Die Verteilung des Calcium (Tab. 6b) führt zu einem ganz anderen Bild. Zwar hat auch hier noch Norderney den höchsten Wert bei Winden von See her, aber an allen übrigen Stationen zeigt die Konzentration keine einheitliche Abhängigkeit von der Windrichtung mehr, insbesondere keine Bevorzugung des Nordwestsektors, wie es beim Natrium vorhanden war. Auch für Norderney bringen schon die Südwest- und Ostwinde keine Erhöhung der Konzentration gegenüber den reinen Landwinden mehr. An diesen Verhältnissen zeigt sich, daß das Calcium im Niederschlagswasser nicht in erster Linie dem Meerwasser entstammt, sondern von anderen Quellen her in die Luft gelangen muß.

Für das Kalium gilt ähnliches. K_2O wurde nur in den vier Monaten von Mai bis August 1961 untersucht. Wegen der geringeren Anzahl der Meßtage streuen einzelne Werte etwas stärker (Tab. 6c), aber es ist gut erkennbar, daß gerade im Binnenland die Windrichtung keine Rolle spielt. Das deutet auch beim Kalium darauf hin, daß die Hauptquelle für dieses Element nicht das Meerwasser ist.

Tabelle 6d enthält die Angaben für Magnesium. Hier ist wiederum eine wesentlich stärkere Abhängigkeit von der Meeresnähe festzustellen. Der Einfluß der Windrichtung ist deutlich ausgeprägt. Norderney hat bei Winden aus Nordwest 6- bis 7mal soviel MgO als bei Südwind. Auch bei den übrigen Stationen im Binnenland ist der Anteil an Magnesium bei Winden aus dem Nordwestsektor merklich höher als bei den übrigen Windrichtungen. Diese Abhängigkeit der Konzentration von den See- bzw. Landwinden weist beim Magnesium wieder auf die Herkunft aus dem Meerwasser hin.

Aus einigen Monaten des Beobachtungszeitraums liegen noch Untersuchungen des Schwefels und des Stickstoffs für Norderney, Friedeburg und Infeld vor. Auch bei diesen Elementen wurde nach einer Abhängigkeit von der Windrichtung gesucht (Tab. 6e und 6f). Beim Stickstoff weichen die Werte für alle vier Windrichtungsgruppen wenig voneinander ab. Beim Schwefel hat Infeld die höchsten Konzentrationen im Süd- und Ostsektor, nur Norderney im Nordwestsektor. Ein Zusammenhang mit den Luftströmungen von See her scheint hier im Binnenland nicht vorzuherrschen, vielmehr kommen als Quellen eher Industrieanlagen in Betracht, z. B. diejenigen Nordenhams, und die wechselnden Konzentrationen sind dann unter anderem durch die jeweiligen Winde bedingt, die diese Bestandteile mit sich führen.

Wie schon erwähnt wurde, erreichen von allen Winden des Nordwestsektors, also des Seesektors, nur diejenigen die Binnenlandstationen auf kürzestem Wege, die unmittelbar aus Nordwest bis Nord kommen. Um nachzuprüfen, ob sich bei diesen besonderen Windverhältnissen die hohen Konzentrationen noch besonders häufen, wurde dieser Sektor für das Element Natrium nochmals unterteilt (Tab. 7). Es zeigt sich, daß bei diesen auf kürzestem Wege ins Binnenland eindringenden Luftströmungen eine weitere Erhöhung der Natriumkonzentration gegenüber dem allgemeinen Mittel aus dem Seesektor vorhanden ist. Bei solchen meteorologischen Bedingungen gibt es auch im Binnenland die in Abschnitt 3 genannten Tage mit hoher Natrium- bzw. Salzgefährdung.

b. Einfluß der Windstärke

Als zweiter meteorologischer Parameter wurde die Windstärke in ihrem Einfluß auf die Salzkonzentration untersucht. Wie eben erwähnt, schien gerade bei denjenigen Elementen, die

Tabelle 7
Konzentration von Na₂O bei Unterteilung des Nordwestsektors

	Winde zwischen Nordwest und Nord mg/l	übrige Winde mg/l
Norderney	254,0	59,8
Großheide	41,5	18,0
Abelitzmoor	12,5	6,8
Friedeburg	24,7	7,7
Friesoythe	26,5	8,5
Infeld	57,1	11,5

eine starke Abhängigkeit von der Küstenentfernung zeigten, der verschieden schnelle Herantransport der Luftmassen einen solchen Zusammenhang wahrscheinlich zu machen. Wegen des vorherrschenden Einflusses der Windrichtung, zumindest bei einigen Elementen, konnte diese Untersuchung nur innerhalb der einzelnen Windrichtungsgruppen durchgeführt werden. In Tabelle 8 sind für Na₂O und CaO die Ergebnisse des Nordwest- und des Südsektors einander gegenübergestellt. Entsprechend dem Tagesmittel der Windstärke von Norderney wurden die Beobachtungen nach drei verschiedenen Stärkestufen unterteilt.

Tabelle 8
Abhängigkeit der Na₂O- und CaO-Konzentration in mg/l von der Windstärke
Stufe 1 = 0—2,4 Bft., Stufe 2 = 2,5—4,9 Bft., Stufe 3 = mehr als 5 Bft.

	Winde aus dem Nordwestsektor			Winde aus dem Südsektor		
	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3
a) Na ₂ O						
Norderney	71,7	95,5	135,1	(84,5)	12,4	5,9
Großheide	8,2	16,8	30,5	(13,1)	4,6	3,4
Friedeburg	6,6	8,5	13,8	5,4	4,8	6,2
Friesoythe	7,0	9,4	12,9	3,4	4,8	5,6
Infeld	7,4	18,9	31,0	4,8	4,9	4,3
b) CaO						
Norderney	12,4	12,1	13,3	(19,2)	5,6	3,4
Großheide	4,4	5,2	4,7	(19,0)	3,3	1,5
Friedeburg	4,7	2,9	2,5	3,3	2,7	1,6
Friesoythe	3,0	2,5	2,3	1,9	3,7	1,8
Infeld	1,3	4,8	3,0	2,7	8,0	9,3

Bei Winden aus dem Nordwestsektor wächst die Konzentration von Na₂O mit zunehmender Windstärke ganz beachtlich an. Das trifft sowohl für Norderney zu als noch mehr für die weiter im Binnenland gelegenen Stationen. Während von der niedrigsten zur höchsten Windstärkestufe die Konzentration in Norderney auf etwa das Doppelte ansteigt, macht diese Zunahme an den meisten übrigen Orten sogar ein Mehrfaches des niedrigsten Wertes aus. Das mag auf zwei Ursachen hinweisen. Bei einer größeren Windstärke wird erheblich mehr Wasser von der Meeresoberfläche als Gischt verspritzt, und auf diese Weise gelangen auch mehr Salzpartikelchen in die Luft. Daher ist in jedem Falle ein höherer Salzgehalt der Luft bei größeren Windstärken zu erwarten, sowohl dicht am Meer als auch in größerer Entfernung. Für die Orte im Binnenland kommt außer dieser größeren Salzanreicherung noch hinzu, daß bei stärkeren Winden die Luft in kürzerer Zeit größere Entfernungen zurücklegt und daher auch aus diesem Grunde am jeweiligen Beobachtungsort mit einer höheren Konzentration ankommen

kann als bei einer langsamen Luftbewegung, bei der die Möglichkeit vorherigen Ausregens viel größer ist.

Es erscheint sehr aufschlußreich, daß bei Winden aus dem Südsektor, bei denen die Entfernung zur Küste nicht gleichbedeutend mit dem Weg der Beimengungen von deren Quelle her ist, keine erhöhte Konzentration mit zunehmender Windstärke beobachtet wird. Es hat eher den Anschein, als wenn niedrigere Windstärken mit einem etwas größeren Salzgehalt gekoppelt sind. Das kommt noch deutlicher zum Ausdruck beim Element Calcium. Der Gehalt an CaO steigt auch im Nordwestsektor mit zunehmender Windstärke nicht an, sondern hier sind an den meisten Orten die Werte bei starken Winden sogar am niedrigsten. (Eingeklammerte Werte beruhen nur auf wenigen Einzelmessungen und streuen daher stärker.)

Dieses verschiedenartige Verhalten von Na_2O und CaO weist darauf hin, daß die aus dem Meerwassers kommenden Bestandteile besonders bei starken Winden in die Luft gelangen und dann auch gegebenenfalls am schnellsten ins Binnenland transportiert werden, während anderen Quellen entstammende Beimengungen eher bei schwachen Winden in höherer Konzentration vorhanden sind. Auch letzteres ist verständlich, denn gerade die von der Industrie an die Luft abgegebenen Verunreinigungen bleiben bei einer schwachen, ruhigen Luftbewegung länger in der Umgebung erhalten als bei einer starken, turbulenten Strömung, bei der sie schnell in größere Höhen verteilt werden.

c. Zusammenhang der Konzentration mit der Niederschlagsmenge

Es ist von besonderer Bedeutung, die Abhängigkeit der Salzkonzentration von der jeweils gefallenen Niederschlagsmenge zu kennen. Erst dann lassen sich die dem Boden mit dem Regenwasser zugeführten Stoffe in ihrer Quantität ermitteln und damit deren positive oder negative Auswirkungen abschätzen. Für alle untersuchten Elemente wurde ein Zusammenhang zwischen ihrer Konzentration im mg je Liter Regenwasser und der tatsächlich gefallenen Niederschlagsmenge gefunden. Das Ergebnis enthält Tabelle 9. Die vorliegenden Meßwerte sind in folgende vier Gruppen verschiedener Niederschlagsintensität (Tagessummen) unterteilt worden: 0,1 bis 1,0 mm, 1,1 bis 5,0 mm, 5,1 bis 10,0 mm, über 10 mm. Wegen der starken Abhängigkeit von der Windrichtung wurden bei Na_2O und MgO nur die Tage mit Winden aus dem Nordwestsektor herangezogen, bei den übrigen Elementen dagegen alle Beobachtungswerte benutzt.

Es ergibt sich eindeutig, und zwar für alle untersuchten Elemente, daß bei größeren Niederschlagsmengen die Konzentrationen in mg/l merklich abnehmen. Hohe Konzentrationen treten nur bei kleineren Regenmengen auf. Das ist verständlich, denn die jeweils in der Luft vorhandene Menge an Bestandteilen verteilt sich beim Auswaschen im Falle starker Niederschläge auf eben diese größere Wassermenge. In der Auswirkung hat diese Tatsache insofern besondere Bedeutung, als bei geringen Niederschlagsmengen vor allem die Oberflächen des Bodens und auch der Pflanzen benetzt werden, diese also höheren Salzkonzentrationen ausgesetzt sind. Für die Gesamtmenge der dem Boden zugeführten Stoffe ist dagegen nur das Produkt aus Konzentration und Niederschlagsmenge maßgebend, in dem bei Ansteigen des einen Faktors der andere kleiner wird.

d. Auswirkungen besonderer Wetterlagen

Die am stärksten herausfallende Wetterlage im ganzen Beobachtungszeitraum waren die Tage der Sturmflut im Februar 1962. Außer während der eigentlichen Flutkatastrophe am 16. und 17. Februar herrschte schon tagelang vorher stürmischer Nordwestwind. Sowohl von

Tabelle 9

Abhängigkeit der Konzentrationen in mg/l von der Niederschlagsmenge

	Regenmenge 0,1—1,0	1,1—5,0	5,1—10,0	über 10 mm
a) Na ₂ O	(nur bei Winden aus dem Nordwestsektor)			
Norderney	150,6	69,2	34,2	(72,3)
Großheide	38,4	14,2	8,2	(15,3)
Friedeburg	10,2	15,6	8,8	5,8
Friesoythe	14,0	10,5	5,6	6,5
Infeld	70,5	18,2	6,2	6,6
b) CaO	(bei allen Windrichtungen)			
Norderney	18,7	7,4	3,7	3,9
Großheide	10,4	3,2	2,0	1,7
Friedeburg	4,2	3,1	1,7	1,1
Friesoythe	5,3	2,7	1,6	1,1
Infeld	10,4	5,6	2,7	2,4
c) MgO	(nur bei Winden aus dem Nordwestsektor)			
Norderney	9,43	8,50	3,22	4,35
Großheide	1,92	1,45	0,48	1,55
Friedeburg	0,92	1,18	0,52	0,36
Friesoythe	2,54	0,81	0,34	0,68
Infeld	1,50	1,22	0,63	0,43
d) K ₂ O	(bei allen Windrichtungen, Mai bis August 1961)			
Norderney	7,5	4,8	2,6	1,3
Großheide	4,6	2,6	2,0	1,7
Friedeburg	3,4	2,9	4,2	1,7
Friesoythe	5,0	2,5	2,0	1,5
Infeld	4,6	2,1	1,9	1,4
e) SO ₃	(bei allen Windrichtungen, Mai bis Dezember 1961)			
Norderney	36,6	25,8	15,2	7,0
Friedeburg	10,9	12,7	7,8	7,4
Infeld	34,7	16,3	9,0	10,0

der Windrichtung als auch von der Windstärke her waren also alle Voraussetzungen dafür gegeben, daß die Luft und damit das Niederschlagswasser in dieser Zeit eine überaus hohe Konzentration zumindest derjenigen Bestandteile enthielt, die dem Meerwasser entstammen. So weist der Februar 1962 die höchsten Monatsmittelwerte des Beobachtungszeitraumes auf (Abb. 3 und 4). Wenn man die aus den einzelnen Tagesproben ermittelten Konzentrationen mit den in Tabelle 7 enthaltenen, an sich schon hohen Durchschnittswerten für Nordwest- bis Nordwinde vergleicht (Na₂O), ergeben sich vor und während der Sturmflut fünf Tage mit Niederschlag, an denen diese sonst für stürmische Nordwestwetterlagen gültigen Durchschnittswerte erheblich überschritten wurden. Die höchsten Konzentrationen waren am 17., 18. und 19. Februar vorhanden und sind in Tabelle 10 angegeben.

Es zeigt sich, daß an diesen Tagen bei Na₂O und MgO vielfach das 15- bis 20fache oder mehr derjenigen Menge gefunden wurde, die sonst als Durchschnitt bei Winden aus dem Nordwestsektor gilt. Auch bei CaO sind zwar die Werte erhöht; es ist aber bezeichnend, daß bei dieser nicht in erster Linie dem Meerwasser entstammenden Beimengung die Erhöhung mit Ausnahme von Norderney nur das 4- bis 7fache beträgt.

Für die Abschätzung der Auswirkungen dieser an den Sturmfluttagen vorhandenen besonders hohen Salzkonzentration ist zu beachten, daß die gefallenen Niederschlagsmengen verhältnismäßig gering waren. Die im Regenwasser enthaltenen Bestandteile sind daher in erster

Tabelle 10

Höchste während der Sturmflutwetterlage gemessene Konzentration (a)
im Vergleich zu den Durchschnittswerten bei Winden aus dem Nordwestsektor (b);
Verhältnis beider Werte (c)

		(a)	(b)	(c)
Na ₂ O	Norderney	> 2000 mg/l	101,0 mg/l	> 20fach
	Großheide	399,0	24,4	16
	Friedeburg	230,1	11,8	20
	Friesoythe	107,3	11,8	9
	Infeld	773,5	23,5	33
MgO	Norderney	> 625	8,68	> 72
	Großheide	45,5	1,21	38
	Friedeburg	19,5	0,81	24
	Friesoythe	11,2	0,68	16
	Infeld	15,9	1,08	15
CaO	Norderney	190,0	12,8	15
	Großheide	24,0	5,1	5
	Friedeburg	21,0	3,0	7
	Friesoythe	10,0	2,6	4
	Infeld	28,0	3,8	7

Linie auf die Bodenoberfläche gelangt, weniger in die tieferen Schichten, und außerdem auf die Pflanzenbestände selbst. Hier waren zudem nicht nur die aus der Benetzung mit dem Niederschlag zurückbleibenden Salze entscheidend, sondern die unmittelbar aus der Luft stammenden Mengen müssen mindestens gleichbedeutend gewesen sein. Bei dem überaus hohen Salzgehalt der Luft, der zwar hier nicht gemessen wurde, für den die im Niederschlagswasser gefundenen Mengen aber als Maßstab dienen können, haben sich besonders an der dem starken Wind zugekehrten Seite der Pflanzen auf den Blättern und Nadeln hochkonzentrierte Salzlösungen gebildet, deren Auswirkungen bei Nadelbäumen und Obstkulturen WEISSENBORN (1962) ausführlich beschreibt. Die Tatsache, daß dabei die Niederschlagsmengen nur gering waren, hat deshalb eine besondere Bedeutung, da andernfalls die Salze viel schneller wieder abgewaschen worden wären. Die nächsten vier Tage nach der Sturmflut blieben völlig niederschlagsfrei und in den darauffolgenden vierzehn Tagen gab es nur geringen Schneefall. In dieser ganzen Zeit kann also kein Abwaschen der Salze erfolgt sein. Die hierbei entstandenen Schäden waren besonders an immergrünen Pflanzen charakteristisch.

So nimmt die Sturmflutwetterlage im Februar 1962 auch bezüglich des Salzgehaltes der Luft und des Niederschlagswassers eine Ausnahmestellung ein, die sich durch ganz besonders hohe Konzentrationen und die dadurch bedingte Einwirkung auf Boden und Pflanze auszeichnet. Suchte man dagegen in den Meßergebnissen nach weiteren Zusammenhängen zwischen der Menge der chemischen Beimengungen im Niederschlagswasser und anderen als den genannten Witterungserscheinungen, beispielsweise Gewitter, Nebel oder Schneefall, so ließe sich keine eindeutige Beziehung mehr finden. Wohl gab es besonders bei den Elementen Calcium und Schwefel noch einige Tage mit herausfallend hohen Werten; diese konnten aber nicht mit einem Witterungsereignis in Zusammenhang gebracht werden, sondern sind vermutlich durch die verschieden hohe Abgabe industrieller Abgase bedingt. Bei den dem Meerwasser entstammenden Salzen hängt deren Menge vorherrschend von der Gewalt des Windes ab, der das Wasser von der Meeresoberfläche in die Luft spritzt, sowie von Richtung und Stärke der Luftströmungen, die sie ins Binnenland hineinragen. Demgegenüber treten andere Witterungsfaktoren in ihrer Bedeutung ganz zurück.

5. Zusammenfassung

An sechs im oldenburgisch-ostfriesischen Nordseeküstengebiet mit unterschiedlicher Entfernung zur Küste angelegten Meßstellen wurde die Qualität der in diesem Raum fallenden Niederschläge untersucht. Die chemischen Untersuchungen erstrecken sich auf Ca, Mg, Na, K, NH₄, NO₃, Cl, SO₄ und elektrische Leitfähigkeit. Im Vergleich zu Angaben aus dem Binnenland werden bis zur fünfzigfachen Menge der genannten Anionen und Kationen im Niederschlagswasser des Küstenraums festgestellt. Im Natriumadsorptionsverhältnis und durch die elektrische Leitfähigkeit ausgewertet, ergibt sich für die hier vorliegenden besonders strukturrempfindlichen Marschböden eine zusätzliche Belastung durch eine Natrium- bzw. allgemeine Salzgefährdung. Eine deutliche Abhängigkeit des Salzgehaltes des Regenwassers zur Küstennähe, Windrichtung, Windstärke und Niederschlagsmenge konnte durch statistische Auswertung ermittelt werden. Die Bedeutung extremer Witterungsverhältnisse wird am Beispiel der Untersuchungsergebnisse zur Zeit der Sturmflut im Februar 1962 unterstrichen.

6. Schriftenverzeichnis

- CAUER, H.: Über das Jod der Luft, Chemismus und bioklimatische Bedeutung. Ztschr. f. d. gesamte physikalische Therapie 43, 1932.
- CZERATZKI, W.: Der Einfluß natriumhaltigen Beregnungswassers auf die Bodenstruktur, dargestellt am Beispiel eines Lehmbodens (Löß). Z. f. Kulturtechnik 2, 217, 1961.
- EGNÉR, H.: Die Bedeutung der Nährstoffzufuhr durch Luft und Niederschläge für die Bodenfruchtbarkeit. Landw. Forschung, Sonderh. 7, 90, 1956.
- ERIKSON, E.: Composition of atmospheric precipitation, I and II. Tellus 4, 215, 280, 1952.
- ERIKSON, E.: Die Zufuhr von Pflanzennährstoffen durch die Luft. Växtnäringsnytt 15, 1, 1959.
- GERICKE, S. und KURMIES, B.: Pflanzennährstoffe in den atmosphärischen Niederschlägen. Die Phosphorsäure 17, 279, 1957.
- HASELHOFF, E.: Versuche über den Stickstoffhaushalt im Ackerboden. Landw. Versuchsstationen 102, 89, 1924.
- KRZYSCH, G.: Der N-P-K-Gehalt der Niederschläge in Dahlem. Z. Pflanzenern. Düng. Bodenk. 82, 138, 1958.
- KULLMANN, A. und KOITZSCH, R.: Über Einfluß der Beschaffenheit des Leitungswassers auf die Stabilitätszahl von Bodenaggregaten. Z. Pflanzenern. Düng. Bodenk. 94, 163, 1961.
- LEMMERMANN, O. und EINICKE, A.: Weitere Beiträge zur Frage der Stickstoffassimilation des weißen Senfs. Landw. Versuchsstationen 73, 425, 1910.
- NEUHAUS, H.: Strukturschwankungen von Marschböden unter Einfluß von Klima und Meliorationsmaßnahmen. Diss. Göttingen 1962.
- NEUWIRTH, R.: Ergebnisse neuerer Luft- und niederschlagschemischer Untersuchungen und ihre Bedeutung für die Forstwirtschaft. Allg. Forst- u. Jagdzeitung, 128, 147, 1957.
- PFÄFF, C.: Über Lysimeterversuche. Der Forschungsdienst, Sonderh. 6, 102, 1937.
- RIEHM, H. und QUELLMALZ, E.: Die Bestimmung der Pflanzennährstoffe im Regenwasser und in der Luft und ihre Bedeutung für die Landwirtschaft. Staatl. Landw. Versuchs- u. Forschungsanst. Augustenberg, Festschr. S. 171 ff., 1959.
- RIEHM, H.: Die Bestimmung der Pflanzennährstoffe im Regenwasser und in der Luft unter besonderer Berücksichtigung der Stickstoffverbindungen. Agrochimica (Pisa) 5, 174, 1961.
- SCHARRER, K. und SCHRÖPP, W.: Über den Stickstoffgehalt der Niederschläge. Der Forschungsdienst 5, 409, 1938.
- SCHARRER, K. und FAST, H.: Untersuchungen über die dem Boden zugeführten Pflanzennährstoffe. Z. Pflanzenern. Düng. Bodenk. 55 (100), 97, 1951.
- STRATMANN, H.: Untersuchungen über den Schwefeldioxydgehalt bodennaher Luftschichten in der Umgebung von Steinkohlen-Kraftwerken. Mitt. Vereinig. Großkesselbesitzer H. 37, 705, 1955.
- US SAL. LAB. STAFF: Diagnosis and Improvement of saline and alkali Soils. USDA Agric. Handbook 60, Wash. 25 DC 1954.
- WEISSENBORN, K.: Ein wenig bekannter Folgeschaden der Februar-Stürme 1962. Mitt. d. Obstbauversuchsringes des Alten Landes 17, 208, 1962.