

Manganhaushalt schleswig-holsteinischer und niederländischer Marschböden

(Aus dem Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde der Universität Kiel
und dem Instituut voor Bodemvruchtbaarheid in Groningen)

Von A. FINCK*) und A. J. DE GROOT**)

Innerhalb der drei Landschaftszonen Schleswig-Holsteins findet man *Manganmangel* bei Kulturpflanzen weitaus am häufigsten auf den Podsolen der *Geest* und gelegentlich auf den Braunerden *Ostholsteins*, aber nur *selten* auf den *Marschböden*. Im Gegensatz zur Seltenheit des Mn-Mangels auf schleswig-holsteinischen Marschen steht jedoch sein *häufiges* Vorkommen auf *niederländischen*, ebenfalls aus Nordseeschlick entstandenen, Böden der Seemarsch. Der Unterschied läßt sich auch ohne einen genauen statistischen Vergleich deutlich erkennen.

Es ist das Ziel dieser — im wesentlichen in den Jahren 1957/58 durchgeführten — Untersuchung, den Ursachen dieser auffälligen Diskrepanz nachzugehen, und zwar durch einen Vergleich der Mn-Ernährung von *Betarüben*, da diese Pflanze in beiden Gebieten häufig angebaut wird und eine relativ sichere Diagnose der Mn-Mangelsymptome zuläßt.

Zunächst ist zu klären, ob der *sichtbare* Mn-Mangel in beiden Gebieten bei gleichen Mn-Gehalten der Pflanzen auftritt oder ob etwa in den Niederlanden — evtl. klimatisch bedingt — ein höherer Symptom-Grenzwert angenommen werden muß, was die Häufung des Mangels selbst bei gleichen Gehalten an verfügbarem Mangan im Boden erklären würde. Falls diese Möglichkeit ausscheidet, dürfte die Ursache wahrscheinlich in unterschiedlichen Gehalten der Böden an *verfügbarem* Mangan zu suchen sein. In diesem Falle sind die verursachenden Faktoren aufzuzeigen.

Als verfügbares Mangan soll derjenige Anteil des Boden-Mangans verstanden werden, der von der Pflanzenwurzel aufgenommen werden kann. Als Maßstab dafür wählten wir den Mn-Gehalt der *Rübenblätter* aus einem bestimmten Stadium am Anfang der Vegetationszeit.

Material und Methoden

Boden- und Pflanzenproben wurden aus folgenden Marschgebieten Schleswig-Holsteins und der Niederlande (Provinz Groningen) im Juni/Juli 1957 entnommen (Abb. 1):

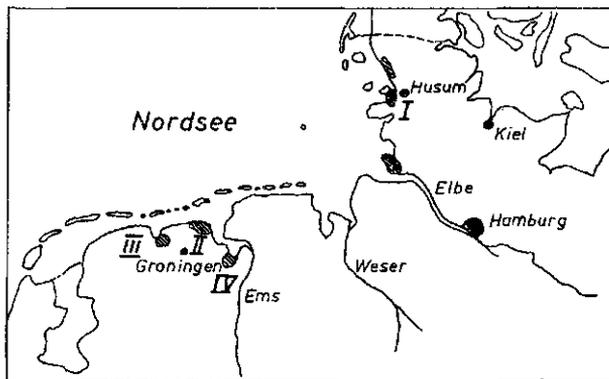


Abb. 1
Karte des Untersuchungsgebietes

*) Prof. Dr. A. FINCK, Kiel, Neue Universität.
**) Dr. A. J. DE GROOT, Groningen, van Hallstraat 3.

- I Schleswig-Holstein: 45 Proben aus 12 Kögen vom Sönke-Nissen-Koog im Norden zum Neufelder Koog im Süden. Die Köge sind vom 17. bis zum 20. Jahrhundert eingedeicht. Mn-Mangel tritt selten auf.
- II Rodeschool-Gebiet (Groningen): 34 Proben aus 6 Poldern einer Eindeichungsfolge von Strook bij't Zandt (1300) bis zum Emmapolder (1942). Mn-Mangel häufig. Hauptvergleichsgebiet zu Schleswig-Holstein.
- III Zoutkamp-Gebiet (Friesland): 16 Proben aus 6 Poldern einer Eindeichungsfolge von Uiterdijk-West (1600) bis zum Ruigezandsterpolder (1795). Mn-Mangel mäßig bis häufig.
- IV Dollart: 21 Proben aus 7 Poldern einer Eindeichungsfolge vom Scheemderzwaag (1597) zum Carel-Coenraadpolder (1924). Mn-Mangel praktisch unbekannt. Dies Gebiet wurde als teilweise Emsablagerung zum Vergleich mit den Seemarschen herangezogen.

Die Bodenproben wurden von Betarüben-Feldern der Praxis aus einer Tiefe von 0 bis 20 cm mit einem Bohrer entnommen, für ein Feld (etwa 40 Einstiche) jeweils zu einer Probe vereinigt, an der Luft getrocknet und auf 2 mm abgeseibt. Die Felder hatten keine Mn-Düngung erhalten.

Als Pflanzenproben wurden zusammen mit den Bodenproben die älteren und mittleren Blattspreiten junger, etwa 20–30 cm hoher Betarüben entnommen, noch am selben Tage mit Leitungs- und destilliertem Wasser gewaschen und anschließend bei 85° C über Nacht sowie zuletzt bei 105° C getrocknet.

Folgende Bodendaten wurden mit den entsprechenden Methoden ermittelt:

- Mn_{total}: Gesamt-Mn nach Kurlies (1). Glühaufschluß bei 550° C mit NH₄NO₃, wobei Mn weitgehend erfaßt wird.
- Mn_{akt}: Aktives Mn; Extraktion mit n Ammonacetat plus 0,2% Hydrochinon im Verhältnis 1:20 während 1 Stunde (2).
- Mn_A: „Austausch-Mn“: Extraktion mit n Ammonacetat plus 0,01 n CuSO₄ im Verhältnis 1:20 während 1 Stunde.
- pH: Suspension in KCl.
- Ca_A: Austausch-Ca; Perkolation mit 0,05 n NaCl.
- Ton: Tongehalt mit Pipettmethode.
- Humus: Organische Substanz nach der Dichromatmethode.

Die Bestimmung des Mn-Gehaltes der Rübenblätter erfolgte folgendermaßen: Veraschung bei 500° C, Säureextraktion der Asche, Veraschung von Rückstand und Filter bei 750° C, Entfernung der Kieselsäure durch HF-Behandlung, Vereinigung beider Extrakte und photometrische Mn-Bestimmung nach Entwicklung der Permanganatfarbe.

Ergebnisse und Diskussion

1. Mn-Gehalte der Pflanzen und Symptom-Grenzwerte

Zur Klärung der Frage, ob Mn-Mangelsymptome bei Betarüben in Schleswig-Holstein und den Niederlanden bei gleichem Grenzwert auftreten, sind in Abbildung 2 die Mn-Gehalte der Blätter aus den vier Untersuchungsgebieten aufgetragen.

Wenn auch die Mangelsymptome bei Betarüben nicht so eindeutig sind wie die fast fehlerfrei zu diagnostizierenden Dörrflecken beim Hafer, so zeigt sich doch eine gute Übereinstimmung zwischen den vier Gebieten. Sichtbare Symptome treten im Bestand von etwa 25 cm hohen Betarüben nur dann auf, wenn der Grenzwert von 30 ppm Mn in der Trockensubstanz der Blätter unterschritten wird.

Die einzige Ausnahme bei den gesunden Proben Schleswig-Holsteins kann man als vermutlich latenten Mangel deuten, die wenigen Ausnahmen bei den Mangelproben von Rodeschool dagegen als wahrscheinlich methodisch bedingt. Bei leich-

ten (in Abb. 2 umrandeten) Mangelfällen, die im Bestand nur gelegentlich ein krankes Blatt zeigten, wurde eine Durchschnittsprobe entnommen, die vermutlich überwiegend den Gehalt der gesunden Pflanzen widerspiegelt.

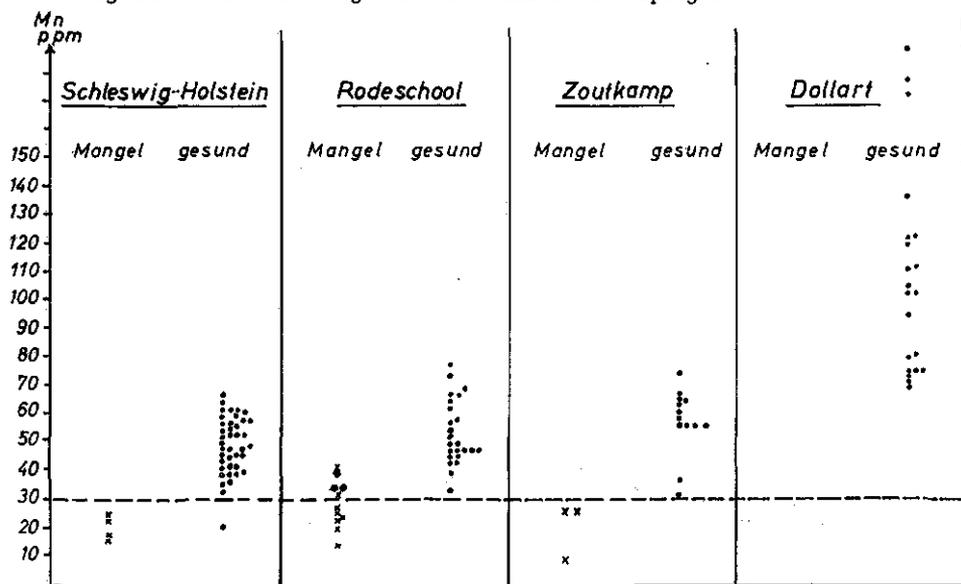


Abb. 2
Mn-Gehalte von Betarübenblättern auf Marschböden

Der *Symptom-Grenzwert* von etwa 30 ppm Mn dürfte somit in allen untersuchten Gebieten für Betarüben gelten. Er wird ferner durch andere Untersuchungen aus dem Wieringermeer-Polder bestätigt. Dort enthielten Mangelblätter von Betarüben 18—22 ppm, gesunde dagegen 35—56 ppm Mn in der Trockensubstanz (3 u. noch unveröffentlichte Daten).

Über den Grenzwert hinaus besteht eine recht gute Übereinstimmung der Gehalte der versorgten Pflanzen in allen Gebieten mit Ausnahme der Dollartpolder, wo die Pflanzen wesentlich höhere Werte aufweisen. Es sei betont, daß Abbildung 2 die Mangelhäufigkeit in den einzelnen Gebieten nicht naturgetreu widerspiegelt, da die Probenahme nicht zufallsgemäß erfolgte. Der Mn-Mangel ist im niederländischen Seemarschgebiet wesentlich häufiger als das Diagramm vermuten läßt. Für Schleswig-Holstein liegen statistische Unterlagen über die Verbreitung des Mn-Mangels von KÖHNLEIN u. BOHNE (4) vor.

In Anbetracht der gleichförmigen *Symptom-Grenzwerte* scheint demnach die Ursache des häufigeren Auftretens von Mn-Mangel bei niederländischen Marschböden auf Unterschieden der Mn-Versorgung des Bodens zu beruhen.

2. Verfügbares Mangan der Böden

Als möglicherweise brauchbarer Maßstab für das verfügbare Mangan wurden drei Mn-Fractionen geprüft: Mn_A = Austausch-Mn, Mn_{akt} = aktives Mn, Mn_{total} = Gesamt Mn, sowie der Quotient Mn_{akt}/Mn_{total} . Legt man als Eichmaß das Auftreten von Mangelsymptomen zugrunde bzw. den Grenzwert von 30 ppm Mn im Rübenblatt, so ergeben sich für die Gebiete Schleswig-Holstein und Rodeschool —

als typisches Gebiet niederländischer Seemarschen mit häufigem Mn-Mangel — die in Tabelle 1 dargestellten Werte.

Tab. 1
Mn-Gehalte von Marsch-Ackerkrumen (ppm Mn)
45 Felder aus Schleswig-Holstein, 34 Felder aus Rodeschool-Gebiet (Niederlande)

Mn-Versorgung	Mn _A		Mn _{akt.}		Mn _{total}		Mn _{akt./Mn_{total}}	
	Schl.-H.	Rod.	Schl.-H.	Rod.	Schl.-H.	Rod.	Schl.-H.	Rod.
Mangel								
Mittelwert	18	24	68	110	203	286	0,33	0,38
Bereich	9—24	16—35	40—90	70—150	140—240	170—400	0,24—0,41	0,33—0,46
versorgt								
Mittelwert	35	23	223	146	457	341	0,49	0,43
Bereich	22—39	13—33	90—480*)	90—210	260—970	190—490	0,36—0,54	0,32—0,54

*) 95 % der Proben: 140—480

Bei den schleswig-holsteinischen Standorten zeigen sowohl das aktive als auch das Gesamt-Mn eine gute Abgrenzung der Mangelböden, und dementsprechend erweist sich auch der Quotient aus diesen beiden Werten als brauchbar. In den niederländischen Poldern lassen sich dagegen die Mangelstandorte mit keiner der angeführten Methoden scharf abtrennen.

Auffallend und für den Vergleich zwischen den Böden beider Gebiete offenbar entscheidend wichtig ist der wesentlich höhere Gehalt an aktivem Mn in schleswig-holsteinischen Böden mit einem Mittelwert von 223 ppm Mn in versorgten Böden (und damit mengenmäßig gesehen in fast allen Böden) verglichen mit nur 146 ppm in den versorgten bzw. 110 ppm Mn in den Mangelböden des Rodeschool-Gebietes.

Die Brauchbarkeit der hier willkürlich als Austausch-Mn definierten Fraktion Mn_A ist bei den schleswig-holsteinischen Proben relativ gut, bei den niederländischen sehr schlecht.

Zur Prüfung, inwieweit Kombinationen verschiedener Mn-Fraktionen evtl. zusätzlich mit anderen Faktoren zur besseren Kennzeichnung des verfügbaren Mangans herangezogen werden können, wurden die in Tabelle 2 zusammengefaßten Korrelationsrechnungen durchgeführt. Als Eichmaß diente der Mn-Gehalt der Pflanzen.

Die Abhängigkeit des Pflanzen-Mn von den Bodenfaktoren erreicht für die Einzelgebiete nur teilweise Signifikanz. Die wichtigste Schlussfolgerung aus Tabelle 2 ist jedoch die meist erhebliche Verbesserung der Korrelationen durch die Vergrößerung des Untersuchungsgebietes, wie es deutlich bei der Beziehung Pflanzen-Mn zum aktiven Mn zum Ausdruck kommt. Durch Hinzuziehen der niederländischen Proben ist eine wesentliche bessere Interpretationsmöglichkeit der Mn-Verfügbarkeit schleswig-holsteinischer Böden möglich, wie Abbildung 3 zeigt.

Die Beziehung zwischen Pflanzen-Mn und aktivem Mn ist etwa linear, wie die Überlegenheit der B-Werte über diejenigen mit logarithmischer Transformation der Pflanzen-Mn-Werte zeigt (Tab. 2).

In die Rechnungen sind außer den angegebenen Faktoren noch die Bodenreaktion und das Austausch-Calcium einbezogen worden. Die pH-Zahlen lagen jedoch fast alle im Bereich von 7—8 und waren daher, wie zu erwarten, wegen der geringen Differenzen ohne Einfluß. Auch mit dem Austausch-Ca ergab sich keine brauchbare Beziehung.

Tab. 2
Korrelationen zwischen Pflanzen-Mangan und Bodendaten
 (B-Werte = r^2 in %, bzw. R-Werte der multiplen Korrelation)
 (Minuszeichen → negative Korrelation)

Faktoren	Schl.-Holst. n = 45	Rodeschool n = 34	Zoutkamp n = 16	Dollart n = 21	Gesamt n = 116
1. $Mn_{Pfl.}/Mn_{akt.}$	17,6 n. s.	51,3 **	5,0 n. s.	38,9 *	62,3 **
2. $Mn_{Pfl.}/Mn_A$	23,3 **	9,6 n. s.	28,8 n. s.	41,8 **	31,3 **
3. $Mn_{Pfl.}/Ton$	5,4 n. s.	15,8 n. s.	-4,7 n. s.	34,6 n. s.	51,7 **
4. $Mn_{Pfl.}/Mn_{akt.}/Mn_A$	24,0 **	54,1 **	33,1 n. s.	45,9 **	62,4 **
5. $Mn_{Pfl.}/Mn_{akt.}/Humus$	30,4 **	62,2 **	62,0 **	39,0 *	64,3 **
6. $Mn_{Pfl.}/Mn_{akt.}/Ton$	17,8 n. s.	.	.	.	63,6 **
7. $lg Mn_{Pfl.}/Mn_{akt.}$	22,7 *	42,3 **	0,9 n. s.	45,4 **	49,8 **

Signifikanz: n. s. = nicht signifikant

* = signifikant ($P = 0,27-0,1\%$)

** = hoch signifikant ($P < 0,1\%$)

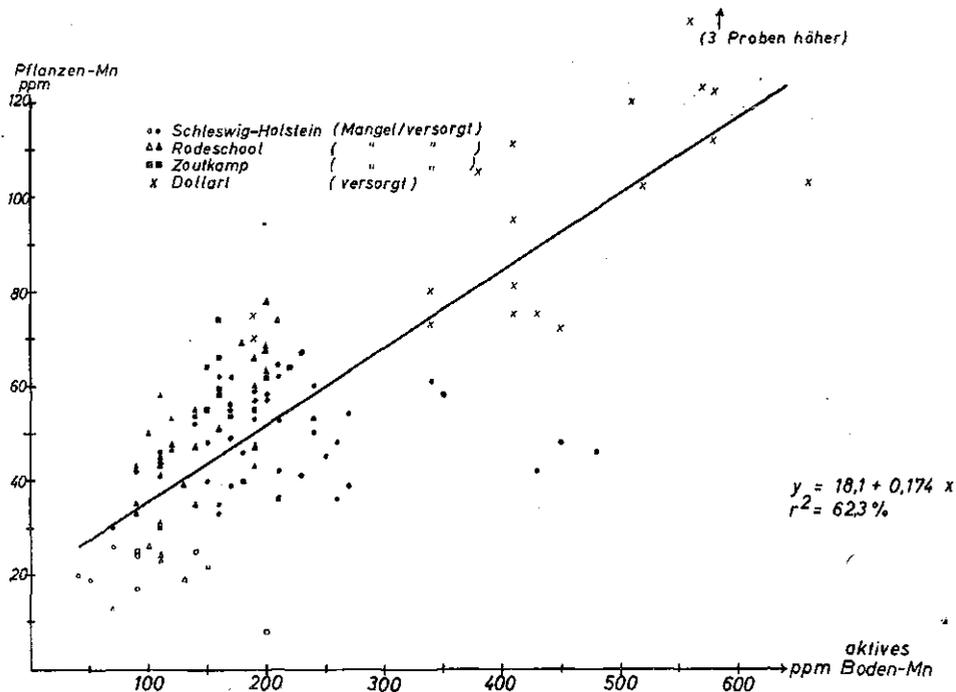


Abb. 3
Pflanzen-Mn in Abhängigkeit vom aktiven Boden-Mn

Aus Tabelle 1 und Abbildung 3 geht hervor, daß in den untersuchten Gebieten die Betarüben bei $Mn_{akt.}$ -Gehalten des Bodens ab 140 ppm gut mit Mn versorgt sind. Nach der Regressionslinie entspricht dies etwa einem Gehalt im Blatt von 40 ppm, also 10 ppm mehr als der Symptom-Grenzwert beträgt. Ausnahmen von dieser Regel bilden lediglich einige Standorte des Gebietes Rodeschool, die daher genauer analysiert werden müssen (Abb. 4).

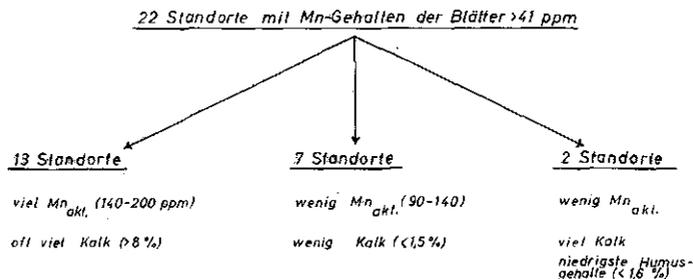


Abb. 4
Mögliche Ursachen guter Mn-Versorgung im Gebiet Rodeschool

Von den 22 Proben mit Mn-Gehalten über 40 ppm enthalten 13 genügend aktives Mn für eine gute Versorgung (entsprechen also obiger Regel), während 9 Ausnahmen zu verzeichnen sind, die selbst bei niedrigen Gehalten an aktivem Mn noch eine ausreichende Versorgung sicherstellen. Vergleicht man jedoch die Kalkgehalte, so zeigen die 9 Ausnahmen überwiegend niedrige Kalkgehalte von unter 1,5 %, während die 13 übrigen Proben meist Kalkgehalte von über 8 % aufweisen. Niedriger Kalkgehalt bedeutet offenbar eine bessere Ausnutzung des relativ geringen Gehaltes an aktivem Mn, so daß es nicht zu einem Mangel kommt. Der Anteil des Mangans in carbonatischer Bindung ist nicht ermittelt worden, da in früheren Untersuchungen (5) keine Beziehung zum Auftreten des Mangels gefunden wurde.

Die zwei verbleibenden Ausnahmen zeichnen sich durch die niedrigsten Humusgehalte (< 1,6 %) der ganzen Serie aus. Die dadurch angedeutete negative Korrelation der Mn-Verfügbarkeit mit dem Humusgehalt, die übrigens auch in negativen Korrelationskoeffizienten der Beziehung Pflanzen-Mn und Humusgehalt des Bodens zum Ausdruck kommt, könnte ferner eine Erklärung für die einzige Mangelprobe des Rodeschool-Gebietes mit einem Gehalt von 150 ppm aktivem Mn geben. Diese Probe hat nämlich den höchsten Humusgehalt der Serie (6 %), was mit früheren Untersuchungen DE GROOTS (6) über das verstärkte Auftreten des Mn-Mangels bei hohen Humusgehalten in Marschböden übereinstimmt.

3. Ursachen der unterschiedlichen Gehalte an verfügbarem Mangan

Mit Hilfe der Korrelationsstatistik wurde versucht, einen Anhalt für die Ursachen der höheren Gehalte schleswig-holsteinischer Seemarschen an aktivem Mangan zu gewinnen (Tab. 3).

Tab. 3
Korrelationen des aktiven Mn mit anderen Bodenfaktoren
(B-Werte = r^2 in %)

Faktoren	Schl.-Holst.	Rodeschool	Zoutkamp	Dollart	Gesamt
1. $Mn_{akt.}/Mn_{total}$	96,6 **	83,8 **	86,3 **	84,2 **	94,3 **
2. $Mn_{akt.}/Ton$	40,8 **	50,8 **	62,2 **	66,3 **	68,8 **
3. $Mn_{akt.}/Humus$	3,8 n. s.	0,3 n. s.	14,7 n. s.	-35,6 n. s.	10,8 **
4. $Mn_A/Mn_{akt.}$	55,7 **	37,5 **	0,1 n. s.	33,0 n. s.	45,1 **

Die starke Abhängigkeit des aktiven Mn vom Gesamt-Mn tritt bei allen Einzelgebieten deutlich hervor und ist in Abbildung 5 graphisch dargestellt. Auffällig ist auch die enge Beziehung zum Tongehalt, während ein Einfluß der Humusgehalte (vermutlich wegen ihrer im ganzen recht geringen Variation) nicht in Erscheinung tritt.

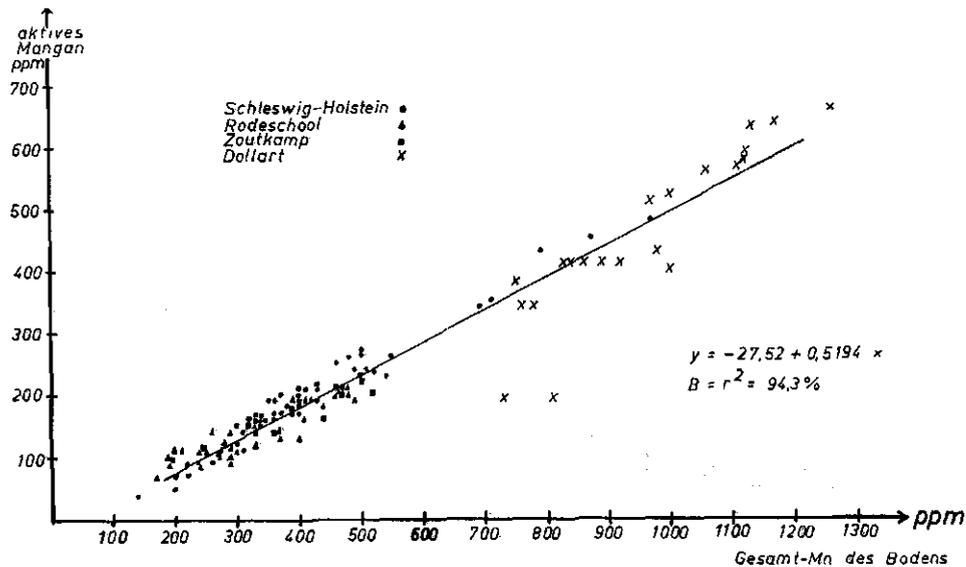
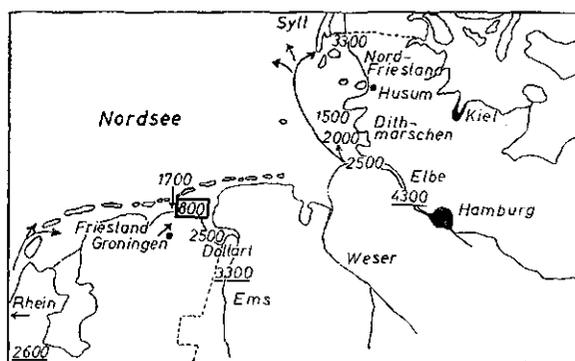


Abb. 5
 Beziehung zwischen aktivem Mangan und Gesamt-Mn

Für das häufigere Auftreten des Mn-Mangels in niederländischen Seemarschen ist somit wesentlich der geringere Mn-Gehalt des Ausgangsmaterials verantwortlich. Daß der scheinbar gleichförmige Nordseeschlick keine einheitlichen Mn-Gehalte aufweist, beruht auf der unterschiedlichen Herkunft des Schlicks aus den verschiedenen Flüssen (Rhein, Ems, Elbe etc.) und seiner differenzierten Verteilung durch die Meeresströmungen an der Küste. Das Flußsediment des *Rheins*, welches den niedrigsten Mn-Gehalt hat, wandert vor allem in östliche Richtung. Der Schlick wird entlang der friesländischen Küste vorübergehend abgelagert, wobei er infolge von Reduktionsvorgängen mehr oder weniger starke Mn-Verluste erleidet. Die schließlich an die Groninger Küste gelangenden und später eingedeichten Sedimente sind somit stark an Mangan verarmt und bilden daher auch nur Mn-arme Kulturböden. Der Schlick der *Ems* ist nicht nur wesentlich Mn-reicher, sondern auch offenbar nicht vor der endgültigen Ablagerung verarmt. Er bildet somit ein Mn-reiches Ausgangsmaterial der Dollartköge, die teilweise als Emsablagerungen bezeichnet werden können. Der Schlick der *Elbe*, der sich später mit erodiertem Material aus dem Wattenboden vor Dithmarschen und Nordfriesland vermischt, enthält den höchsten Mn-Gehalt im untersuchten Gebiet. Einen schematischen Überblick über die Mn-Gehalte im Küstengebiet gibt Abbildung 6, die nach Unterlagen von DE GROOT (7, 8) zusammengestellt ist.

Gegenüber dem Elbschlick ist das Material des Wattenbodens wesentlich ärmer an Mangan. Der endgültige Mn-Gehalt der Küstensedimente hängt nun vom jeweiligen Mischungsverhältnis von Elbschlick und Wattenmaterial ab. Der Anteil des in nördliche Richtung transportierten Elbschlicks nimmt zunächst ab, dann aber ent-

Abb. 6
Mn-Gehalte von Fluß-
und Meeressedimenten
an der Nordseeküste



Legende:

Werte ohne Kennzeichnung → frische Meeressedimente
 unterstrichene Werte → frische Flußsedimente
 eingerahmte Werte → bewachsene Vorland-sedimente

Alle Werte sind extrapolierte Rechenwerte, wobei der Mn-Gehalt der Fraktion $< 16 \mu$ auf 100% dieser Fraktion umgerechnet wurde.

sprechend den Strömungsverhältnissen in Nordfriesland wieder zu. So kommt es vor allem auch im nördlichen Teil der Küste zu Mn-reichen Sedimenten und entsprechenden jungen Koogböden mit hohen Mn-Gehalten. Diese Auffassung über die Bewegung der Sedimente an der schleswig-holsteinischen Küste wird von hydrographischen Untersuchungen unterstützt, aus denen hervorgeht, daß das Wasser der Elbe sich zunächst in nordwestliche Richtung bewegt, dann jedoch teilweise nach Nordosten in Richtung der Südspitze von Sylt abzweigt (s. Pfeil in Abb. 6). Aus dem genannten Strömungsverlauf könnte somit die erneute Zunahme der Mn-Gehalte im nördlichen Teil der nordfriesischen Küste erklärt werden.

Zusammenfassung

Um die Ursachen des häufigeren Auftretens von Mn-Mangel auf niederländischen Seemarschen verglichen mit schleswig-holsteinischen zu klären, wurde der Mn-Gehalt von Böden und Pflanzen von 116 Betarüben-Standorten untersucht.

Für beide Gebiete ergibt sich ein einheitlicher Symptom-Grenzwert von 30 ppm Mn in der Blatt-Trockensubstanz etwa 25 cm hoher Betarüben.

Mn-Mangel kommt auf schleswig-holsteinischen Böden offenbar deshalb seltener vor, weil sie deutlich reicher an aktivem und Gesamt-Mn sind als die entsprechenden niederländischen, was vor allem durch höheren Mn-Gehalt des Ausgangsmaterials bedingt ist.

Das häufigere Auftreten des Mn-Mangels auf niederländischen Seemarsch-Böden dürfte zusätzlich durch die oft hohen Kalkgehalte der Böden bedingt sein, während andererseits selbst bei relativ niedrigen Gehalten an aktivem Mangan oft kein Mangel auftritt, wenn die Böden kaum Kalk enthalten.

Für das Gesamtgebiet eignet sich zur Kennzeichnung des verfügbaren Mangans die Fraktion des aktiven Mangans recht gut, da sie mit den Mn-Gehalten der Pflanzen signifikant korreliert ($r^2 = 62 \%$).

Schrifttum

1. KURMIES, B.: Kolorimetrische Manganbestimmung in Pflanzensubstanzen. Phosphorsäure 13, 315—320, 1953.
2. LEEPER, G. W.: The forms and reactions of manganese in the soil. Soil Sci., Baltimore 63, 79—94, 1947.

3. DE GROOT, A. J.: Grondonderzoek over de beschikbaarheid van Mangaan. In: Het chemisch bodemvruchtbaarheidsonderzoek. Staatsdrukkerij, 's-Gravenhage 1956.
4. KÖHNLEIN, J., u. BOHNE, J.: Die Verbreitung der an landwirtschaftlichen Kulturpflanzen sichtbar werdenden Spurenelementmängel (Mn, Cu, B) in Schleswig-Holstein. Kieler milchwirtsch. Forschungsber. **56**, 643—678, 1955.
5. FINCK, A.: Die Bindungsformen des Mangans im Boden. Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkde. **73** (118), 59—73, 1956.
6. DE GROOT, A. J.: Influence of age and organic matter on the availability of manganese in marine and estuary soils. 6. Int. Congr. Soil Sci. **2**, 531—539, 1956.
7. DE GROOT, A. J.: Mangaantoeestand van nederlandse en duitse holocene sedimenten in verband met slibtransport en bodemgenese. Versl. Landbouwk. Onderz. Nr. 69,7, Wageningen 1963.
8. DE GROOT, A. J.: Origin and transport of mud (fraction < 16 microns) in coastal waters from the Western Scheldt to the Danish frontier. Devel. in Sedimentology **1**, 93—103, 1964.
9. KALLE, K.: Chemisch-hydrographische Untersuchungen in der inneren Deutschen Bucht. Deutsch. Hydrograph. Zeitschr. **9**, 55—65, 1956.