

Om danske jorders zinkstatus

Ved H. L. JENSEN og C. G. LAMM

657. beretning fra Statens Forsøgsvirksomhed i Plantekultur

Nærværende beretning er et led i de sammenlignende undersøgelser, der ved Statens Planteavls-Laboratorium er udført over kemisk og mikrobiologisk bestemmelse af jordens indhold af plantenæringsstoffer, specielt mikronæringsstoffer. Resultaterne er fremgået af samarbejde mellem den bakteriologiske og den jordbundskemiske afdeling, senere afdelingen for isotopforsøg og analyseteknik. Beretningen er udarbejdet af afdelingsbestyrer (nu forstander), dr. agro. *H. L. Jensen* og afdelingsbestyrer (nu lektor ved Danmarks tekniske Højskole), mag. scient. *C. G. Lamm*.

Forstanderne ved Statens Forsøgsvirksomhed i Plantekultur

Indledning

Et af de uundværlige mikronæringsstoffer for både dyr og planter er zink, der aktiverer en række enzymer af betydning for kulhydrat- og proteinstofskiftet; hos planterne er det tillige nødvendigt for dannelsen af vækststoffer (auxin). Om zinkets forhold i jordbunden og dets biologiske betydning i almindelighed kan henvises til THORNE (1957), HEWITT (1958), WIKLANDER (1958) og STILES (1961). I jorden må zink antages at forekomme (1) som ioner bundne til jordens baseudvekslingskomplex, (2) som chelatforbindelser af humusstoffer, (3) som tungtopløselige fosfater og carbonater og endelig (4) i forvitrede zinkminerale og i lermineraleers krystalgitter. Fraktion (4) tør betragtes som en reserve uden direkte betydning for planternes zinkforsyning. Hos planter og især hos frugttræer giver zinkmangel sig til kende ved karakteristiske symptomer, navnlig misdannelser af skud og blade, og som almindelig regel gælder det, at zinkets tilgængelighed for planterne aftager med stigende reaktionstal og fosforsyreindhold (se f.eks. ROGERS & WU 1948).

I den udenlandske litteratur findes talrige angivelser om jor-

dens zinktilstand og dens betydning for plantevæksten. Indholdet af »tilgængeligt« zink, der kan ekstraheres med forskellige saltopløsninger ved svagt sur reaktion eller bestemmes mikrobiologisk (se nedenfor), angives mest at variere mellem 1 og 25 mg/kg, altså en lignende størrelsesorden som indholdet af kompleksopløseligt kobber i danske jorder (HENRIKSEN & JENSEN 1958). I Danmark er zinkmangel hos landbrugsafgrøder ikke hidtil konstateret, og der foreligger kun få og spredte oplysninger herom hos frugttræer. Ej heller har man undersøgelser over jordens zinkindhold udover et ældre og rent geologisk arbejde af RØRDAM (1914), der mest omhandler undergrundsjorders og stenarters indhold af zink opløseligt i kongevand. For at få et tilnærmet billede af danske kulturjorders zinktilstand har vi derfor udført bestemmelser af de lettere opløselige zinkfraktioner i jorder af forskellig karakter. En detaljeret redegørelse for metoder og analyseresultater er givet andetsteds (JENSEN & LAMM 1961); nærværende beretning indeholder et resumé heraf, suppleret med zinkbestemmelser i forskellige afgrøder og gødningsmidler, der indgår som faktorer i jordens zinkbalance.

Metoder

Zink bestemmes dels ad kemisk og dels ad mikrobiologisk vej. Til kemisk bestemmelse ekstraheredes lufttør jord i orienterende undersøgelser med 0.5 M ammoniumacetatopløsning af pH 4.8, senere med 0.02 M opløsning af ethylendiamin-tetraeddikesyrens dinatriumsalt, alm. kaldet »EDTA«, »Titriplex« eller »Komplexon III«, der også anvendes til kobberbestemmelse i jord (HENRIKSEN & JENSEN 1958). Det første ekstraktionsmiddel virker i hovedsagen som ionbytende agens, medens det andet er en udpræget chelatdanner, der må ventes at fjerne en stor del af det organisk bundne zink i humusstofferne (LAMM 1959). I nogle jorder bestemtes tillige »total« zinkindhold ved forudgående glødning af jorden, behandling med salpetersyre, fornyet glødning med kaliumpersulfat og ekstraktion med saltsyre. Samme fremgangsmåde anvendtes til zinkbestemmelse i staldgødning og kompost samt plantematerialer og oliekager. I handelsgødning og kalkmidler bestemtes zink opløselig i saltsyre.

Zink i jordextrakterne bestemtes normalt ad polarografisk vej, i nogle tilfælde (total zink) sammenlignet med kolorimetrisk bestemmelse som dithizon-komplex (JACKSON 1958). Den sidste metode anvendtes regelmæssigt ved zinkbestemmelserne i organiske materialer incl. staldgødning. Om polarografiens teori og teknik se f.eks. KOLTHOFF & LINGANE (1952).

De biologiske bestemmelser udførtes efter samme princip som magnesiumbestemmelse i lidt modificeret form (JENSEN & HENRIKSEN 1955) med skimmelsvampen *Aspergillus niger*, hvis produktion af myceltørstof sammenlignedes i en standardskala med stigende mængder zink og i en zinkfri næringsopløsning med 0.5 g lufttør jord som zinkkilde. Forholdet mellem zinkdosis og mycelproduktion såvel som standardkurvens variabilitet fremgår af fig. 1.

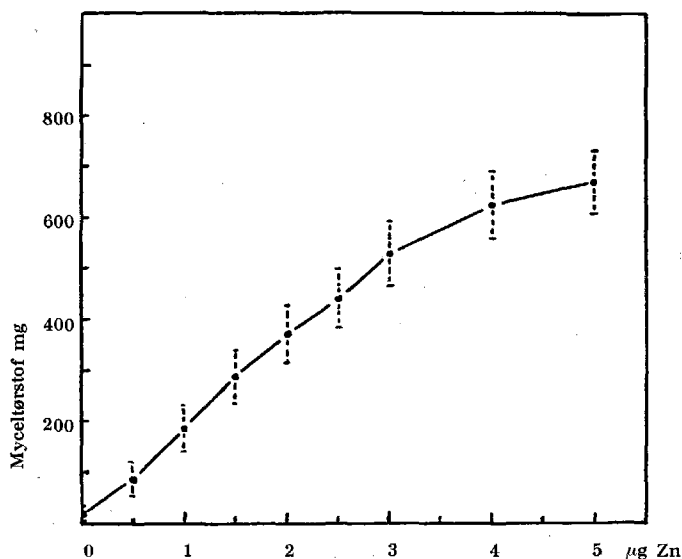


Fig. 1. Standardkurve for vækst af *Aspergillus niger* med stigende zinkmængde (40 ml næringsopløsning, gennemsnit af 74 forsøg). De lodrette punkterede linier angiver standardafvigelserne.

Med zinkdoser over 4-5 $\mu\text{g}/40$ ml bliver vækstkurven ret flad, men af hensyn til prøveudtagningsfejlen kan man ikke godt anvende mindre end 0.5 g jord per kultur, hvorfor det ikke lader

sig gøre kvantitativt at bestemme zinkindhold over 10 μg pr. g jord; dette er en ret væsentlig begrænsning af metoden, hvis resultater forøvrigt heller ikke lader sig reproducere så godt som den kemiske metodes; dog må reproducerbarheden kaldes tålelig, således som det fremgår af nogle i flæng valgte resultater i tabel 1.

Tabel 1. Eksempler på biologiske zinkbestemmelseres reproducerbarhed

Jord nr.	Zn p.p.m.
1	1.4 — 1.7 — 1.7 — 1.3
2	7.1 — 7.8 — 6.6
3	2.7 — 2.5 — 2.3
4	1.6 — 1.8 — 1.8
5	6.2 — 5.3 — 5.3
6	1.4 — 0.8 — 1.5 — 1.6
7	3.0 — 2.9 — 2.3 — 3.5
8	4.9 — 3.3 — 5.3 — 4.4
9	5.0 — 5.0 — 4.2 — 5.7
10	2.5 — 1.9 — 2.6

Her og i det følgende udtrykkes zinkindholdet stedse i p.p.m. («partes pro millione») = $\mu\text{g/g}$ eller mg/kg lufttør jord. Planters og organiske gødningers zinkindhold er beregnet som p.p.m. i tørstof, men i handelsgødninger og kalkmidler som foreliggende stof. Følgende forkortelser er anvendt: »Ac-Zn« = ammoniumacetatopløseligt zink, »EDTA-Zn« = EDTA-opløseligt zink, »Biol. Zn« = zink angivet af *Aspergillus niger*.

Jordens zinkindhold

Sammenligning mellem kemiske og biologiske zinkbestemmelser. Til almindelig orientering og specielt til sammenligning mellem metodik udførtes to serier af bestemmelser. I serie I bestemtes ammoniumacetatopløseligt og »biologisk tilgængeligt« zink i 148 jorder, mest sandjorder fra Jylland, der var udtaget for dette specielle formål. Serie II omfattede 248 jorder, hvoraf de fleste var indsendte til laboratoriets jordbundskemiske afdeling, medens 80 var specielt udtaget af en af os (C.G.L.). Heri bestemmes biologisk tilgængeligt og komplexon-opløseligt samt i 56 prøver tillige ammoniumacetatopløseligt zink.

De 204 bestemmelser af ammoniumacetatopløseligt og tilsvarende biologisk tilgængeligt zink fordeler sig som vist i tabel 2.

Tabel 2. Indhold af ammoniumacetatopløseligt og biologisk tilgængeligt zink i 204 jordprøver

Ac.-Zn p.p.m.	Jordprøver		Biol. Zn p.p.m.	Jordprøver	
	Antal	pct.		Antal	pct.
<0.5.....	33	16.2	<2.0.....	20	9.2
0.5—0.9....	64	31.3	2.0—3.9....	84	41.2
1.0—1.4....	49	24.0	4.0—5.9....	50	24.5
1.5—1.9....	13	6.3	6.0—7.9....	21	10.3
2.0—2.9....	22	10.8	8.0—10.0..	12	5.9
> 3.0.....	23	11.8	> 10.....	17	8.4

	Minimum	Maximum
Ammoniumacetatopløseligt zink p.p.m....	0.1	41
Biologisk tilgængeligt » » ...	0.3	>10

Indholdet af ammoniumacetatopløseligt zink ligger gennemgående lavt; i næsten halvdelen af jorderne er det mindre end 1.0 p.p.m., og de få prøver med mere end 3,0 p.p.m. stammer mest fra gødningsforsøg, hvor der var tilført zink. De biologiske bestemmelser viser meget højere tal, hvilket tyder på, at svampen udnytter langt mere end den ammoniumacetatopløselige (formodningsvis ombyttelige) zinkfraktion. De 17 prøver med mere end 10 p.p.m. biologisk tilgængeligt zink indeholdt også rigeligt ammoniumacetatopløseligt zink (1.7-41 p.p.m.), og i de resterende 187 prøver lader det sig gøre at beregne korrelationen mellem de to metoders resultater. Man finder da:

	Min.	Max.	Gnst.	Standard- afvigelse
Ac.-Zn. p.p.m. (x)	0.1	3.8	1.15	±0.34
Biol. Zn. p.p.m. (y)	0.3	9.5	4.10	±2.14
Korrelationskoefficient $r = 0.71$.				
Regressionskoefficient $R_{y/x} = 1.79$.				
Regressionsligning: $y = 4.10 + 1.79(x - 1.15)$.				

Korrelationen mellem de to metoder er tydelig, og regressionskoefficienten viser, at svampen angiver en betydelig større zinkfraktion end den ammoniumacetatopløselige.

De 240 jorder i Serie II omfattede 146 sandjorder (mest fra Jylland), 60 lerjorder og 34 egentlige humusjorder indeholdende mere end 10 pct. organisk stof bestemt efter BONDORFF (1940).

Tabel 3. Indhold af EDTA-opløseligt og biologisk tilgængeligt zink i 240 jordprøver

EDTA-Zn p.p.m.	Jordprøver		Biol. Zn p.p.m.	Jordprøver	
	Antal	pet.		Antal	pet.
<2.0.....	56	23.3	<2.0.....	10	4.2
2.0—3.9....	74	30.8	2.0—3.9....	84	35.0
4.0—5.9....	51	21.2	4.0—6.0....	72	30.0
6.0—7.9....	26	10.8	6.0—7.9....	37	15.4
8.0—9.9....	12	5.0	8.0—10....	19	7.9
10—20....	14	5.8	> 10.....	18	7.5
> 20.....	7	3.0	—	—	—

Som det fremgår af tabel 3, gav EDTA-extraktion og biologisk bestemmelse resultater af samme størrelsesorden. I de 222 jordprøver, der ikke indeholder over 10 p.p.m. biologisk bestemt zink, kan man ligesom ovenfor beregne korrelationen mellem de to metoders resultater. Vi finder da:

	Min.	Max.	Gnst.	Standard- afvigelse
EDTA-Zn p.p.m. (x)	0.4	13.1	3.9	± 2.07
Biol. Zn. p.p.m. (y)	0.3	10	4.7	± 2.46
Korrelationskoefficient: $r = 0.79$.				
Regressionskoefficient: $R_{y/x} = 0.95$.				
Regressionsligning: $y = 4.7 + 0.95 (x - 3.90)$.				

Korrelationen er særdeles betydelig og regressionskoefficienten ikke langt fra 1, men som vist i fig. 2 angiver den biologiske metode i den nedre ende af skalaen et ikke så lidt større indhold af zink end svarende til den EDTA-opløselige fraktion. Med stigende zinkindhold nærmer de to metoders resultater sig til hinanden, og i intervallet fra ca. 7 til 9 p.p.m. EDTA-Zn stemmer de gennemsnitligt meget nær overens, men i gruppen med 10-13.1 p.p.m. EDTA-Zn, der kun repræsenteredes af 6 prøver, viser den biologiske metode væsentlig lavere værdier. Dette svarer omtrent til et tidligere fundet forhold mellem EDTA-opløseligt og biologisk tilgængeligt kobber (HENRIKSEN & JENSEN 1958).

Foruden de 148 biologiske zinkbestemmelser i Serie I og de 240 i Serie II blev der udført alene biologiske bestemmelser i 188 andre jorder blandt de, der var indsendt til rutineanalyser. Fordelingen af samtlige 576 biologiske zinkbestemmelser ses i Tabel 4, og viser ligesom de to kemiske metoder en udpræget skævhed

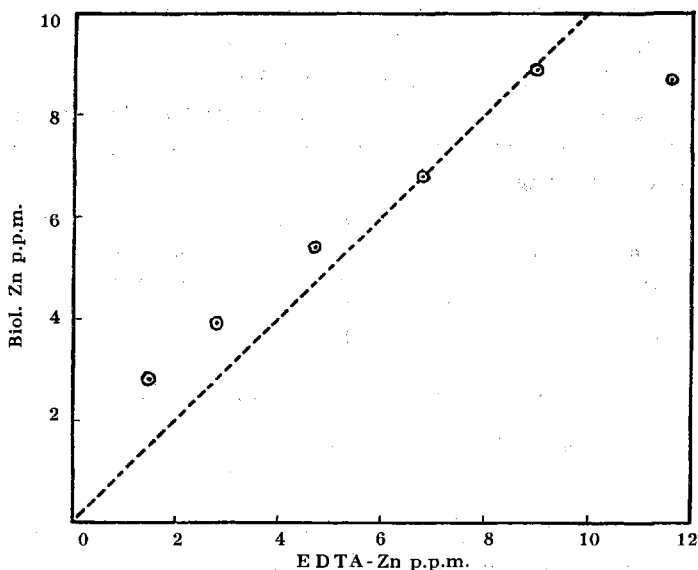


Fig. 2. Forhold mellem zinkmængder opløselige i EDTA og angivet biologisk ved *Aspergillus niger*. Gennemsnitligt zinkindhold i grupper indenfor 2 enheder af EDTA-Zn.

imod den lave side, idet den biologiske metode, der på dette område af skalaen endda viser højere værdier end EDTA-ekstraktionen, angiver zinkindhold på mindre end 4 p.p.m. i næsten halvdelen (45 pct.) af samtlige undersøgte jordprøver.

Tabel 4. Fordeling af biologiske zinkbestemmelser i 576 jordprøver

Biol. Zn p.p.m.	Antal	
	jordprøver	Pct.
<2.0.....	36	6
2.0—3.9.....	224	39
4.0—5.9.....	161	28
6.0—7.9.....	84	15
8.0—10.....	36	6
>10.....	35	6
Ialt.....	576	100

Indhold af EDTA-opløseligt zink i sammenligning med forskellige jordbundsegenskaber. — For de egentlige mineraljorders vedkommende var der ingen kendelig forskel på zinkindholdet i ler-

og sandjorder, men der var for alle jorder tydelig positiv korrelation mellem zink- og humusindhold ($r = 0.81$); det sidste varierede mellem 0,7 og 81 pct. i 196 jorder. Korrelationen blev dog først virkelig signifikant, når man medregnede de egentlige »humusjorder« med mere end 10 pct. organisk stof, som det fremgår af følgende oversigt:

Humus pct.	Antal jordprøver	EDTA-Zn p.p.m.			Standard- afvigelse
		Min.	Max.	Gnst.	
< 5	135	0.4	13.2	3.4	± 2.16
5-10	27	1.7	10.8	4.9	± 2.32
> 10	34	1.1	41	12.8	± 9.74
	196	0.4	41	5.2	± 5.66

Korrelationskoefficient (196 jorder): $r = 0.81$.

» (135+27 »): $r = 0.30$.

Derimod viste zinkindholdet ingen korrelation med jordens reaktionstal, der varierede mellem 4.1 og 8.0; dette var heller ikke tilfældet, når humusjorderne med deres gennemgående høje zinkindhold og lave reaktionstal udskiltes fra de øvrige. Ej heller var der nogen korrelation mellem zinkindhold og fosforsyretiltal (Ft fra 1.1 til 10.9 i 90 jordprøver) eller kobbertal (TCu fra 0,2 til 15.0 i 52 jordprøver). Magnesiumindhold blev bestemt i 80 jordprøver; der var en betydelig korrelation ($r = 0.77$) mellem zink- og magnesiumindhold, men denne beroede på en fælles korrelation med humusindholdet (sml. JENSEN & HENRIKSEN 1955).

Indhold af totalt syreopløseligt zink. Disse bestemmelser kan ventes at omfatte alt undtagen en del silicatbundet zink; 50 jordprøver gav følgende resultat:

Jordtype og antal prøver	Total-Zn p.p.m.			Uopløseligt i EDTA, p.p.m.		
	Min.	Max.	Gnst.	Min.	Max.	Gnst.
Lerjord (18).....	10.5	94	42	9	94	39
Sandjord (16).....	6.8	20	13	4.8	18	9.7
Humusjord (16).....	9.4	58	28	2.9	40	16.8

Her forsvinder korrelationen mellem zink- og humusindhold helt. Som man kunne vente, indeholder lerjorderne langt de største reserver af zink, men kun en lille brøkdel er opløseligt i EDTA. En modsætning danner humusjorderne, hvor gennemsnitligt næsten

halvdelen af det totale zink opløses, og sandjorderne indtager en mellemstilling. Den EDTA-uopløselige rest er ikke meget forskellig i humus- og sandjordsgruppen (differens og middelfejl 6.7 ± 2.47 p.p.m.), hvilket lader formode, at den allerstørste del af det organisk bundne zink er opløseligt i EDTA. Det er ret bemærkelsesværdigt, at blandt humusjorder fandtes den største uopløselige rest (40 p.p.m. = 78 pct. af det totale) i en jord, der indeholdt 23 pct. organisk stof og i modsætning til de øvrige tillige betydelige mængder ler.

Faktorer i dyrkede jorders zinkbalance

Selv om man som før nævnt ikke endnu har set sikre tegn på zinkmangel i danske jorder, må man regne med muligheden for, at denne tilstand for de talrige relativt zinkfattige jorders vedkommende kan blive aktuel gennem gradvis zinkudpining. Zink bortføres næppe fra jorden i betydningsfuld målestok ad andre veje end med afgrøderne, stedvis måske ved jordfygning, men sandsynligvis ikke ved udvaskning. Kompenserende faktorer, der fører zink tilbage til jorden, er i hovedsagen (1) staldgødning, hvis indhold af zink dels stammer fra hjemmeproducerede afgrøder og dels fra importerede foderstoffer, (2) kompost, der kun spiller en rolle i havebruget, (3) handelsgødninger og kalkmidler indeholdende zink som »urenhed«, og (4) zinkholdige bekæmpelsesmidler.

Vor viden om disse faktorerers omfang i dansk jordbrug er endnu højst mangelfuld, og en vurdering af selv de vigtigste landbrugsafgrøders zinkforbrug er temmelig usikker. I udlandets litteratur findes der mange zinkbestemmelser i forskellige plantematerialer, men disse repræsenterer kun for en ringe del normale afgrøder under dyrknings- og klimaforhold svarende til vore; mest oplysende er måske data samlede af BEESON (cit. efter KARLSSON 1952), der angiver 24-70 p.p.m. zink i rødkløverhø og 10-60 p.p.m. i græs. Et bedre holdepunkt afgiver en række analyser fra Norge og Sverige. BERGH (1948, 1953) udførte markforsøg med kornsorter og græsmarksplanter på en svær lerjord i Trøndelagen, hvor planternes zinkforsyning ansås for utilstrækkelig; zinkgødskning gav dog kun små og inkonstante udbytteforøgelser,

hvis signifikans endda synes tvivlsom (ingen fællesparceller).
Tørstof af planter dyrkede uden zinktilførsel indeholdt:

Plantemateriale	Antal analyser	Zn p.p.m.
Kerne (rug, hvede, byg og havre)...	14	41—68
Halm (» » » »)...	14	15—45
Hø (rødkløver og timothé).....	6	23—60

BERGH anså disse zinkmængder for at ligge i underkanten af optimum, som han anslog til 50-100 p.p.m. i kernetørstof. KARLSSON (1952) analyserede henvend 400 prøver af græsmarksplanter fra Sverige, med en total variation fra 14 til 47 p.p.m. zink i tørstof. Gennemsnitligt fandtes der 19.5 p.p.m. i timothé-hø og 26.1 p.p.m. i ren rødkløver. Zinkindholdet viste ingen tydelig geografisk variation, forøgedes først kendeligt ved gødskning med mindst 50 kg zinksulfat pr. ha og tiltog noget, men ikke meget, med planternes alder. Tidligere udførte markforsøg gav ingen signifikante udslag for zinkgødskning, hvilket iflg. personlig meddelelse fra dr. Karlsson (1961) heller ikke har været tilfældet i senere forsøg. SVANBERG (1962) har for ganske nylig refereret lignende tal også omfattende andre svenske afgrøder (extremer ca. 5 og ca. 90 p.p.m. zink). I Tyskland fandt SCHARRER & MUNK (1956) lignende zinkindhold (13-38 p.p.m.) i prøver af hø, halm og bygkerne.

Zinkindhold i forskellige afgrøder. Til en første orientering herom udførtes en del zinkbestemmelser i kornafgrøder, græsmarksplanter og rodfrugter, mest fra forsøgsstationerne i Lyngby, Tystofte, Aarslev, Askov, Lundgaard, Jyndeved, Rønhave, Ødum, Studsgaard, Borris og Tylstrup.

Resultaterne ses i tabel 5 og viser intet påfaldende i sammenligning med de udenlandske analyser, dog ligger zinkindholdet i kornafgrøderne gennemgående noget lavere end fundet af BERGH (1948, 1953) og i græsplanter noget højere end fundet af KARLSSON (1952). Den zinkfattigste kerne (13 p.p.m.) og den zinkfattigste halm (6 p.p.m.) stammede fra henholdsvis Ødum og Tystofte forsøgsstationer – altså lokaliteter, hvor der ikke er grund til at vente zinkmangel. Om nogen forskel i de fire kornsorters zinkindhold er der ikke tale.

Disse tal såvel som de svenske tyder ikke på, at der som for-

Tabel 5. Indhold af zink i forskellige afgrøder

Plantemateriale	Antal prøver	Zn i tørstof, p.p.m.			
		Min.	Max.	Gns.	Standardafv.
Byg, kerne	7	13	48	34	—
Hvede, »	6	26	54	35	—
Rug, »	3	29	48	36	—
Havre, »	3	26	48	35	—
Kerneafgrøder ialt.....	19	13	54	35	±12.4
Byg, halm	7	12	30	22	—
Hvede, »	6	6	37	23	—
Rug, »	3	12	32	23	—
Havre, »	3	9	40	23	—
Halmafrøder ialt.....	19	6	40	23	± 9.8
Kløver-græs.....	8	24	87	47	—
Lucerne.....	5	38	61	48	—
Lupin (grøn).....	1	—	—	67	—
Grøntafgrøder ialt.....	14	24	87	49	±15.7
Sukker- og fodersukkerroer .	4	17	68	33	—
do., top.....	5	26	66	48	—
Kålroer.....	3	20	83	41	—
Kartoffer.....	3	16	28	22	—

modet af BERGH (1948) kræves et indhold på 50–100 p.p.m. zink i kernetørstof som optimalt niveau. I så fald skulle zinkmangel i danske og formentlig også i svenske jorder være regelen og ikke en sjælden undtagelse. Bemærkelsesværdige i denne forbindelse er også angivelser af ROGERS & WU (1948), hvis karforsøg med havre viste, at zinkindholdet i det samlede plantemateriale kunne ligge så lavt som 6–8 p.p.m. ved Rt ca. 6, uden at zinktilførsel bevirkede nogen forøgelse af tørstofudbyttet.

Zinkindhold i organiske gødninger. – Den største kompenserende faktor overfor afgrødernes zinkforbrug er uden tvivl staldgødningen, idet praktisk talt alt græsmarksafgrødernes og en stor del af rodfrugt- og kornafgrødernes zink passerer gennem husdyrenes stofskifte, og bortset fra de relativt små mængder, der anvendes i dyrenes vækst, udskilles det ligesom andre tunge metaller igen i de faste ekskrementer, men næppe i væsentlige mængder i urinen (sml. STEENBJERG (1940) om mangan og kobber i fast gødning og ajle). En betydelig del af fodermaterialets organiske stof forsvinder gennem fordøjelsesprocessen og tillige (hvad der også gælder

halmstrøelse) gennem gæringsprocesserne i møddingen; man må derfor vente at finde et betydeligt højere zinkindhold i den omsatte staldgødning end i udgangsmaterialet. Dette bekræftedes også gennem analyse af et antal staldgødningsprøver, mest fra de ovennævnte forsøgsstationer. Tallene ses i tabel 6. Sammenligner man disse tal med tidligere bestemmelser af staldgødningens indhold af mangan og kobber (STEENBJERG 1940), der gennemsnitligt beløber sig til henholdsvis 190 og 18 p.p.m., synes zink at forefindes noget sparsommere end mangan men langt rigeligere end kobber.

Tabel 6. Indhold af zink i organiske gødninger (staldgødning og kompost)

Materiale		Min.	Max.	Gns.
Staldgødning (14 prøver)	Total Zn p.p.m. i tørstof	57	194	99
	EDTA-Zn » »	23	107	63
	» » % af total	40	97	63
Have-kompost (6 prøver)	Total Zn p.p.m. i tørstof	22	300	180
	EDTA-Zn » »	19	210	109
	» » % af total	48	86	62
»Dano«-kompost (Dagrenovation) (2 prøver)	Total Zn p.p.m. i tørstof	1850	2400	2130
	EDTA-Zn » »	510	990	750
	» » % af total	28	41	30

Udenlandske analyser af staldgødninger har vist zinkindhold af samme størrelsesorden som fundet her. Følgende tal kan anføres:

Forf. og land	Antal prøver	Zn i tørstof p.p.m.		
		Min.	Max.	Gnst.
Atkinson o.a. (1954), Canada	44	43	247	96
Scharrer & Prüin (1956), Tyskland	117	19	360	82

De sidstnævnte forfattere fandt ingen betydelig forskel på staldgødningens zinkindhold ved intensiv og extensiv drift (henholdsvis 78 og 84 p.p.m.).

Til sammenligning med staldgødningerne analyseredes en del prøver af kompost (inkluderet i tabel 6). Prøverne af almindelig havekompost svarer ganske til staldgødning med undtagelse af en enkelt (fra Hornum forsøgsstation), der ikke er rigere på zink end adskillige humusjorder. Højst påfaldende er det enorme zinkindhold i kompost af dagrenovation behandlet efter »Dano«-

processen. Dets oprindelse er ret uklar, men resultaterne stemmer overens med iagttagelser andet steds fra. SCOTT (1961) angiver følgende indhold i tørstof af to prøver af Dano-kompost fra Edinburgh: Total-zink 340 og 600 p.p.m., »tilgængelig« zink 45 og 40 p.p.m. GERRETSEN (1952) fandt i et flerårigt gødningsforsøg i Holland følgende zinkmængder i jord (desværre specificeredes hverken forsøgets alder eller gødningsmængderne):

Ugødet og NPK-gødsning....	7—12 p.p.m.
Staldgødning.....	26 »
Dagrenovation.....	212 »

Det høje zinkindhold i de fleste prøver af havekompost skyldes sandsynligvis det store tab af organisk stof under den lange sønderdelingsproces, der har medført en betydelig koncentration af de mineralske bestanddele, heriblandt zink (sml. HIBBARD 1940). Som ovenfor nævnt gælder dette også om staldgødningen, men denne modtager et extra tilskud gennem oliekgæfoderet, der er forholdsvis rigt på zink, således som det fremgår af nogle analyser i tabel 7.

Tabel 7. Zinkindhold i oliekgæ (tørstof)

Materiale og oprindelse	Zn p.p.m. tørstof
Soyaskrå, U.S.A. (?) a).....	51
» » b).....	74
Bomuldsfrøkgæ, Syrien.....	66
» Sudan.....	53
Solsikkekgæ, Argentina.....	123
Kkøskgæ, Burma.....	64
Hørfrøkgæ, Irak.....	123
Jordnødskrå, ».....	98

Forbruget af oliekgæ ligger iflg. opgivelser fra Statens Foderstofkontrol omkring 900 000 tons årligt; de dominerende sorter er soja- og bomuldsfrøkgæ og -skrå med henholdsvis 390 000 og 310 000 tons, dernæst ca. 100 000 tons solsikkekæ. Med et anslået gennemsnitsindhold af 60 p.p.m. zink og udskillelse af blot 80 pct. heraf i ekskrementerne skulle således oliekgæfoderet bidrage til staldgødningens zinkindhold med mindst 40 tons om året.

Sluttelig bestemtes der zink i en del handelsgødninger og kalkmidler. Tabel 8 viser, at kvælstofgødningernes zinkindhold er

ringe omend ikke forsvindende, men superfosfat er til gengæld særdeles rigt herpå. Et lignende eller endnu højere indhold af zink i superfosfat o.lign. angives af SCHARRER & MUNK i Tyskland (132-472 p.p.m.), og iflg. DAVIES (1961) har man i New Zealand fundet 222-635 p.p.m. zink i superfosfat og 400-1030 p.p.m. i råfosfat. Derimod synes thomasfosfat at være temmelig zinkfattigt: 4.6 p.p.m. iflg. SCHARRER & MUNK, 28 p.p.m. iflg. DAVIES.

De højprocentige kaligødninger er med en enkelt undtagelse ikke rigere på zink end kvælstofgødningerne, og det samme gælder om de to prøver af kainit, hvis af og til iagttagne overlegenhed i markforsøg således ialtfald ikke skyldes dette mikronæringsstof. Et par prøver af råkali fra saltforekomsterne ved Suldrup (velvilligst stillet til rådighed af boreudvalgets formand, professor, dr. techn. Per Søltøft) viste sig yderlig fattige på zink: 6-7 p.p.m.

Jordbrugskalkens indhold af zink er ret beskedent og turde være adskillig mindre let tilgængeligt for planterne end de opløselige gødningers.

Tabel 8. Indhold af zink i forskellige handelsgødninger og kalkmidler

Materiale	Antal prøver	Zn p.p.m.		
		Min.	Max.	Gns.
Kalksalpeter.....	2	27	35	31
Kalkammonsalpeter.....	2	20	32	26
Chilesalpeter.....	1	—	—	32
Svovlsur ammoniak.....	1	—	—	25
Syntetisk urinstof (»urea«).....	1	—	—	40
Superfosfat.....	6	143	265	210
Kaligødning, højprocentig.....	8	15	150	50
Kainit (gødningsforsøg 1961).....	2	19	25	22
Jordbrugskalk.....	8	27	110	52

Efter at nærværende beretning var forelagt, fremkom der et samleværk af SWAINE (1962), indeholdende et meget stort antal analyser af mikronæringsstoffer og andre sporelementer i de mest forskelligartede gødningsstoffer. Der findes 361 henvisninger til zinkbestemmelser, heraf 191 i kvælstof-, fosforsyre- og kaligødninger, hvis zinkindhold varierer indenfor så vide grænser som 0 og >1000 p.p.m.

Et forsøg på en zinkbalance. — Det er indenfor rummelige fejlgrænser muligt at danne sig et skøn over zinkbortførselen i det

samlende høstudbytte såvel som pr. arealenhed på grundlag af analysetallene i tabel 5 i forbindelse med det gennemsnitlige udbytte af samtlige afgrøder i årene 1955-59 iflg. opgørelser af THØGERSEN (1961).

Det gennemsnitlige zinkindhold på henholdsvis 35 og 23 p.p.m. kerne- og halmtørstof kan rundt regnet konverteres til 3.0 gram pr. hkg kerne og 2.0 gram pr. hkg halm. Svarende hertil kan det gennemsnitlige indhold af 49 p.p.m. zink i grøntfoderplanternes tørstof anslås til 4.0 gram pr. hkg hø eller 10 gram pr. afgrødeenhed (= 2.5 hkg hø). Zinkbestemmelserne i rodfrugtafgrøder er få og variable, men det er måske tilladeligt at regne med et indhold af 33 p.p.m. i gennemsnitligt tørstof eller 3.5 gram pr. afgrødeenhed (regnet = 110 kg tørstof). Vi finder da:

	Areal		Zinkindhold	
	1000 ha	Tons ialt	gram pr. ha	
<i>I kornafgrøder:</i>				
Kerne, 45 mill. hkg	1390	135	100	
Halm, 49 » »	—	100	70	
<i>I græs og grøntfoder:</i>				
Hø, 7.7 mill. a.e. + græsning 31.3 mill. a.e.	1050	390	370	
<i>I rodfrugtafgrøder:</i>				
Rod (alle afgrøder) 36 mill. a.e. + roetop, 4.7 mill. a.e. ¹	580	145	250	

1. I frisk opfodret og ensileret roetop. Den nedpløjede top kan holdes udenfor regnskabet, da dens zink vender direkte tilbage til jorden.

Til rest står et areal på 85 000 ha med »andre afgrøder« (industriplanter, frøafgrøder m.v.). Hvis vi her regner med en zinkoptagelse på 250 gram pr. ha, svarende til gennemsnittet af de tre ovennævnte store afgrødegrupper, skulle disse »andre afgrøder« tilsammen indeholde ca. 20 tons zink.

Efter dette skulle den gennemsnitlige årlige zinkbortførsel i samtlige afgrøder på det nuværende udbyttensniveau blive 235 t i kornafgrøder + 390 t i græsmarks- og grøntfoderafgrøder + 145 t i rodfrugtafgrøder + 20 t i andre = ca. 790 tons. I betragtning af den betydelige variation i analysetallene (tabel 5), der udviser standardafvigelse på 32-40 pct. af gennemsnit, må man nøjes med at anslå mængden til at ligge mellem 500 og 1000 tons total-bortførsel af zink, eller 150 til 300 gram pr. ha i et samlet landbrugsareal på noget over 3 mill. ha.

Blandt de kompenserende faktorer indtager staldgødningen tydeligt nok førstepladsen. Den samlede produktion af staldgødning i dansk landbrug kan ifl. LAND JENSEN (1953) anslås til ca. 30 mill. tons med 25 pct. tørstof, hvis gennemsnitsindhold af zink i henhold til tabel 6 kan anslås til 100 p.p.m. total og 60 p.p.m. EDTA-opløseligt zink. »Returmængden« af zink i al staldgødningen skulle således være 750 tons eller næsten lige så meget som bortført i afgrøderne; det må erindres, at dyriske produkter kun fjerner relativt små zinkmængder fra marken, og det samme gælder om fabrikkssukkerroer, såfremt affaldet fodres op; på den anden side indgår oliekagerne og andre importerede fodermidlers zink i staldgødningen med ret anseelige bidrag.

Handelsgødningernes og jordbrugskalkens bidrag til jordens zinkforsyning kan tilnærmelsesvis opgøres som vist nedenfor. (Forbruget af jordbrugskalk, ikke indbefattet mergel og affaldskalk, er beregnet efter OEEC's statistik over gødningsforbruget 1954-62, hvor mængderne opgives som brændt kalk, CaO; denne er omregnet til jordbrugskalk med et gennemsnitligt indhold af 75 pct. calciumcarbonat og 50 p.p.m. zink, sml. tabel 8).

Gødningsart	Årligt forbrug tons (ca.)	Indhold af zink	
		p.p.m.	Ialt tons
Kvælstofgødninger	700,000	30	20
Superfosfat.....	600,000	200	120
Kaligødninger.....	250,000	40	10
Jordbrugskalk....	600,000	50	30

Til de beregnede 750 tons zink i staldgødningen må altså lægges 150-200 tons i handelsgødninger etc., hvilket synes nærmest at tyde på en positiv zinkbalance i sammenligning med de beregnede 500-1000 tons i det samlede høstudbytte.

Hertil kommer endelig mindre mængder zink i forskellige sprøjtemidler, hovedsagelig Zineb og Ziram. Betydningen af deres zinkindhold som plantenæring er ret usikker, fordi zink er tilstede som kompleksforbindelser af thiocarbamater, der kun meget langsomt eller slet ikke nedbrydes i jordbunden (sml. FREDERICK o.a. 1957). Muligvis kan der være tale om foliær zinkoptagelse, hvilket er af nogen interesse, fordi begge midler for en stor del bruges til frugttræer, og netop disse synes oftest at frembyde zinkmangelssymptomer.

DISKUSSION

Det fremgår af jordbundsanalyserne, at et forholdsvis lavt zinkindhold er fremherskende i danske landbrugsjorder, idet der fandtes mindre end 1.0 p.p.m. ammoniumacetatopløseligt og mindre end 4.0 p.p.m. kompleksopløseligt og biologisk tilgængeligt zink i næsten halvdelen af de undersøgte jordprøver, og i henved en fjerdedel af dem var de nævnte tal mindre end henholdsvis 0.5 og 2.0 p.p.m. Zinkindholdets fordeling har således en udpræget skævhed imod de lave værdier.

I jord på dette niveau af zinkindhold har man i andre lande jævnlig set utvivlsom zinkmangel, ganske vist under forhold der ofte er radikalt forskellige fra vore. LYMAN & DEAN (1942), i Hawaii, fandt en tydelig korrelation mellem zinkindhold og mangelsymptomer hos ananasplanter; symptomerne sås ikke i jord med 1.7–3.5 p.p.m. ammoniumacetatopløseligt zink, men blev stærkere ved 0.5–0.8 p.p.m. selv ved sur jordreaktion (pH 4.2–5.5), der ellers begunstiger zinkoptagelsen. DONALD o.a. (1952) brugte en noget modificeret *Aspergillus*-metode og fandt 0.5–6.0 p.p.m. zink i 8 jorder, hvor markforsøg i ikke-specificerede afgrøder havde vist zinkmangel; denne skulle ifl. deres undersøgelse af 278 jorder være vidt udbredt i Sydaustralien. TUCKER o.a. (1953), i Californien, fandt ved lignende biologisk bestemmelse 0.6–2.9 p.p.m. zink i 6 jorder fra markforsøg, hvor der havde vist sig udslag for zinktilførsel.

Man får således det indtryk, at et betydeligt antal danske jorder må befinde sig i en vis »farezone« af zinkindhold; selv om man endnu ikke har konkrete vidnesbyrd om zinkmangel hos landbrugsplanter, må man regne med muligheden for, at denne tilstand kan opstå gennem zinkudpining som følge af et stigende udbyttensniveau og anvendelse af højprocentige gødninger. Under driftsformer, hvor hele avlen eller det meste deraf opfodres, vil dette næppe kunne ske, da det allermeste af afgrødernes zink da vender tilbage til jorden i form af staldgødning, eventuelt suppleret med indkøbte foderstoffers zinkindhold; de mængder af handelsgødning, specielt superfosfat, der må anvendes som supplement til staldgødningen, tør vel ventes at dække den tabsmargin, der repræsenteres af dyriske produkter: kød og konsummælk.

Zinkindholdet i komælk er ifl. SCHULZ o.a. (1953) ca. 1 til højst 5 p.p.m., hvilket svarer til et maximum af 25–28 tons zink i den samlede danske årsproduktion på 5.0–5.5 mill. tons sødmælk. Heraf udgør konsummælk, osteproduktion, mælkekonserves etc. ca. 1.5 mill. tons med allerhøjst 7–8 tons zink eller ca. een procent af den totale zinkudveksling mellem jord og afgrøder. Ved oste-fremstilling forbliver ydermere ca. halvdelen af mælkens zink-indhold i vullen og kan vende tilbage til staldgødningen efter opfodring.

Anderledes stiller problemet sig i kvægløst landbrug baseret på salg af korn- og frøafgrøder, kartofler, sukkerroer, etc. Kornafgrøders gennemsnitlige bortførsel af zink fra jorden blev ovenfor anslået til 3.0 gram pr. hkg kerne (zinkindholdet i halm kan man se bort fra, hvis den nedpløjes eller brændes, men naturligvis ikke hvis den finder industriel anvendelse – f.eks. til cellulosefabrikation!). Går man ud fra de »erstatningstal« for staldgødning, som IVERSEN (1957) angiver under forudsætningen »hele avlen sælges«, skal der for hver hkg kerne (100 f.e.) anvendes 5 kg superfosfat og 5 kg 50 pct. kaligødning, hvori kan ventes gennemsnitligt $1.0 + 0.25$ g zink. Bruges der yderligere 15 kg kvælstofgødning (svarende til 600 kg kalksalpeter for et kerneudbytte på 40 hkg/ha), vil der næppe heri findes mere end 0.6 gram zink; ialt har man da en samlet zinkmængde på 1.85 gram i den tilførte gødning, hvilket giver en negativ zinkbalance med et underskud på 35–40 pct. Andre salgsafgrøder kan næppe ventes at forholde sig væsentlig anderledes eller ialtfald ikke at give nogen positiv zinkbalance. Hvis en jord med et lavt zinkindhold permanent gøres til genstand for en sådan driftsform, består der en mulighed for, at det potentielle zinkproblem bliver aktuelt – et synspunkt som også SVANBERG (1962) har hævdet. Mest nærliggende vil denne mulighed være på lerjord, der bør holdes på et reaktionsniveau over Rt 7, og især hvis tillige fosforsyreindholdet er højt nok til at motivere sparsom anvendelse af superfosfat. Et vigtigt moment vil selvfølgelig være den (endnu ukendte) hastighed, hvormed zink kan mobiliseres fra jordens uopløselige reserver.

SUMMARY

The Zinc Status of Danish Soil

Zinc was determined by three methods in a number of cultivated soils, chiefly fields soils: (1) by extraction with 0.5 M ammonium acetate in 204 samples, (2) by extraction with EDTA (disodium ethylenediaminetetraacetate) in 240 samples, and (3) by bio-assay with *Aspergillus niger* in 576 samples. The results of the three methods were well correlated but showed no definite correlation with other soil properties than humus content. The figures showed a strikingly skew distribution with preponderance of low values. Nearly one-half of the samples contained less than 1.0 p.p.m. of ammonium acetate-soluble and less than 4 p.p.m. bio-assayed zinc, while more than one-fourth of the samples had less than 2.0 p.p.m. EDTA-soluble zinc. Nevertheless these zinc supplies seem sufficient to meet the requirements of normal crops, since zinc deficiency has not so far been observed in agricultural crops.

Attempts were made to draw up a rough zinc balance sheet for agricultural soils in Denmark on the basis of zinc determinations in the major crops (grain and straw of cereals, grasses and pasture legumes, various root crops) and also in farmyard manure and the more important artificial fertilizers. The average amount of zinc carried away in the crops was estimated at a figure between 500 and 1000 tons per annum, probably in the neighbourhood of 800 tons, or roughly 250 gram per hectare of the total agricultural area. Approximately 750 tons of zinc per annum appeared to be returned to the land in farmyard manure which contains most of the zinc in fodder crops in addition to that in imported grain and concentrates; oil cakes alone were conservatively estimated to contribute at least 40 tons of zinc per annum. Artificial fertilizers, with the exception of superphosphate, were rather poor in zinc, but seemed together with agricultural lime to add some 150-200 tons of zinc per annum.

The zinc balance thus seems to be positive under a system of farming where most of the harvest is fed to the livestock and farmyard manure is used. A potential zinc problem probably exists under conditions of »cattle-less« farming depending *inter alia* on the sale of cereals; these will on an average carry away 30 gram of zinc per ton of grain, while normal use of artificial fertilizers cannot be expected to compensate for more than about two-thirds of this. On soil of low zinc content such a gradual depletion may eventually lead to a stage where special zinc fertilizers will be needed.

LITTERATURHENVISNINGER

- Atkinson, H. J., G. R. Giles & J. G. Desjardins* (1954). Trace element content of farmyard manure. *Canad. J. Agr. Science* v. 34:76-80.
- Bergh, H.* 1948. Sink som plantenæring og plantegift. *Kgl. Norske Vidensk. Selsk. Skr.* 1945, Nr. 3 (67 pp.).
- Bergh, H.* 1953. Zinc as plant nutrient and plant toxic. *Kgl. Norske Vidensk. Selsk. Skr.* 1952, Nr. 4 (33 pp.).
- Bondorff, K. A.* 1940. Om Humusbestemmelse i Jord. *Tidsskrift for Planteavl.* v. 50:138-149.
- Davies, E. B.* 1961. Personlig meddelelse fra The Department of Agriculture, Hamilton, New Zealand.
- Davies, C., B. J. Passey & R. J. Swaby* 1952. Bioassay of available trace metals in Australian soils. *Aust. J. Agr. Research* v. 3:305-325.
- Frederick, E. R., R. L. Starkey & W. Segal*, 1957. Decomposability of some organic sulfur compounds in soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* v. 21:287-292.
- Gerretsen, F. C.* 1952. Some aspects of the microbiological determination of magnesium, zinc, copper and boron. *Trans. Intern. Soc. Soil Sci. Meeting Comm. II and IV (Dublin)* v. 1:151-161.
- Henriksen, A. & H. L. Jensen* 1958. Chemical and microbiological determinations of copper in soil. *Acta Agr. Scand.* v. 8:441-469.
- Hewitt, E. J.* 1958. The role of mineral elements in the activity of plant enzyme systems. *Ruhland's Handb. d. Pflanzenphysiol.* v. 4:427-481.
- Hibbard, P. L.* 1940. Accumulation of zinc under long persistent vegetation. *Soil Science* v. 50:53-55.
- Jackson, M. L.* 1958. *Soil Chemical Analysis.* (Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, N. J., USA).
- Jensen, H. L. & A. Henriksen* 1955. Chemical and microbiological determinations of magnesium in soil. *Acta Agr. Scand.* v. 5:98-112.
- Jensen, H. L. & C. G. Lamm* 1961. On the zinc content of Danish soils. *Acta Agr. Scand.* v. 11:63-81.
- Karlsson, N.* 1952. Analytical work on zinc in the vegetation of Northern Sweden. *Acta Agr. Scand.* v. 2:173-182.
- Kolthoff, I. M. & J. J. Lingane* 1952. *Polarography.* (Second Ed., Interscience Publishers, London and New York).
- Lamm, C. G.* 1959. Komplekxkemiske forhold i jordbunden. *Tidsskr. f. Planteavl* v. 62:856-870.
- Land Jensen, H.* 1953. Staldgødning og ajle. (Gødningslæren: Agerdyrkningslære Bd. II, 8. udg. Odense og København).
- Lyman, L. & L. A. Dean* 1942. Zinc deficiency of pineapples in relation to soil and plant composition. *Soil Science* v. 54:315-324.
- Rogers, L. H. & C. H. Wu* 1948. Zinc uptake by oats as influenced by lime and phosphate. *J. Amer. Soc. Agron.* v. 40:563-566.
- Rørdam, K.* 1914. Studier over udvalgte Emner af den kemiske Geologi og den kemiske Agrogeologi. II. *Kgl. Danske Vidensk. Selsk. Skr.*, 7. Rk., Naturvidensk. og Matematisk Afd. XI Nr. 5.

- Scharrer, K. & H. Munk* 1956. Die quantitative Bestimmung kleinster Mengen Zink in Böden, pflanzlichen und tierischen Substanzen und Düngemitteln. *Z. Pflanzenern., Düngung, Bodenk.* v. 72:24-42.
- Scharrer, H. & K. Prün* 1956. Über den Mikro- und Makro-Nährstoffgehalt von Wirtschaftsdüngemitteln. *Landw. Forschung* v. 8:122-206.
- Scott, J.* 1961. Refuse separation and composting in Edinburgh. (Town Waste Put To Use, ed. Paul Wix, Cleaver-Hume Press Ltd., London).
- Schultz, M. E., F. Roland & W. Ascherfeld* (1953). Zink in Milch und Milchprodukten. *Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte* v. 5:641-654.
- Steenbjerg F.* 1940. Mangan, Kobber og Bor i Staldgødning, Ajle og Handelsgødning. *Tidsskrift for Planteavl* v. 44:373-387.
- Stiles, W.* 1961. Trace Elements in Plants. (Third Ed., Cambridge University Press).
- Svanberg, O.* 1962. De svenska skördeprodukternas innehåll av biogene elementer. Gödsel- och Kalkindustriernas Samarbetsdelegations Skriftserie Nr. 3.
- Swaine, D. J.* 1962. The Trace-element Content of Fertilizers. (Commonwealth Agr. Bureaux, Farnham Royal, England).
- Thorne, W.* 1957. Zinc deficiency and its control. *Advances in Agron.* v.9:31-65.
- Thøgersen, O.* 1961. Planteavl i 1960. *Tidsskr. f. Landøkonomi* Nr. 7:305-319.
- Tucker, T. C., L. Kurtz & D. L. Lynch* 1953. Zinc status of some Illinois soils as estimated by an *Aspergillus niger* method. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* v. 17:111-114.
- Wiklander, L.* 1958. The soil. *Ruhland's Handb. d. Pflanzenphysiol.* v. 4:118-169.