

# Kobberbestemmelser i jord i sammenligning med virkningen af kobbergødskning

Ved AAGE HENRIKSEN

## 550. beretning fra Statens Forsøgsvirksomhed i Plantekultur

Med henblik på det stigende antal tilfælde af kobbermangel i danske jorder er der siden 1953 ved Statens Planteavlslaboratorium foretaget en række sammenlignende undersøgelser over forskellige metoder til bestemmelse af kobber i jord og resultaternes korrelation med udslaget for kobbertilførsel i markforsøg. Arbejdet er dels — og hovedsagelig — udført ved laboratoriets jordbundskemiske afdeling i Vejle, og dels ved den bakterielogiske afdeling i Lyngby. Resultaterne meddeles i nærværende beretning, der er udarbejdet af afdelingsbestyrer *Aage Henriksen* med bistand af afdelingsbestyrer, dr. agro. *H. L. Jensen*.

*Forstanderne ved Statens Forsøgsvirksomhed i Plantekultur*

## Indledning

For næsten halvandet hundrede år siden påviste *Meissner* (1816) et indhold af ganske små mængder kobber i forskellige planter, og senere gav *Forchhammer* (1854) udtryk for den anskuelse, at »Kobber er en væsentlig og nødvendig Bestanddeel af mange Planter«, og at jorden derfor måtte indeholde kobber for at være skikket til plantedyrkning. Beviset for kobberets nødvendighed som mikronæringsstof for planterne blev imidlertid først leveret langt senere, gennem vandkulturforsøg af *Sommer* (1931).

Kobberets funktion i planterne er endnu ikke helt klarlagt, men det synes at være bundet til proteiner og vides at virke som aktivator for flere enzymer, især oxydaser, der blandt andet indvirker på klorofyl og karotin, hvis mængde aftager ved kobbermangel, så der opstår mere eller mindre udprægede klorotiske tilstande som »mangelsymptomer«. Ved udtalt kobbermangel viser de første symptomer sig hos havre- og bygplanter, når der

er dannet 3—4 blade. Randene på de ældre blades nedre del antager en fra det mørkegrønne midterparti mere eller mindre skarpt afsat gullig-grøn farve, og efter 8—10 dages forløb begynder de unge blades spidser at blive blege og slappe; kort efter ruller bladene sig ind, spidserne knækker ned, og i blæst står de vimpelagtigt ud fra den friske del af bladet.

*Mortensen, Rostrup og Kølpin Ravn* (1910) var de første, der blev opmærksomme på, at man stod over for et typisk og velafgrænset sygdomsbillede, som de på grund af det ovennævnte karakteristiske symptom gav navnet »gulspidssyge« (jvf. svensk »gulspetsjuka« og engelsk »yellow tip disease«). Siden har gulspidssygen været genstand for stadige undersøgelser, gennem hvilke man til en begyndelse kunne fastslå, at tilstanden måtte være knyttet til bestemte jordbundsforhold. Det lykkedes imidlertid ikke at angive virksomme midler til bekæmpelse af sygdommen, som man anså for at skyldes en kombination af næringsmangel og nattefrost, indtil *Hudig og Meijer* (1925) påviste, at gulspidssyge kunne helbredes ved tilførsel af kobbersulfat; denne opdagelse gav stødet til, at spørgsmålet om kobberets betydning for planternes ernæring blev taget op påny. Man var dog længe af den opfattelse, at kobberets virkning var af indirekte natur, indtil *Sommer* (1931) som foran nævnt førte det direkte bevis for dets absolutte nødvendighed som planteneringsstof. *Sommer's* resultater blev bekræftet blandt andet gennem vand- og sandkulturforsøg af *Mulder* (1938) og karforsøg med »gulspidssyge« jord af *Mulder* (1938) og af *Steenbjerg* (1940), hvis undersøgelser viste, at jordens »tilgængelige« kobbermængde har betydning for planternes udvikling.

Det var da nærliggende at søge udarbejdet en metode til bestemmelse af jordens indhold af plantetilgængeligt kobber, således at man fik mulighed for på forhånd at udpege kobbertrængende jorder og tage de nødvendige forholdsregler. *Mulder* (1938) anvendte blandt andet Neubauer's kimplantemetode, medens *Steenbjerg* (1940) udarbejdede en kemisk metode, der siden har været anvendt her i landet og består i ekstraktion af jorden med fortyndet saltsyre ved pH 2,00, hvorpå ekstraktens kobberindhold bestemmes kolorimetrisk og udtrykkes i milliekvivalenter Cu pr. 625 kg jord (TCu). I udlandet har man ud-

arbejdet en række andre kemiske metoder, hvor ekstraktionsmidlerne varierer fra neutrale saltopløsninger til kogende koncentrede syrer; de første udtrækker kun en del af jordens ombyttelige kobber, de sidste praktisk talt dens totale indhold.

Væscnsforskellig herfra er en mikrobiologisk metode, baseret på, at det sorte pigment i konidierne hos skimmelsvampen *Aspergillus niger* ikke dannes ved dyrkning på kobberfrit substrat (*Bortels* (1927); om kobberets betydning for mikroorganismer iøvrigt kan henvises til *Starkey* (1955)). *Mulder* (1938) udviklede på grundlag heraf en kvantitativ kobberbestemmelse, idet man ved at dyrke svampen i en rensset næringsopløsning med stigende kobbertilsætning (0 til 2,5  $\mu\text{g}$  Cu pr. 40 ml) kan fremstille en farveskala, hvor konidielagets farve varierer fra gulligt (i ideelle tilfælde hvidt uden konidier) over brunt til dybsort. Ved at dyrke svampen i kobberfri næringsopløsning med tilsætning af 0,5—1,0 g jord under samme betingelser som ved fremstilling af »standardskalaen« og sammenligne konidielagets farve hermed, kan man direkte aflæse jordens indhold af kobber, der — for *Aspergillus niger* — er ækvivalent med en bestemt mængde  $\text{CuSO}_4$ . I forskellige modifikationer (*Nicholas* og *Fielding* 1951, *Gerretsen* 1952) bruges denne metode ret almindeligt i udlandet, og ved nærværende laboratorium har der siden 1953 i jordprøver fra markforsøg med tilførsel af kobbersulfat været udført en række sådanne kobberbestemmelser, jævnsides med bestemmelser efter *Steenbjerg's* metode.

Begge metoder er imidlertid ret arbejdskrævende og fordrer betydelig omhu og øvelse, ligesom der kunne ønskes bedre overensstemmelse mellem laboratoriebestedemmelsernes og markforsøgenes resultater. Her til lands anses almindeligt TCu-værdier mindre end 2,5 (= 0,13 mg Cu pr. kg jord) for at angive sandsynlighed for »kobbertrang« hos kornsorter. For den mikrobiologiske metodes vedkommende angives som regel (se *Mulder* 1938, *Acock* 1941, *Gerretsen* 1952, *Stapp* og *Wetter* 1953), at i jord med mindre end 0,4 mg Cu/kg kan man regne med stærk og ved 0,5—1,0 mg/kg med delvis kobbermangel (visuelle symptomer), der bliver sjældnere ved 1—2 mg/kg, medens endelig indhold på 2—2,5 mg/kg eller mere må anses for at angive tilstrækkelig kobberforsyning. Disse tal er dog meget omtrentlige.

Ingen af angivelserne er baseret på noget særlig stort forsøgsmateriale eller på udbyttebestemmelser, og i det hele taget foreligger der ingen omfattende sammenlignende undersøgelser over de kemiske og mikrobiologiske kobberbestemmelser korrelation med hinanden eller med kvantitative udslag (merudbytte) for kobbertilførsel i markforsøg.

I foråret 1956 indledtes forsøg med etylendiamintetraæddikesyre's dinatriumsalt («Komplexon III») som ekstraktionsmiddel, der først er anvendt af *Cheng og Bray* (1953). Til vurdering af metodens egnethed til at angive kobbertrang forelå et materiale på ca. 700 jordprøver, udtagne ved anlæg af markforsøg med kobbergødskning i forskellige, især jydsk landboforeninger 1954—56. Undersøgelsesresultater og en vurdering af de tre analysemetoders værdi fremlægges i det følgende.

## Metoder

De anvendte metoder vil blive udførligere beskrevet andetsteds og omtales derfor her kun i korthed.

*Steenbjerg's* (1940) oprindelige metode til kemisk kobberbestemmelse har siden 1946 undergået en forenkling, der dog ikke påvirker analysetalenes størrelsesorden. Bestemmelsen udføres nu ved at ekstrahere 50 g lufttør jord med 200 ml fortyndet saltsyre af en sådan koncentration, at slutaciditeten efter 1 times rystning svarer til pH 2,00. I en pyrex-glasskål inddampes derpå 100 ml filtrat til ca. 50 ml, der overføres til en 150 ml skilletragt sammen med 20 ml 0,5-molær ammoniumcitrat, 3 ml 6-molær ammoniumhydroxyd, 10 ml 0,1 pct. opløsning af natriumdiethyldithiocarbamat og 15 ml tetrachlorkulstof. Efter 2 minutters rystning af skilletragten er det dannede gulfarvede cupridiethyldithiocarbamatkompleks opløst i tetrachlorkulstoffet, som derpå tappes over i en 100 ml skilletragt med 25 ml 0,5-molær ammoniumhydroxyd. Ved ½ minuts rystning fjernes eventuelle spor af jern, hvorpå tetrachlorkulstofflaget aftappes, og farvestyrken heri måles kolorimetrisk, eventuelt ved hjælp af Beckman-spektrofotometret, ved bølgelængde 440  $m\mu$ . Resultatet udtrykkes som kobbertallet TCu, hvoraf een enhed modsvarer eet milliækvivalent (= 31,8 mg) Cu pr. 625 kg lufttør jord, eller 0,0509 mg Cu/kg jord.

Den mikrobiologiske bestemmelse udførtes i alt væsentligt efter *Mulder* (1938). *Aspergillus niger*, stamme »M« fra dr. *E. G. Mulder*, Groningen, dyrkedes i 300-ml salpetersyrerensede Erlenmeyer-kolber, dækkede med små bægerglas i stedet for vatpropper og indeholdende 40 ml for kobber rensed næringsopløsning med 50 g glucose, 5,0 g  $\text{NaNO}_3$ , 2,5 g  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ , 1,0 g  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 1,0 g  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , 0,025 g  $\text{FeCl}_3$ , 0,01 g  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 0,0015 g  $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , 0,00075 g  $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  og 0,00005 g  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , pr. liter. Efter 4 døgn henstand i termostat ved  $30^\circ \text{C}$  sammenlignedes konidielagets farve i kolberne med jord og i »standardskalaen« af kolber indeholdende 0—0,2—0,4—0,6—0,8—1,0—1,3—1,6—2,0—2,5  $\mu\text{g}$  Cu (som  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) pr. 40 ml. Herved aflæser man direkte jordens indhold af mikrobiologisk bestemt kobber, der angives i mg Cu pr. kg jord og som i det følgende vil blive udtrykt ved symbolet AspCu. En begrænsning ved metodens anvendelighed er det, at den ikke tillader bestemmelse af større mængder kobber end ca. 2,0—2,5 mg/kg.

Bestemmelsen af kobberindholdet ved kompleksometoden, der tidligere er kort beskrevet andetsteds (*Henriksen* 1956) foretages ved at ryste 10 g lufttør jord i 1 time med 100 ml 0,02-molær dinatrium-ethylendiamintetraacetat (Komplexon III). For at opnå klare ekstrakter tilsættes ekstraktionsopløsningen 5 g  $\text{NH}_4\text{Cl}$  pr. liter. Efter 1 times henstand filtreres gennem et hårdt, kobberfrit filterpapir (Munktell OOH eller Schleicher & Schüll 589/3); 50 ml af filtratet overføres til en 150 ml skilletragt; der tilsættes 10 ml 1-molær ammoniumcitratopløsning (pH 9,0) og efter grundig rystning yderligere 1 ml 1 pct. opløsning af natriumdiethyldithiocarbamat og 15 ml tetrachlorkulstof. Efter 2 minutters rystning filtreres tetrachlorkulstoflaget, der nu indeholder det gule kobberkomplex, gennem et 7 cm kobberfrit filter ned i en 25 ml rundkolbe; denne henstilles tilproppet på et mørkt sted indtil måling af farvestyrken, der foretages på Beckman-spektrofotometret ved bølgelængde 440  $\text{m}\mu$ , kan ske. Resultatet udtrykkes som kobbertallet, KCu (= kompleksopløseligt kobber), hvoraf een enhed modsvarer 1 mg Cu pr. kg jord.

Reproducerbarheden af de tre metoders resultater i samme laboratorium (Vejle) undersøgt ved at beregne gennemsnits-

differencen ( $G_d$ ) mellem duplikatbestemmelserne i de første 150 jordprøver fra kobbergødskningsforsøgene 1956, idet der dog for kobbertallenes (TCu) vedkommende udvalgte 150 jordprøver, hvor pH-værdien i duplikatekstrakterne højst afveg med 0,04 enhed. Resultaterne fremgår af følgende oversigt:

Metode	Gennemsnit	$G_d$	$G_d$ i pct. af gns.
Kobbertal (TCu).....	6.77	0.97	14.3
Mikrobiologisk metode (AspCu).....	1.85	0.20	14.8
Kobbertal (KCu).....	2.94	0.21	7.1

Årsagen til, at komplexonmetoden giver langt bedre reproducerbare resultater end den anden kemiske metode (kobbertallet, TCu), må søges i to forhold. For det første er selve arbejdsgangen langt enklere ved komplexonmetoden, og for det andet ekstraherer en 0,02 molær opløsning af komplexon gennemsnitligt 5—6 gange mere kobber fra jorden end saltsyre ved pH 2,0, hvorfor uundgåelige små arbejdsfejl kommer til at påvirke resultatet relativt mindre.

For den mikrobiologiske metodes vedkommende gælder det særlige forhold, at bedømmelsen af konidielagets farve sker visuelt, og resultatet afhænger derfor i nogen grad af et subjektivt skøn, ligesom det også kan være vanskeligt at få sammenligningsskalaen helt ens fra den ene gang til den anden. Iøvrigt viste de mikrobiologiske bestemmelser i to laboratorier (Vejle og Lyngby) en god reproducerbarhed, idet sammenlignende bestemmelser i 120 jorder viste en korrelationskoefficient på + 0,93 og et gennemsnit på henholdsvis 1,18 og 1,26 mg Cu/kg jord.

Til foreløbig orientering om resultaternes afhængighed af den tid, som prøverne i praksis kan komme til at henligge inden analysen, udtoges der fra 30. dec. 1956 til 4. jan. 1957 16 jordprøver fra forskellige lokaliteter, hvori TCu og KCu bestemtes efter 3—8 dages opbevaring (7. januar). Af hver prøve udtoges derpå en mindre prøve til opbevaring i fugtig tilstand. Disse prøver blev hensat i et uopvarmet rum på samme måde, som det formentlig oftest vil være tilfældet i praksis, når der hengår nogen tid mellem prøveudtagning og analyse. Resten af jorden lufttørredes på vanlig vis, og TCu samt KCu bestemtes umiddel-

bart efter tørringen, samt efter 11, 18, 25, 32, 60 og 120 dages opbevaring. Prøverne, der var lagret i fugtig tilstand, blev lufttørrede og analyserede efter 120 dages opbevaring. Resultaterne ses i tabel 1 og viser ingen systematisk ændring af KCu-værdierne,

Tabel 1. Opbevaringstidens indflydelse på kobberbestemmelsernes resultater

TCu

Nr.	Jord-type	Henliggetid i dage									Ga, % af gnst.	
		fugtig		lufttør								
		0	120	0	11	18	25	32	60	120		
1	sand	2.2	0.8	1.0	0.9	2.9	2.4	3.2	2.0	2.0	28	
2	ler	3.0	3.2	7.0	4.3	4.0	4.7	3.8	5.5	3.0	24	
3	»	3.1	2.6	2.8	3.6	3.3	4.3	5.1	4.4	2.2	22	
4	sand	6.0	5.4	8.2	6.0	7.4	5.8	6.8	4.2	3.1	18	
5	»	6.0	4.4	7.2	5.9	6.4	9.7	8.3	6.3	8.0	18	
6	ler	6.8	5.1	8.1	5.2	5.9	7.3	8.1	7.4	4.1	19	
7	»	8.8	11.2	11.0	11.0	14.8	11.6	12.6	12.4	10.0	11	
8	»	9.4	8.1	9.2	11.0	9.8	9.8	9.6	9.0	8.2	6	
9	»	11.0	12.1	9.3	8.7	10.3	8.9	12.6	9.8	8.2	12	
10	sand	11.3	8.0	10.4	11.0	11.2	9.3	9.6	8.1	6.8	14	
11	ler	11.4	13.3	14.5	11.5	12.1	10.9	11.1	12.9	9.0	9	
12	sand	13.0	8.4	7.9	7.0	6.4	8.1	8.6	8.3	4.0	18	
13	»	13.1	12.9	11.0	11.4	10.7	12.4	12.9	14.9	11.4	8	
14	»	26	27	29	26	31	27	26	26	25	5	
15	humus	(49)	—	(54)	(utilstrækkeligt jord)							—
16	dynd	61	73	84	74	73	81	86	90	83	9	
Gennemsnit . . .		12.8	13.0	14.7	13.2	13.9	14.2	14.9	14.7	12.5	14.7	

KCu

1	sand	1.0	0.6	0.9	0.7	0.8	0.8	0.7	0.9	0.6	14
2	ler	1.6	2.1	2.6	2.5	1.8	2.2	2.3	1.8	2.1	13
3	»	1.3	1.5	1.4	1.4	1.4	1.5	1.5	1.3	1.4	4
4	sand	2.0	2.2	2.0	2.0	1.9	2.1	1.9	1.9	2.0	3
5	»	2.6	3.3	2.3	2.8	2.9	2.8	2.9	3.1	3.0	7
6	ler	4.2	3.4	4.3	3.3	3.2	3.7	3.4	3.2	3.4	9
7	»	2.4	2.8	2.9	3.1	2.9	3.1	2.9	2.7	2.9	5
8	»	2.5	2.5	2.7	2.5	2.4	2.6	3.4	2.5	2.8	8
9	»	2.3	2.6	2.5	2.3	2.4	2.4	2.4	2.2	2.2	4
10	sand	4.7	4.2	4.1	4.8	4.5	4.8	3.7	4.1	4.7	8
11	ler	3.8	3.9	3.5	3.6	3.7	4.0	3.5	3.4	3.8	5
12	sand	2.5	2.5	2.6	2.5	2.6	2.7	2.7	2.4	2.2	4
13	»	3.3	3.3	2.9	3.3	3.3	3.5	3.3	3.3	3.6	3
14	»	8.4	7.6	7.8	8.1	7.6	7.6	7.8	7.3	8.1	4
15	humus	19	26	27	27	28	31	28	28	29	7
16	dynd	11	7.8	9.3	7.6	6.7	9.0	7.1	6.9	7.7	13
Gennemsnit . . .		4.6	4.8	4.9	4.9	4.8	5.2	4.8	4.7	5.0	6.9

hvadenten prøverne har været opbevaret i fugtig eller lufttør tilstand. TCu-værdierne undergår heller ingen systematiske ændringer efter lagring indtil 60 dage i lufttør tilstand, medens der ved lagring i 120 dage kun for enkelte prøvers vedkommende spores en tendens til nedgang. Ligesom i ovenstående oversigt er reproducerbarheden (udtrykt ved  $G_d$  i pct. af gennemsnit) af KCu betydelig bedre end af TCu, og de gennemsnitlige værdier af  $G_d$  i pct. af gennemsnit er igen omtrent de samme som i den foregående forsøgsserie. Dette tyder på, at variationen i analyse-resultaterne ganske overvejende skyldes tilfældige analysefejl, og at lufttørring og opbevaring i fugtig eller tør tilstand op til 3—4 måneder som regel ikke bevirker nogen drastisk ændring af TCu eller KCu (sml. tidligere undersøgelser af *Steenbjerg* (1940), der iagttog en ofte meget stærk reduktion af TCu-værdierne ved opbevaring af tør jord i længere tidsrum — 4 til 8 måneder).

### Kobberbestemmelser i jord fra gødningsforsøg

Som nævnt i indledningen omfatter nærværende undersøgelse ialt 688 jordprøver, stammende fra landboforeningernes gødningsforsøg (*A. Dam Kofoed og Johs. Olesen* 1954, 1955 og 1956), ganske overvejende fra Jylland (kun 8 prøver stammer fra Øerne, og kun i to af disse forsøg fandtes signifikant udslag for kobbergødsning). Alle jordprøver var udtaget som gennemsnitsprøve i samtlige parceller før tilførsel af kobber, og der er kun medtaget de prøver, hvori der var tilstrækkeligt med jord til gennemførelse af kobberbestemmelser efter alle tre metoder (TCu, KCu og AspCu). Af forsøgene var 581 anlagt som »indkredsningforsøg«, hvis formål var at konstatere kobbermanglens udbredelse i Jylland, og som alene omfattede forsøgsleddene »Grundgødet« og »Grundgødet + 50 kg blåsten pr. ha«; efter planen var disse forsøg placeret helt tilfældigt uden hensyn til, om der på forhånd kunne ventes udslag for kobbertilførsel eller ej. De resterende 107 forsøg var anlagt på lokaliteter, hvor der var grund til at vente positiv virkning af kobbertilførsel, og her anvendtes stigende kobbermængder: 25—50—100 kg blåsten pr. ha som tilskud til grundgødning.



Efter år og afgrøde fordeler forsøgene sig som følger:

	1954	1955	1956	Ialt
Forsøg i byg.....	171	202	133	506
» » blandsæd.....	29	57	30	116
» » havre.....	12	24	20	56
» » vintersæd.....	4	2	4	10
Ialt.....	216	285	187	688

I tabel 2 findes en oversigt over samtlige kobberbestemmelers resultater i tre hovedgrupper af jordtyper: (1) lerjord, (2) sandjord og (3) sortsand- og humusjorder. Den procentiske fordeling af tallene fremgår af fig. 1. Alle tre metoder giver stort set den samme fordeling. Blandt ler- og sandjorderne er de største grupper repræsenterede ved TCu 4—6, AspCu 1,2—1,6 og KCu 0,6—1,5, medens de mindre talrige sortsand- og humus-

Tabel 2. Fordeling af kobberindhold i forskellige jordtyper

TCu	0-2.0	2.1-3.0	3.1-4.0	4.1-6.0	6.1-8.0	8.1-10	> 10	Ialt
Lerjorder.....	5	11	14	30	21	20	14	115
Sandjorder.....	32	72	102	158	61	45	47	517
Sortsand- og humusjorder.....	9	10	8	11	5	5	8	56
AspCu	0-0.8	0.9-1.2	1.3-1.6	1.7-2.0	2.1-2.5	> 2.5		
Lerjorder.....	5	31	49	12	4	14		115
Sandjorder.....	75	146	164	48	22	62		517
Sortsand- og humusjorder.....	7	15	14	5	1	14		56
KCu	0-0.5	0.6-1.0	1.1-1.5	1.6-2.0	2.1-2.5	2.6-3.0	> 3.0	
Lerjorder.....	1	19	30	19	18	7	21	115
Sandjorder.....	49	158	112	71	35	13	79	517
Sortsand- og humusjorder.....	7	14	7	7	2	4	15	56

Yderpunkter af TCu: Minimum 0.2, maximum 105  
 » » AspCu: » 0.2, » (> 2.5)  
 » » KCu: » 0.1, » 63

jorder ikke udviser nogen karakteristisk fordeling. Virkeligt kobberrige jorder er relativt fåtallige, idet der i hele materialet kun fandtes 19 prøver (2,8 pct.) med KCu over 10.

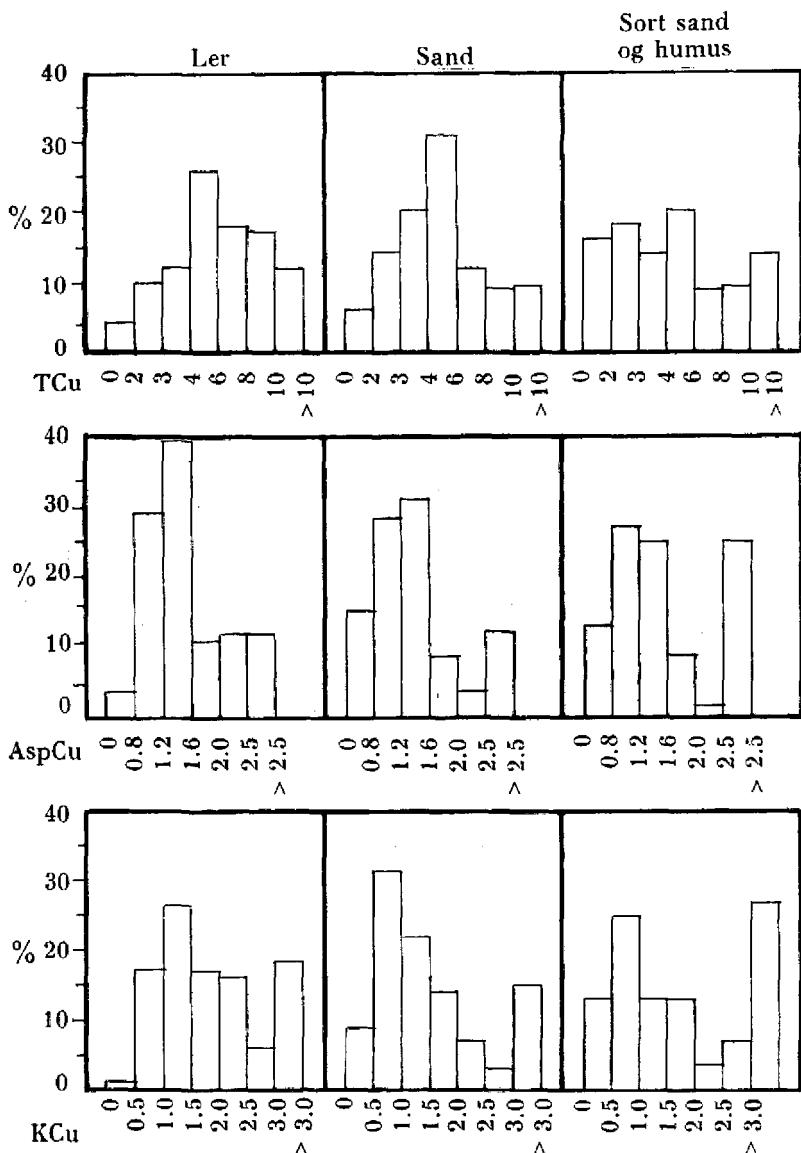


Fig. 1. Procentisk fordeling af kobberindhold i forskellige jordtyper

Efter reaktion fordeler samtlige jordprøver sig som følger, med udgrænserne Rt 4,6 og 8,3:

Rt:	<5.0	5.0—5.5	5.6—6.0	6.1—6.5	6.6—7.0	over 7.0
Antal:	4	36	167	253	152	76

Om de 4 stærkest sure jorder kan iøvrigt anføres følgende data:

Rt	TCu	KCu	AspCu	Afgrøde	Udslag for Cu-tilførsel
4.6	3.0	1.6	2.3	Havre	} intet
4.7	2.2	0.6	0.8	»	
4.8	0.4	0.4	0.5	Blandsæd	
4.9	5.2	1.9	1.6	Havre	

Tabel 3 giver en oversigt over fordelingen af gennemsnitligt reaktionstal i sammenligning med kobberindholdet. Noget sammenhæng mellem Rt og kobberindhold synes ikke at findes. De aller laveste KCu-værdier er ganske vist knyttet til det laveste, gennemsnitlige reaktionstal, men — som det fremgår af tabel 4 — har reaktionstallene indenfor denne gruppe varieret stærkt.

Tabel 3. Korrelation mellem kobberindhold og jordreaktion

TCu	0-2.0	2.1-4.0	4.1-6.0	6.1-8.0	8.1-10.0	> 10.0	—
Rt gns.....	6.2	6.3	6.4	6.4	6.4	6.4	—
Antal .....	46	217	199	87	70	69	—
AspCu	0-0.8	0.9-1.2	1.3-1.6	1.7-2.0	2.1-2.5	> 2.5	—
Rt gns.....	6.2	6.4	6.4	6.4	6.2	6.3	—
Antal .....	87	192	227	65	27	90	—
KCu	0-0.5	0.6-1.0	1.1-1.5	1.6-2.0	2.1-2.5	2.6-3.0	> 3.0
Rt gns.....	6.0	6.3	6.5	6.4	6.3	6.5	6.4
Antal .....	57	191	149	97	55	24	115

I prøverne fra forsøgene 1955 er der udført bestemmelser af fosforsyretil. Som det fremgår af tabel 4 eksisterer der intet

tydeligt sammenhæng mellem indhold af fosforsyre og komplexon-Cu.

Humusbestemmelser efter *Bondorff* (1946) udførtes i 60 tilfældigt udvalgte jorder. Der fandtes (se tabel 5) ingen korrelation mellem humus- og kobberindhold i dette ret begrænsede materiale (sml. *Boken* (1951) der i et større antal prøver fandt nogen tendens til aftagende TCu med stigende humusindhold).

Tabel 4. Korrelation mellem kobber- og fosforsyreindhold (1955)

KCu	Antal prøver	Ft			Rt
		minimum	maximum	gns.	
0—0.5 . . . . .	17	1.1	5.9	3.8	5.7—7.2
0.6—1.0 . . . . .	88	1.1	10.2	4.5	4.7—7.6
1.1—1.5 . . . . .	60	1.2	14.7	4.9	5.3—7.7
1.6—2.0 . . . . .	35	1.0	10.7	4.9	5.7—7.9
2.1—2.5 . . . . .	25	0.9	8.0	4.3	5.0—8.1
2.6—3.0 . . . . .	8	2.7	7.7	5.0	5.5—6.7
>3.0 . . . . .	52	1.6	15.3	4.8	5.3—8.0

Tabel 5. Korrelation mellem humus- og kobberindhold (60 prøver)

Humus %	Antal prøver	KCu		
		minimum	maximum	gns. og middelfejl
2—4 . . . . .	24	0.2	12.3	3.2 ± 0.66
4—8 . . . . .	22	0.2	22.3	2.5 ± 1.01
>8 . . . . .	14	1.0	6.6	2.8 ± 0.43

(Humusindhold, min. 2.2 %, max. 40.4 %)

## Korrelation

### mellem kobberindhold og udslag for kobbertilførsel

Der har indtil de allerseneste år kun foreligget få forsøg med tilførsel af kobber, hvor der samtidig er bestemt kobbertal. Ved kalibreringen af det hidtidige kobbertal (TCu) gik man derfor frem på den måde, at man søgte at udfinde, ved hvilket kobbertal planterne viste udprægede, svage eller ingen kobbermangelsymptomer. Det viste sig ved disse undersøgelser, at udprægede kobbermangelsymptomer ret sjældent forekom, når TCu var over 2,5 og at afgrøderne som oftest var sunde, når TCu var over

5. Af undersøgelser over sammenhæng mellem resultater fra markforsøg med tilførsel af kobber og kobbertallets størrelse foreligger kun en enkelt (*Steenbjerg og Boken 1949*), som viste følgende resultat.

TCu	Gns. udbytte,	Gns. merudbytte,	Antal forsøg
	F.E.	F.E. 1. år	
0 — 2.5.....	3307	250	13
2.6— 5.0.....	2844	220	30
5.1—10.0.....	2224	179	24
over 10.0.....	2547	—64	4

Det grundlag der forelå til tydning af kobbertallene var således ret spinkelt, og tallene blev da også først og fremmest anvendt som støtte for en udfra planternes symptomer stillet diagnose af kobbermangel. Dog gav tallene alene den oplysning, at jo lavere tal, desto større sandsynlighed var der for, at kobbermangel ville optræde.

I 1953 og 1954 påbegyndtes — som tidligere nævnt — 2 større serier af forsøg med tilførsel af kobber, hvor der samtidig udtoges prøver til kobberbestemmelse. I de 688 forsøg, som indgår i nærværende beretning, er der som nedenfor vist ingen udpræget forskel i den gennemsnitlige 1. års virkning af 50 kg blåsten i de 2 forsøgsserier.

	Gns. udbytte, hkg kærne/ha	Gns. merudbytte, hkg kærne/ha
Stigende kobbermængder	31.1	1.3
Indkredsningforsøg.....	31.8	1.1
Alle forsøg.....	31.8	1.1

Forskellen mellem det gennemsnitlige merudbytte for tilførsel af henholdsvis 25, 50 og 100 kg blåsten pr. ha er heller ikke stor; kun på de kobberfattigste jorder ( $KCu < 1.0$ ) stiger det gennemsnitlige merudbytte med stigende kobbertilførsel; ved mere kobberrige jorder er der snarere en svag tendens til nedgang i merudbyttet, når kobbertilskuddet øges. Forholdet fremgår af følgende oversigt, hvor forsøgene med stigende kobbermængder er delt op efter KCu.

KCu	Antal forsøg	Gns. udbytte, hkg kærne/ha	Gns. merudbytte i hkg kærne for kg blåsten/ha:		
			25	50	100
0 — 0.5 . . . . .	12	26.9	2.2	2.9	3.4
0.6 — 1.0 . . . . .	32	29.7	1.4	1.6	2.6
1.1 — 1.5 . . . . .	25	32.0	0.8	0.8	0.7
1.6 — 2.0 . . . . .	14	33.7	0.6	1.1	0.7
over 2.0 . . . . .	24	32.7	0.7	0.8	0.5

Både i forsøgene med stigende kobbermængder og i indkredsningforsøgene har der som forsøgsafgrøder været anvendt byg, blandsæd, havre eller vintersæd. Fordelingen af forsøgene efter år og afgrøde er meddelt under afsnittet om kobberbestemmelser i jord fra gødningsforsøg. I efterfølgende oversigt er angivet gennemsnitstallene af forsøgsresultaterne, grupperet efter kornart.

Afgrøde	Antal forsøg	Gns. udbytte, hkg kærne/ha	Gns. merudbytte, hkg kærne/ha
Byg . . . . .	506	33.5	1.1
Blandsæd . . . . .	116	24.8	1.3
Havre . . . . .	56	31.0	1.1
Vintersæd . . . . .	10	25.7	0.4

Bortset fra den antalmæssigt set ret betydningsløse gruppe på 10 forsøg i vintersæd, er der ikke nævneværdig forskel i merudbyttet for kornarterne ved tilførsel af 50 kg blåsten. Årsagen til det lavere udbytte og lidt højere merudbytte af blandsæd må formentlig søges i, at disse forsøg gennemgående er lagt på dårligere jord end forsøgene med byg og havre. Kun 2 af de 116 forsøg med blandsæd er anlagt på lerjord, imod 6 af 56 med havre og 107 af 506 med byg.

De her anførte forhold vedrørende kobbevirkningens afhængighed af den anvendte mængde blåsten samt afgrøde er udførligere behandlet og kommenteret i beretning om fællesforsøg i landbo- og husmandsforeningerne i Jylland 1954, 1955 og 1956, samt i de jydsk planteavlberetninger for et større materiale. Ligeledes findes også her alle oplysninger om de enkelte forsøg, der indgår i de udførte undersøgelser, hvorfor kun et sammendrag af resultaterne behøver at anføres her.

Forsøgene har afsløret kobbermangel i områder, hvor man ikke på forhånd havde ventet det, i enkelte tilfælde selv på lerjord. Iøvrigt har forsøgene bekræftet den almindelige opfattelse, at kobbermangel navnlig optræder på sortsandede jorder, humusjorder og almindelige sandjorder. Da fordelingen af analysetallene efter størrelse (se tabel 2, fig. 1) inden for de enkelte jordtyper ikke falder helt sammen med fordelingen af merudbyttetallene, må det antages, at der ved analysetallenes fortolkning skal tages hensyn til jordtypen.

I tabellerne 6—9 er forsøgene delt op efter jordtype og inden

Tabel 6  
Inddeling af forsøgene efter TCu, AspCu, KCu og merudbyttets størrelse  
115 forsøg på lerjord

TCu	Antal forsøg	Gns.		Variationen i merudbyttet pct. af forsøgene har givet hkg kærne				
		udbytte	merbytte	under 0	0-2.0	2.1-4.0	4.1-6.0	over 6.0
0—2.0.....	5	38.8	2.6	0	40	60	0	0
2.1—4.0.....	25	39.0	0.6	36	48	16	0	0
4.1—6.0.....	30	38.6	0.5	27	67	3	3	0
6.1—8.0.....	21	42.0	0.8	29	47	19	0	5
8.1—10.0.....	20	41.8	0.5	35	45	20	0	0
10.1—15.0.....	6	45.4	1.2	17	66	0	17	0
over 15.0.....	8	37.9	0.1	25	75	0	0	0
AspCu								
0—0.5.....	0	—	—	—	—	—	—	—
0.6—1.0.....	32	39.0	0.8	22	63	15	0	0
1.1—1.5.....	32	39.3	0.7	25	58	9	3	3
1.6—2.0.....	33	40.1	0.8	30	45	22	3	0
2.1—2.5.....	4	46.0	—0.2	50	50	0	0	0
over 2.5.....	14	43.3	0.1	36	57	7	0	0
KCu								
0—0.5.....	1	32.3	1.7	0	100	0	0	0
0.6—1.0.....	19	37.2	1.6	16	53	21	5	5
1.1—1.5.....	30	38.8	0.5	33	53	10	3	0
1.6—2.0.....	19	39.8	0.8	21	68	11	0	0
2.1—2.5.....	18	42.5	0.7	28	39	33	0	0
2.6—3.0.....	7	39.8	0.3	43	43	14	0	0
3.1—5.0.....	16	42.4	0	44	56	0	0	0
over 5.0.....	5	47.7	0.2	20	80	0	0	0
Gns., 115 forsøg.....		40.2	0.7	28	55	14	2	1

for hver jordtype tillige efter kobberindhold, bestemt efter de tre forskellige metoder. Ved opdelingen efter jordtype er kon-sulenternes angivelser benyttet; alle merudbyttetal angiver — i hkg kærne pr. ha — 1. års virkning efter tilførsel af 50 kg blåsten pr. ha.

Af tabellernes nederste linier fremgår såvel det gennemsnitlige udbytte som merudbytte for de fire jordtyper. Det bemærkes, at det gennemsnitlige udbytte af grundgødet er omtrent ens på almindelige sandjorder, sortsandede jorder og humusjorder, men ca. 30 pct. højere på lerjorderne. Det gennemsnitlige mer-

Tabel 7  
Inddeling af forsøgene efter TCu, AspCu, KCu og merudbyttets størrelse  
517 forsøg på sandjord

TCu	Antal forsøg	Gns.		Variationen i merudbyttet pct. af forsøgene har givet hkg kærne				
		ud-bytte	mer-bytte	under 0	0-2.0	2.1-4.0	4.1-6.0	over 6.0
0—2.0.....	32	25.7	2.9	9	58	9	6	18
2.1—4.0.....	174	29.4	1.2	23	47	24	5	1
4.1—6.0.....	158	31.9	0.9	25	55	13	6	1
6.1—8.0.....	61	28.9	0.8	30	52	13	3	2
8.1—10.0.....	45	28.7	0.4	31	60	7	2	0
10.1—15.0.....	23	32.8	0.4	39	53	0	4	4
over 15.0.....	24	33.2	0.5	34	58	4	4	0
AspCu								
0—0.5.....	17	23.4	2.9	6	52	24	0	18
0.6—1.0.....	166	28.6	1.5	23	43	22	9	3
1.1—1.5.....	156	30.8	0.8	28	55	11	5	1
1.6—2.0.....	95	31.6	0.8	24	57	16	1	2
2.1—2.5.....	22	28.0	0.6	27	59	14	0	0
over 2.5.....	62	33.2	0.3	34	61	3	2	0
KCu								
0—0.5.....	49	22.7	3.4	0	37	31	20	12
0.6—1.0.....	158	29.0	1.7	16	47	27	6	4
1.1—1.5.....	112	31.8	0.4	33	54	11	2	0
1.6—2.0.....	71	33.1	0.5	31	62	4	3	0
2.1—2.5.....	35	30.8	0.1	37	54	9	0	0
2.6—3.0.....	13	26.5	0.1	46	54	0	0	0
3.1—5.0.....	37	31.9	0.2	35	62	3	0	0
over 5.0.....	42	32.3	0.3	38	58	2	2	0
Gns., 517 forsøg.....		30.1	1.0	26	52	15	5	2



udbytte er derimod langt større på de sortsandede jorder og humusjorderne end på sand- og lerjorder. Omregnet til relativt merudbytte andrager dette på lerjord 1,7 pct., på almindelig sandjord 3,3 pct., på humusjord 6,2 pct. og på sortsandede jorder 16,7 pct. for de forsøg, der indgår i nærværende beretning. Endvidere fremgår af de nederste linier merudbyttetallenes procentiske fordeling for de fire jordtyper.

For lerjordernes vedkommende har kun ca. 3 pct. af forsøgene givet merudbytter på over 4 hkg kærne, medens 83 pct. af forsøgene enten har givet negativt merudbytte eller merudbytter

Tabel 8  
Inddeling af forsøgene efter TCu, AspCu, KCu og merudbyttets størrelse  
29 forsøg på humusjord

TCu	Antal forsøg	Gns.		Variationen i merudbyttet pct. af forsøgene har givet hkg kærne				
		udbytte	merbytte	under 0	0-2.0	2.1-4.0	4.1-6.0	over 6.0
0—2.0.....	4	26.0	1.7	0	50	50	0	0
2.1—4.0.....	9	29.8	2.7	11	56	22	0	11
4.1—6.0.....	6	31.7	0.3	33	67	0	0	0
6.1—8.0.....	3	34.9	2.6	0	33	33	34	0
8.1—10.0.....	4	34.0	1.9	0	50	50	0	0
10.1—15.0.....	1	37.2	7.5	0	0	0	0	100
over 15.0.....	2	24.4	-0.3	50	50	0	0	0
AspCu								
0—0.5.....	0	—	—	—	—	—	—	—
0.6—1.0.....	7	28.2	1.1	0	72	28	0	0
1.1—1.5.....	8	31.3	4.1	13	37	25	0	25
1.6—2.0.....	8	31.7	1.3	25	37	25	13	0
2.1—2.5.....	1	30.3	0.5	0	100	0	0	0
over 2.5.....	5	31.5	0.7	20	60	20	0	0
KCu								
0—0.5.....	3	23.0	5.3	0	67	0	0	33
0.6—1.0.....	7	28.2	1.9	14	58	14	0	14
1.1—1.5.....	4	29.5	1.7	0	75	25	0	0
1.6—2.0.....	5	38.4	1.2	0	60	40	0	0
2.1—2.5.....	2	31.0	2.1	50	0	0	50	0
2.6—3.0.....	1	27.7	2.8	0	0	100	0	0
3.1—5.0.....	5	28.7	0.6	40	20	40	0	0
over 5.0.....	2	39.7	0.3	0	100	0	0	0
Gns., 29 forsøg.....		30.7	1.9	14	52	24	3	7

på 0—2,0 hkg kærne. Omend langt den overvejende del af udslagene for forsøgsbehandlingen således må anses for tilfældige, er der alligevel en tydelig tendens til stigning i udbyttetalene og fald i merudbyttetalene ved grupperingen efter stigende kobberindhold. Denne tendens er mest udpræget ved grupperingen efter stigende KCu; specielt for udbyttetalenes, men også for merudbyttetalenes vedkommende viser denne analysemetode den tydeligste sammenhæng med markforsøgenes resultater.

Forsøgene på almindelige sandjorder udgør langt den talrigeste gruppe, der typemæssigt set rummer overgangsformer til ler-

Tabel 9  
Inddeling af forsøgene efter TCU, AspCu, KCu og merudbyttets størrelse  
27 forsøg på sortsandede jorder

TCu	Antal forsøg	Gns.		Variationen i merudbyttet pct. af forsøgene har givet hkg kærne				
		udbytte	merbytte	under 0	0-2.0	2.1-4.0	4.1-6.0	over 6.0
0—2.0.....	5	19.2	8.3	0	20	0	0	80
2.1—4.0.....	9	32.0	6.0	0	44	12	22	22
4.1—6.0.....	5	35.4	2.0	20	0	40	40	0
6.1—8.0.....	2	32.7	0.1	50	50	0	0	0
8.1—10.0.....	1	15.0	7.8	0	0	0	0	100
10.1—15.0.....	2	29.5	3.9	0	0	100	0	0
over 15.0.....	3	24.6	2.9	0	0	100	0	0
AspCu								
0—0.5.....	1	20.0	8.5	0	0	0	0	100
0.6—1.0.....	9	26.1	9.1	0	11	0	33	56
1.1—1.5.....	5	27.5	4.4	0	0	60	20	20
1.6—2.0.....	3	36.4	—0.8	33	67	0	0	0
2.1—2.5.....	0	—	—	—	—	—	—	—
over 2.5.....	9	30.2	2.5	11	33	45	11	0
KCu								
0—0.5.....	4	24.2	12.0	0	0	0	25	75
0.6—1.0.....	7	24.0	6.7	0	14	28	0	58
1.1—1.5.....	3	31.6	5.1	0	0	0	100	0
1.6—2.0.....	2	37.5	2.3	0	50	50	0	0
2.1—2.5.....	0	—	—	—	—	—	—	—
2.6—3.0.....	3	35.1	0.8	33	67	0	0	0
3.1—5.0.....	4	32.3	0.5	25	25	50	0	0
over 5.0.....	4	26.3	2.9	0	25	50	25	0
Gns., 27 forsøg.....		28.7	4.8	7	22	26	19	26

jorder på den ene side og til sortsandede jorder og humusjorder på den anden side. Det er derfor naturligt, at merudbyttets størrelse også indtager en mellemstilling. Ca. 7 pct. af forsøgene har givet merudbytter på over 4 hkg kærne, og 78 pct. af forsøgene på mindre end 2 hkg kærne. Også her viser KCu den bedste overensstemmelse med markforsøgenes resultater, såvel med hensyn til det gennemsnitlige merudbytte indenfor grupperne som til variationen i merudbyttet. Også de to andre analysemetoder viser god overensstemmelse med markforsøgenes resultater, idet de gennemsnitlige udbytletal stiger og de gennemsnitlige merudbytletal falder med stigende analysetal. Men betragter man tabellens sidste kolonner, der angiver variationen i merudbyttet inden for de enkelte grupper af analysetal, ses variationen her at være langt større, specielt for TCu. Der forekommer med andre ord langt flere tilfælde af uoverensstemmelse mellem analysetallene og markforsøgenes resultater. Årsagen hertil kan naturligvis først og fremmest være, at det kompleksopløselige kobber er et bedre mål for jordens evne til at kunne forsyne afgrøderne med kobber end det saltsyreopløselige eller mikrobiologisk bestemte. Men det forhold, at KCu kan bestemmes med langt større sikkerhed end de to andre udtryk for jordens indhold af kobber, spiller sikkert også ind.

Som nævnt er alle forsøg med tilførsel af kobber fra 1954, 1955 og 1956 medtaget, forsåvidt prøven indeholdt tilstrækkelig jord til kobberbestemmelse efter alle tre metoder. Dette var desværre ikke tilfældet i forholdsvis mange prøver fra sortsandede jorder og humusjorder, hvorfor disse to grupper kun er repræsenterede af et mindre antal forsøg. Dette er i høj grad beklageligt, da resultaterne tyder på, at KCu skal fortolkes på en anden måde i disse jordtyper end i ler- og sandjorder. Sammenhængen mellem analysetallene og markforsøgenes resultater er heller ikke så god for disse to jordtyper, men det må erindres, at antallet af forsøg i de enkelte grupper er meget små. Det fremgår af tabellerne, at TCu synes at svigte på disse to jordtyper, medens der er noget bedre sammenhæng mellem det mikrobiologisk bestemte kobber og markforsøgenes resultater. Også på disse to jordtyper har KCu dog vist sig mere velegnet til at udpege de kobbertrængende jorder, men resultaterne tyder på,

at først ved KCu over 3 kan man i praksis se bort fra tilførsel af blåsten. Der kræves imidlertid et betydelig større forsøgsmateriale med disse to jordtyper, før analysetallene kan kalibreres på tilfredsstillende måde.

De i tabellerne 6, 7, 8 og 9 anførte gennemsnitstal for udbytte af korn i forhold til KCu er udjævnede ved hjælp af hyperbelligningen (*Bondorff* 1938), der har formen

$$y = \frac{Ax}{B + x}$$

hvor y er udbyttet, x næringsstofmængden (her altså KCu), A og B konstanter. Udfra gennemsnitstallene for udbytte er følgende ligninger beregnede, idet der i ligningerne for lerjord, sortsandet jord og humusjord yderligere er indført en konstant, k (henholdsvis 29,8, 2,0 og 2,2), der angiver det udbytte, som man skulle få, hvis x, her KCu, fandtes lig 0.

$$\text{For lerjord: } y = 29.8 + \frac{17x}{1.2 + x}$$

$$\text{For sandjord: } y = \frac{37.85x}{0.257 + x}$$

$$\text{For sortsandet jord: } y = 2.0 + \frac{41.22x}{0.634 + x}$$

$$\text{For humusjord: } y = 2.2 + \frac{33.22x}{0.238 + x}$$

De af ligningerne beregnede kurver for de fire jordtyper er gengivet i fig. 2. I tabel 10 er anført de fundne og de beregnede udbytter.

Tabel 10. Fundne og beregnede udbytter

Lerjord			Sandjord			Humusjord			Sort sandjord		
KCu	udbytte		KCu	udbytte		KCu	udbytte		KCu	udbytte	
	fundet	beregnet		fundet	beregnet		fundet	beregnet		fundet	beregnet
0.40	32.3	34.1	0.41	22.7	23.3	0.37	23.0	22.4	0.45	24.2	19.2
0.84	37.3	36.8	0.80	29.0	28.6	0.86	28.2	28.2	0.81	24.0	25.1
1.35	38.3	38.8	1.32	31.8	31.7	1.30	29.5	30.3	1.30	31.6	29.7
1.82	39.8	39.9	1.79	33.1	33.1	1.76	38.4	31.4	1.70	37.5	32.0
2.14	42.5	40.7	2.37	30.8	34.1	2.35	31.0	32.3	—	—	—
2.70	39.8	41.6	2.79	26.5	34.7	3.00	27.7	32.9	2.80	35.1	35.6
4.12	42.4	42.9	3.70	31.9	35.4	3.66	28.7	33.5	4.08	32.3	37.6
19.44	47.7	45.8	14.90	32.3	37.2	9.05	39.7	34.5	7.73	26.3	39.6

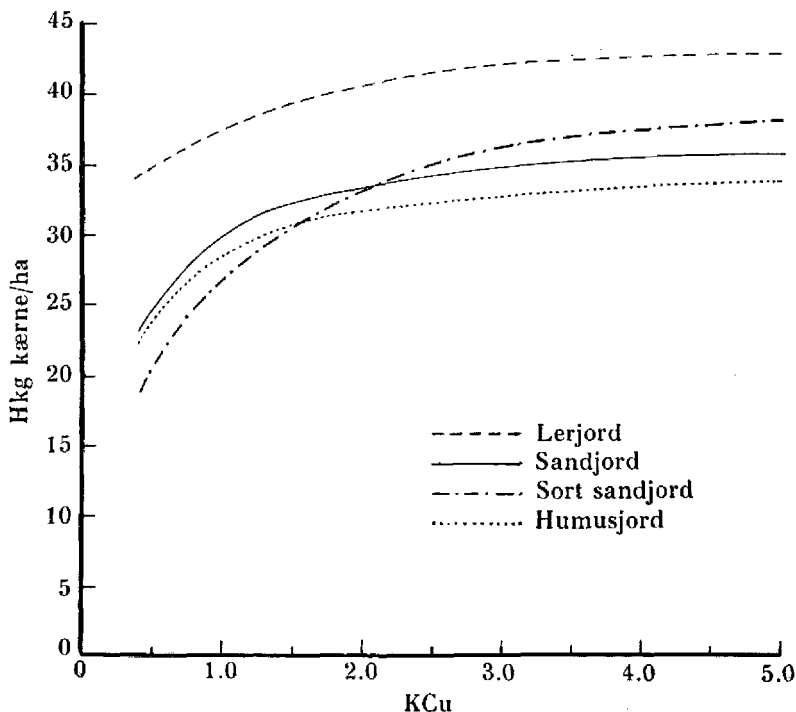


Fig. 2. Udbytte af korn i forhold til KCu

Ved bedømmelsen af udbytteligningernes evne til at gengive sammenhængen mellem udbytte og næringsstofmængde må det erindres, at grupperne med KCu fra 0,84 til 1,82 på lerjord og med KCu fra 0,41 til 1,79 på sandjord, omfatter det overvældende flertal af forsøgene, og når det fundne udbytte i visse tilfælde afviger stærkt fra det beregnede, er der kun få forsøg i gruppen.

Tilføres nu 50 kg blåsten pr. ha, skulle KCu teoretisk stige med 5 enheder under forudsætning af en jordvægt på 2500 tons pr. ha af de øverste 20 cm. Analyser af jordprøver, udtaget ved høst, fra 50 forsøg med stigende kobbermængder (25, 50 og 100 kg blåsten/ha) viser, at stigningen af KCu på almindelige sandjorder udgør ca. 90 pct. af den teoretiske værdi; på lerjorder ca. 85 pct., men på sortsandede jorder kun ca. 65 pct. I 10 almindelige sandjorder, hvor prøverne først udtoges ca. 1½ år efter kobbertilførslen, genfandtes ca. 68 pct. af det tilførte kobber ved bestemmelsen af KCu. Men set fra planternes synspunkt

er stigningen i KCu for tilførsel af 50 kg blåsten ikke nær så stor; det vil sige, kun en mindre del af den tilførte blåsten er kommet til virkning. Hvor stor denne del er på de forskellige jordtyper, kan beregnes ud fra udbyttekurverne og de fundne merudbyttetal. Som eksempel kan tages forsøgsresultater fra sandjord. Af udbyttekurverne fremgår, at der ved KCu 0,41 er opnået et udbytte på 23,3 hkg kærne pr. ha uden tilførsel af blåsten. Af tabel 7 ses, at 50 kg blåsten ved samme KCu har frembragt et gennemsnitligt merudbytte på 3,41 hkg kærne. Ad deres dette til det beregnede udbytte, skulle udbyttet — efter anvendelse af blåsten — altså være  $23,3 + 3,41 = 26,71$  hkg. Indsættes denne værdi i udbytteligningen for sandjord fås

$$26.71 = \frac{37.85 x}{0.257 + x}$$

Løses ligningen med hensyn til  $x$ , finder man det kobbertal, der svarer til udbyttet 26,71 hkg, nemlig 0,62. De 50 kg blåsten har virket, som om KCu var steget  $0,62 \div 0,41 = 0,21 = \Delta\text{Cu}$ . Effektiviteten af den tilførte blåsten er altså  $0,21 : 5 = 0,04$ , det vil sige, at kun 4 pct. af blåstenen er kommet til virkning. Værdierne af  $\Delta\text{Cu}$  for de øvrige punkter på udbyttekurven for sandjord fremgår af tabel 11. Beregningerne tyder på, at uanset kobbertallets størrelse virker 50 kg blåsten, som om KCu steg med 0,21 (gennemsnitsværdi).

Benyttes man denne værdi, skulle tallene for merudbytte ( $v$ ) følge ligningen

$$v = \frac{37.85 (x + 0.21)}{0.257 + x + 0.21} - \frac{37.85 x}{0.257 + x}$$

Denne beregningsmåde er kun anvendelig, når man kan regne med, at den forøgelse, som 50 kg blåsten fremkalder i kobbertallet — set fra planternes synspunkt — er uafhængig af dettes størrelse. Resultatet af beregningerne fremgår af tabel 12 og er vist som kurve i fig. 3. Sammenligner man de således beregnede merudbyttetal med de fundne, viser det sig muligt på basis af udbyttetal og laboratorieundersøgelser at beregne virkningen af 50 kg blåsten og nå til resultater, der stemmer ganske godt med de fundne merudbyttetal.

Tilsvarende beregninger som for sandjord er foretaget for de

øvrige tre jordtyper. Af tabel 11 ses, at den tilførte blåstens effektivitet også på lerjord synes at være uafhængig af kobbertallets størrelse.  $\Delta\text{Cu}$  samler sig om værdien 0,38; det vil sige virkningsgraden af tilført blåsten er ca. dobbelt så høj på lerjord som på sandjord. I humusjorder synes effektiviteten at stige, men i sortsandede jorder at falde med stigende kobbertal. For de to sidstnævnte jordtypers vedkommende er materialet ganske vist lille og værdierne noget uregelmæssige, men »gangen« i tallene er dog ret tydelig.

Tabel 11. Den til merudbytte svarende stigning af KCu ( $\Delta\text{Cu}$ )

Lerjord		Sandjord		Humusjord		Sort sand	
KCu	$\Delta\text{Cu}$	KCu	$\Delta\text{Cu}$	KCu	$\Delta\text{Cu}$	KCu	$\Delta\text{Cu}$
0.40	0.26	0.41	0.21	0.37	0.49	0.45	1.08
0.84	0.37	0.80	0.22	0.86	0.41	0.81	0.84
1.35	0.16	1.32	0.11	1.30	0.73	1.30	1.18
1.82	0.32	1.79	0.18	1.76	0.89	1.70	0.59
2.14	0.46	2.37	0.05	—	—	—	—
2.70	0.30	2.79	—	3.00	—	2.80	0.27
4.12	—	3.70	0.34	3.86	1.82	4.03	0.44
19.44	—	—	—	9.05	5.06	—	—

De fundne værdier for  $\Delta\text{Cu}$  er indsat i udbytteligningerne for de respektive jordtyper, hvorved følgende merudbytteligninger fremkommer.

$$\text{For lerjord: } v = 29.8 = \frac{17(x + 0.38)}{1.2 + x + 0.38} - 29.8 - \frac{17x}{1.2 + x}$$

$$\text{For humusjord: } v = 2.2 + \frac{33.22(x + 0.5x)}{0.238 + x + 0.5x} - 2.2 - \frac{33.22x}{0.238 + x}$$

$$\text{For sortsandet jord: } v = \frac{41.22(x + \Delta\text{Cu})}{0.634 + x + \Delta\text{Cu}} - \frac{41.22x}{0.634 + x}$$

Ved beregningerne er for humusjorderne antaget, at  $\Delta\text{Cu} = 0,5x$  og for sortsandede jorder er anvendt udjævnede værdier af  $\Delta\text{Cu}$  efter ligningen

$$\Delta\text{Cu} = \frac{1.457}{0.914 + x}$$

Tabel 12. Fundne og beregnede merudbytter

Lerjord merudbytte			Sandjord merudbytte			Humusjord merudbytte			Sort sand merudbytte		
KCu	fundet	be-regnet	KCu	fundet	be-regnet	KCu	fundet	be-regnet	KCu	fundet	be-regnet
0.40	1.70	2.45	0.41	3.41	3.49	0.37	5.80	3.00	0.45	11.95	11.97
0.84	1.55	1.54	0.80	1.65	1.57	0.86	1.94	2.01	0.81	6.61	6.70
1.35	0.45	1.03	1.32	0.38	0.72	1.30	1.65	1.52	1.30	5.13	3.44
1.82	0.80	0.75	1.79	0.47	0.44	1.76	1.22	1.20	1.70	2.25	2.16
2.14	0.78	0.62	2.37	0.11	0.27	2.35	(2.05)	0.95	—	—	—
2.70	0.33	0.46	2.79	0.12	0.21	3.00	(2.80)	0.77	2.80	0.57	0.77
4.12	0.02	0.25	3.70	0.19	0.12	3.86	0.62	0.62	4.03	0.48	0.32
19.44	0.20	0.02	14.90	0.29	0.01	9.05	0.30	0.28	7.73	(2.90)	0.13

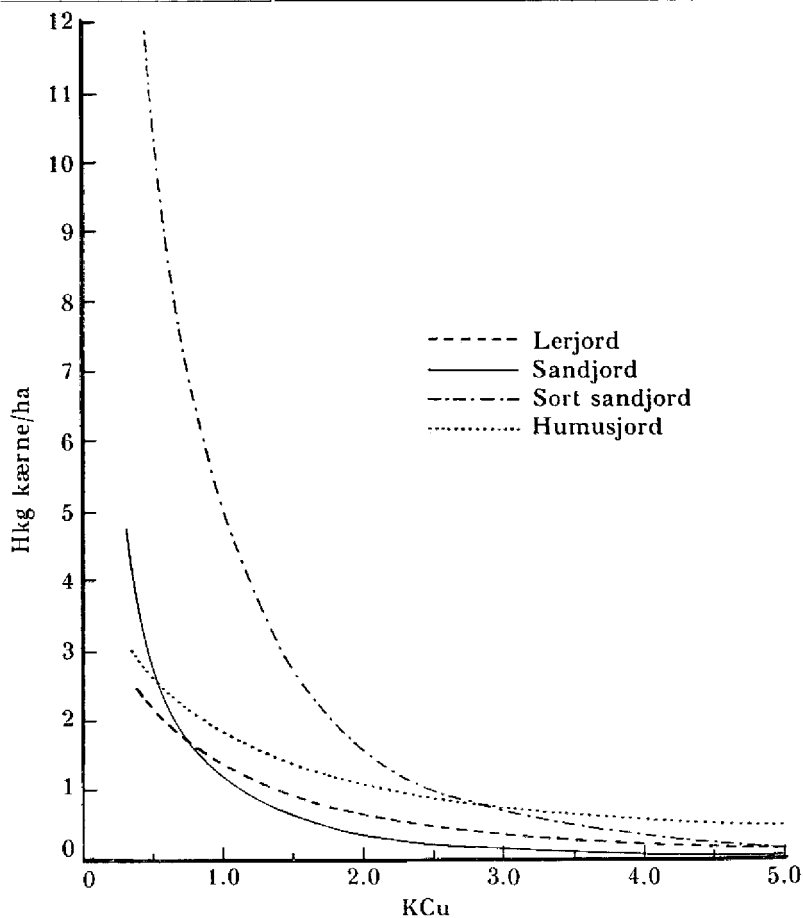


Fig. 3. Merudbytte efter 50 kg blåsten/ha i forhold til KCu



I tabel 12 er opført de fundne og de efter ovenstående ligninger beregnede merudbyttetal; sidstnævnte er vist som kurver i fig. 3.

Også for disse jordtypers vedkommende må der siges at være pæn overensstemmelse mellem de fundne og de beregnede værdier, specielt i betragtning af, at de fleste grupper kun rummer få forsøg.

For sandjord er sammenhængen mellem de fundne udbyttetal og resultaterne af henholdsvis TCu og AspCu tilstrækkelig god til, at udbyttekurver lader sig beregne. Sådanne beregninger er gennemført og viser, at  $\Delta$ Cu på sandjord også efter den mikrobiologiske metode er uafhængig af kobbertallets størrelse og samler sig om værdien 0,26. For TCu's vedkommende viser  $\Delta$ Cu jævnt stigende tendens med stigende kobbertal. Ud fra udbytte-ligningerne og værdierne for  $\Delta$ Cu er merudbytte-ligningerne beregnede som foran omtalt. Fra merudbyttekurverne, der beskriver sammenhængen mellem merudbyttet og jordens kobberindhold, bestemt ved hjælp af de tre forskellige analysemetoder, er beregnet middelfvigelse efter formlen

$$m = \pm \sqrt{\frac{\sum dx^2}{F.V.}}$$

hvor  $\sum dx^2$  repræsenterer summen af de kvadrerede afvigelser mellem de fundne og de beregnede merudbyttetal, medens F. V. angiver antallet af frie værdier. Endvidere er beregnet middelfvigelse fra gennemsnitstallet for merudbytte (1,01 hkg kærne). Resultaterne er anført nedenstående.

m, beregnet fra gns. merudbytte . . . . .	± 2.13
» » » merudbyttekurven for TCu . . . . .	± 2.04
» » » » » AspCu . . . . .	± 2.03
» » » » » KCu . . . . .	± 1.87

Skønt forskellene er små, understreger tallene dog det tidligere anførte vedrørende korrelationen mellem de forskellige analysemetoder og markforsøgenes resultater.

### Kobberets bindingsforhold i jorden

Selvom materialet er for spinkelt til, at endelige konklusioner kan drages, tyder de anførte beregninger dog på, at lerjorderne indeholder betydelige kobbermængder, der kan udnyttes af plan-

terne, men som ikke kan ekstraheres med komplexon, ialtfald ved den anvendte metodik. På lerjorder er ved lave KCu-værdier opnået et ret anseligt udbytte og det er vanskeligt — ud fra de foreliggende resultater — at forestille sig, at udbyttet skulle dale til nul, hvis KCu blev nul. I sandjord, humusjord og sort-sandet jord synes komplexon derimod, ved den anvendte metodik, at kunne ekstrahere alt det kobber, planterne kan udnytte ( $k =$  eller meget nær nul). Er KCu nul i disse jorder fås intet udbytte.

For lerjord og sandjord synes den apparente ændring af KCu at være uafhængig af jordens oprindelige kobberindhold. Ændringen er større i lerjord end i sandjord. I humusjorder synes den apparente ændring at stige, men i sortsandede jorder at falde med stigende kobberindhold.

De ændringer i KCu, som en vis mængde blåsten fremkalder, bedømt udfra afgrødernes reaktion («synspunkt»), er ikke lette at forklare. Forskellige forhold spiller sikkert ind. At afgrøderne bedømmer ændringen af KCu til at være mindre end den ændring, som en blåstenstilførsel teoretisk kan bevirke, kan skyldes, at det tilførte kobber fastlægges i forbindelser, fra hvilke planterne ikke kan skaffe sig kobber. Men den måde, markforsøgene udføres på, kan også spille en rolle. Ifølge svenske undersøgelser (*Steenberg, Ekman, Lundblad og Svanberg 1949*), absorberes alt det tilførte kobber i et tyndt overfladelag af jorden; selv efter 6—7 års forløb kunne der ikke påvises ændringer i jordens kobberindhold under 5 cm dybde. I de forsøg, der indgår i nærværende materiale, er tilførslen af blåsten først sket 2—3 uger efter kornets såning, og det tilførte kobber er ikke nedbragt. Hvis blåsten var tilført inden såningen og nedbragt, var det muligt, planterødderne var kommet i kontakt med større mængder, havde kunnet optage mere og »fundet« en større stigning af KCu. Der vil være anledning til forsøgsmæssigt at prøve, hvorledes virkningen af blåsten er ved forskellige udbringningsmåder.

Men hertil kommer, at komplexonopløseligt kobber sikkert omfatter kobberforbindelser med meget forskellig opløselighed i jordvædsken, fra det vandopløselige kobber i blåsten til kobberhumusforbindelser, hvis kompleksitetskonstant er mindre end

kobber-komplexonforbindelsers.  $KCu$  må antages at omfatte en række kobberforbindelser, fra hvilke afgrøderne ikke med samme lethed kan optage kobber, og  $KCu$  angiver derfor en gennemsnitsværdi for den lethed, hvormed afgrøderne kan skaffe sig kobber. Dannes efter en tilførsel af vandopløselige kobberforbindelser kun relativt letopløselige kobberforbindelser, vil afgrøderne kunne optage forholdsvis mere kobber fra disse forbindelser end fra blandingen af de — letopløselige plus tungere opløselige forbindelser — som  $KCu$  var udtryk for, og de vil derfor reagere, som om  $KCu$  var steget uforholdsmæssigt meget. Hvis man som gældende for sandjord tør antage, (1) at de kompleksopløselige kobberforbindelser udtrykt gennem  $KCu$  er de samme uanset dettes størrelse, og (2) at fastlægningen af tilført vandopløseligt kobber og (3) de nydannede kobberforbindelsers art er uafhængig af  $KCu$ , vil  $\Delta Cu$  forblive konstant. Hvis jorden med stigende kobbertal fastlægger mindre og mindre af det tilførte kobber eller der dannes stadig mere letopløselige forbindelser, vil  $\Delta Cu$  stige med stigende kobbertal, således som det er tilfældet i humusjord.

At  $\Delta Cu$  er større i lerjord end i sandjord, kan bero på to ting. Årsagen kan være, at sandjord kan fastlægge en større procentdel af det tilførte kobber end lerjord, men kan også være den, at lerjordernes kobberforbindelser er tungere opløselige end sandjordens. Når der tilføres letopløseligt kobber, vil planterne på lerjord derfor reagere, som om kobbertallet var steget relativt meget. At  $\Delta Cu$  falder med stigende kobbertal i de sortsandede jorder, kan analogt forklares ved, at ved lave kobbertal på denne jordtype indgår meget tungt opløselige kobberforbindelser i kobbertallet. En tilførsel af letopløseligt kobber virker derfor som en stor ændring af kobbertallet. Ved højere kobbertal er jordens kobberforbindelser lettere opløselige, og en given tilførsel af letopløselige forbindelser »føles« derfor ikke som en tilsvarende forøgelse af kobbertallet. Det kan altså tyde på, at de sortsandede jorder kan fastlægge kobber meget hårdt ved lave kobbertal, hvilket stemmer med erfaringerne fra praksis.

Der er næppe grund til at antage, at kobberforbindelserne i humusjorder skulle være desto tungere opløselige, jo højere kobbertallet er; den omstændighed, at  $\Delta Cu$  øges med stigende kob-

bertal, må her sikkert tilskrives, at det tilførte kobber fastlægges i stedse mere letopløselige forbindelser. Men begge forhold, tungt opløselige forbindelser ved lave kobbertal og lettere fastlægning ved højere kobbertal, kan tænkes at forekomme samtidig. I så fald kompenserer de to forhold hinanden i sand- og lerjorderne, hvor  $\Delta\text{Cu}$  synes konstant. I mosejorderne overvejer den lettere fastlægning ved stigende kobbertal, i de sortsandede jorder er det den hårde fastlægning, der dominerer.

Hele spørgsmålet kan imidlertid kun følges op gennem omfattende kemiske analyser af jordprøver fra forsøg med sikkert udslag for tilførsel af kobber.

## OVERSIGT

I 688 jordprøver, udtagne ved anlæg af markforsøg med kobbergødsning til kornsorter 1954—56, bestemtes kobberindholdet efter tre forskellige metoder: (1) den hidtil anvendte kemiske metode til bestemmelse af kobbertallet  $\text{TCu}$ , (2) en biologisk metode, hvis resultater betegnes  $\text{AspCu}$ , samt (3) en ny metode med anvendelse af en kompleksdanner som ekstraktionsmiddel. Den sidste metodes resultater angives i mg Cu pr. kg jord, og det nye kobbertal betegnes  $\text{KCu}$  (komplexonopløseligt kobber). Metoden til bestemmelse af  $\text{KCu}$  er enklere og giver bedre reproducerbare resultater end de to andre metoder. Værdierne af  $\text{KCu}$  ændredes ikke væsentligt ved opbevaring af prøverne indtil 4 måneder i fugtig eller lufttør tilstand, medens værdierne af  $\text{TCu}$  viste nogen tendens til at aftage efter 4 måneders lagring.

Alle tre metoder giver stort set den samme fordeling af analysetallene i lerjord og sandjord. I begge jordtyper repræsenteredes de største grupper ved  $\text{TCu}$  4—6,  $\text{AspCu}$  1,2—1,6 og  $\text{KCu}$  0,6—1,5. De mindre talrige sortsand- og humusjorder udviser ingen karakteristisk fordeling. Det må erindres, at prøverne for en væsentlig del stammede fra arealer, hvor der på forhånd kunne ventes kobbermangel.

Mellem jordens humus- og kobberindhold fandtes ingen korrelation; nogen sammenhæng mellem reaktionstal, fosforsyretil og kobberindhold synes heller ikke at findes.

I jorder med  $\text{KCu} < 1,0$  stiger det gennemsnitlige merudbytte med stigende kobbertilførsel, som derimod i kobberrigere jorder

viser en svag tendens til at forårsage nedgang i merudbyttet. Bortset fra ganske enkelte tilfælde har 50 kg blåsten pr. ha dog været tilstrækkeligt til at ophæve kobbermangelen.

På lerjorder og sandjorder viser markforsøgenes resultater god overensstemmelse med jordens kobberindhold efter alle tre analysemetoder, idet de gennemsnitlige udbyttetal stiger og de gennemsnitlige merudbyttetal falder med stigende analysetal. Af variationen i merudbytte indenfor de forskellige grupper fremgår dog, at uoverensstemmelser mellem analysernes og markforsøgenes resultater er betydelig hyppigere for TCu og mikrobiologisk bestemt kobber end for KCu.

Forsøgene på humusjorder og sortsandede jorder er ret fåtallige, og sammenhængen mellem kobberbestemmelser og markforsøg er her mindre tydelig. TCu-bestemmelserne synes at svigte, og det samme gælder i nogen grad de mikrobiologiske bestemmelser, medens KCu-bestemmelserne også på disse jordtyper har vist sig bedst egnet til at udpege kobbertrængende jorder.

Da KCu således har vist den bedste korrelation med markforsøgenes resultater, er Statens Planteavlslaboratorium fra 1. april 1957 gået over til at benytte denne metode til bestemmelse af kobbertal. De hidtil foreliggende forsøg viser, at tilførsel af blåsten på lerjorder og almindelige sandjorder som oftest er urentabel, når KCu er over 1,0, medens man på humus- og sortsandede jorder skal have et kobbertal over 3,0, før man i praksis tør se bort fra anvendelse af blåsten — eller andre kobbergødninger.

Gennemsnitstallene for udbytte i forhold til KCu på de forskellige jordtyper udjævnedes ved hjælp af hyperbellingningen, og størrelsen  $\Delta Cu$ , der udtrykker den til merudbyttet svarende stigning i KCu, beregnedes ud fra de fremkomne kurver og de fundne merudbyttetal. I de grupper, der omfatter det overvejende antal forsøg, findes der en god overensstemmelse mellem de beregnede udbytte- og merudbyttetal; hyperbellingningen gengiver med andre ord sammenhængen mellem udbytte og næringsstofmængde på tilfredsstillende måde ved almindelige markforsøg.

Beregningerne giver endvidere visse oplysninger om kobberets bindingsforhold i jorden; resultaterne tyder på, at lerjorderne indeholder betydelige mængder kobber, der ikke kan ekstraheres

med komplexon ved den anvendte metodik, men kan udnyttes af planterne. Fra sandjord, humusjord og sortsandet jord synes komplexon at kunne ekstrahere alt det kobber, som planterne kan udnytte.

I lerjord og sandjord synes den tilførte blåstens effektivitet, udtrykt ved  $\Delta\text{Cu}$ , at være uafhængig af kobbertallet. I humusjorder synes effektiviteten at stige og i sortsandede jorder at falde med stigende kobbertal.

Værdierne af  $\Delta\text{Cu}$  er større i lerjord end i sandjord, hvilket tyder på, at lerjordens kobberforbindelser er tungere opløselige end sandjordens. I sortsandede jorder bindes kobber tilsyneladende meget hårdt ved lave kobbertal, i humusjorder derimod sandsynligvis i stedse letopløseligere forbindelser. Begge forhold: tungt opløselige forbindelser ved lave og lettere opløselige ved højere kobbertal, vil dog sandsynligvis kunne forekomme samtidig og kompensere hinanden, så at der som i lerjord og almindelig sandjord resulterer et konstant  $\Delta\text{Cu}$ . En nærmere udredning af kobberets bindingsforhold vil imidlertid kræve indgående kemiske analyser af jord fra forsøg med sikre udslag for kobbergødskning på forskellige jordtyper. Sådanne analyser må blandt andet indbefatte bestemmelser af jordens totale kobberindhold samt fraktionering af kobberforbindelserne, ligesom også humusstoffernes natur må undersøges.

## SUMMARY

### *Copper determinations in soils from field experiments with copper fertilizers*

Copper was determined in 688 soil samples derived from field experiments where copper fertilizers were applied to cereals. Three methods were compared: (1) extraction with hydrochloric acid at pH 2.0, (2) bio-assay with *Aspergillus niger*, and (3) extraction with disodium ethylenediaminetetra-acetate (Complexone III). In methods (1) and (3) copper was determined colorimetrically as the diethyldithiocarbamate complex. The results of method (1), the previous routine method of this laboratory, are expressed in units of the »copper index«  $\text{TCu}$  (1 m.e.g. Cu per 625 kg soil = 0.05 p.p.m.), and those of methods (2) and (3) in p.p.m. Cu. The complexone method (3) was found to be simpler and to yield better reproducible results than the two first.

All three methods showed grossly the same distribution of the ana-

lytical figures from loam and sand soils where the largest groups were represented by the following copper contents:

Hydrochloric acid extraction (1) . . . . .	0.2—0.3 p.p.m. (TCu 4—6)
Bio-assay (2) . . . . .	1.2—1.6 »
Complexone extraction (3) . . . . .	0.6—1.5 »

The less numerous samples from black sand and humus soils showed no characteristic distribution. It must be noted that the samples were largely derived from soil areas likely to be deficient in copper. No correlation was found between humus and copper contents, but there was some indication that the lowest contents of complexone-Cu coincided with comparatively low soil pH and low phosphate content.

Crops in soil with less than 1 p.p.m. complexone-Cu showed increasing positive responses to increasing dressings of 25 to 100 kg/ha copper sulphate which on the other hand tended to decrease the excess yield in soils of higher copper content. Apart from exceptional cases, 50 kg/ha copper sulphate was sufficient to remedy the copper deficiency.

Results of field experiments in loam and sand soils showed a good agreement with the soil copper contents as determined by all three methods: the average total yields increased and the average excess yields decreased with increasing copper content. The variations in excess yield within the different groups showed that disagreement between the results of analyses and of field experiments was least frequent in the case of complexone-Cu.

Experiments in black sand and humus soils were comparatively few, and the correlation between copper determinations and field experiments was less obvious, but also in these soils the complexone-method seemed to give the best index of copper deficiency, while the hydrochloric acid method (TCu) failed, and the bio-assay was only moderately successful. It may be assumed that copper sulfate will only very rarely produce any effect in loam and normal sand soils with more than 1 p.p.m. complexone-Cu. The comparatively few experiments from black sand and humus soils suggest that only at complexone-Cu contents of 3 p.p.m. or higher may the use of copper fertilizers be practically disregarded.

The average crop yields in relation to complexone-Cu content in different soil types could be equalized through the hyperbolic function  $y = Ax/B + x$  (Bondorff 1938), where  $y$  denotes crop yield,  $x$  quantity of plant nutrient (Cu),  $A$  and  $B$  constants. Calculation of the quantity of Cu, which expresses the increase in complexone-Cu corresponding to a given excess yield, showed a good agreement between observed and calculated excess yields in the groups comprising the majority of the experiments. The hyperbolic function thus adequately expresses the correlation between crop yield and plant nutrient.

Loam soils appear to contain appreciable amounts of copper available to plants, but not extractable with complexone which on the other hand removes all plant-available copper from humus, black sand and normal sand soils.

The effectiveness of applied copper sulphate, as expressed by the figure  $\Delta\text{Cu}$ , appears to be independent of the copper content in loam and sand soils, but in humus soils it tends to increase and in black sand soils to decrease with increasing copper content. The values of  $\Delta\text{Cu}$  are higher in loam than in sand soils, which suggests a lower solubility of the copper compounds in the former type of soil. Added copper is apparently fixed very firmly in black soils of low copper content, while in humus soils it appears to become increasingly soluble with increasing copper content. Closer information on copper fixation must await detailed chemical analyses of soils from experiments showing definite responses to copper fertilizers in soils of different types.

The complexone method, which has shown the best correlation with the results of field experiments, has since April 1st, 1957, been used at this laboratory for routine determination of soil copper for advisory purposes. Its results are expressed by the symbol  $\text{KCu}$ , one unit of which equals 1 p.p.m. of complexone-soluble copper in air-dry soil.

#### LIT T E R A T U R H E N V I S N I N G E R

- Acock, A. M.*, 1941. — An examination of Mulder's rapid biological method for estimating the amount of available copper in soils. — *Journal of the Council for Scientific and Industrial Research (Melbourne)*, 14, 288—300.
- Boken, E.*, 1951 — *Kobberundersøgelser i jyske jorder.* — *Nordisk Jordbrugsforskning*, 1951, 292—297.
- Bondorff, K. A.*, 1938. — *Forelæsninger over Landbrugets Jorddyrkning*, 1. & 2. del, (Kandrup & Wunsch, København).
- Bondorff, K. A.*, 1946. — *Om Humusbestemmelser i Jord.* — *Tidsskrift for Planteavl*, 50, 138—149.
- Bortels, H.*, 1927. — *Über die Bedeutung von Eisen, Zink und Kupfer für Mikroorganismen (unter besonderer Berücksichtigung von *Aspergillus niger*).* — *Biochemische Zeitschrift*, 182, 310—358.
- Cheng, K. L.*, og *Bray, R. H.*, 1953 — Two specific methods of determining copper in soil and plant material. — *Analytical Chemistry*, 25, 655—659.
- Dam Kofoed, A.*, og *Olesen, Johs.*, 1954, 1955 og 1956. — *Beretning om Planteavlssarbejdet i Landboforeningerne i Jylland.*
- Forchhammer, J. G.*, 1854. — *Metallerne i Planternes Aske.* — *Beretning om den femte danske Landmandsforsamling, 1854*, 143—154, (Bianco Luno, København).
- Gerretsen, F. C.*, 1952. — Some aspects of the microbiological determination of magnesium, zinc, copper and boron. — *International Soil Science Society Meeting (Dublin)*, 1, 151—162.



- Henriksen, Aage*, 1956. — Chemical and biological determination of copper in soil. — *Nature* 178, 499—500.
- Hudig, J.*, og *Meijer, C.*, 1925. — Kopersulfat als vermoedelijk bestrijdingsmiddel tegen de ontginningsziekte. — Mededelingen van de Rijkslandbouwproefstation te Groningen, Nr. 19.
- Meissner, W.*, 1816. — Versuche über den Kupfer-Gehalt einiger Pflanzenaschen. — *Journal für Chemie and Physik*, 17, 340—463.
- Mortensen, M. L.*, *Rostrup, Sofie*, og *Kølpin Ravn, F.*, 1911. — Oversigt over Landbrugsplanternes Sygdomme i 1910. — *Tidsskrift for Landbrugets Planteavl*, 18, 317—350.
- Mulder, E. G.*, 1938. — Over de betekenissen van koper voor de groei van planten en micro-organismen, in het bijzonder een onderzoek naar de oorzaak der ontginningsziekte (Thesis, Wageningen).
- Nicholas, D. J. D.*, og *Fielding, A. H.*, 1951. — The use of *Aspergillus niger* (M) for the determination of magnesium, zinc, copper and molybdenum available in soils to crop plants. — *Journal of Horticultural Science*, 26, 125—147.
- Sommer, A. L.*, 1931. — Copper as an essential for plant growth. — *Plant Physiology*, 6, 339.
- Stapp, C.*, og *Wetter, C.*, 1953. — Beiträge zum quantitativen mikrobiologischen Nachweis von Magnesium, Zink, Eisen, Molybdän und Kupfer im Boden. — *Landwirtschaftliche Forschung*, 5, 167—180.
- Starkey, R. L.*, 1955. — Relation of micronutrients to development of microorganisms. — *Soil Science*, 79, 1—14.
- Steenberg, M.*, *Ekman, P.*, *Lundblad, K.*, og *Svanberg, O.*, 1949. — Om kopparhalt i jord och vegetation och resultat av fleråriga gödslingsförsök i koppar. Meddelande från Kungl. Lantbruksakademiens Vetenskapsavdelning Nr. 4.
- Steenbjerg, F.*, 1940. — Kobber i Jord og Kulturplanter. Med særligt Henblik paa Gulspidsyge. — *Tidsskrift for Planteavl*, 45, 259—368.
- Steenbjerg, F.*, og *Boken, E.*, 1949. — Kobber i Jord og Kulturplanter III. Kobberindhold og Kobbermangel i jyske Jordtyper. — *Tidsskrift for Planteavl*, 52, 375—459.