

Kobber i Jord og Kulturplanter II.

Undersøgelser over Kobbermineralers Gødningsværdi.

Af F. Steenbjerg.

Nærværende Afhandling redegør for Undersøgelser over forskellige Kobbermineralers Gødningsværdi. Undersøgelserne er udført i Aarene 1937 til 1941. Karforsøgene er gennemført ved Karforsøgsstationen paa *Den kgl. Veterinær- og Landbohøjskoles* Afdeling for Landbrugets Jorddyrkning, medens de kemiske Analyser er udført ved den jordbundskemiske Afdeling paa *Statens Planteavlslaboratorium* i Kgs. Lyngby.

Indhold.

	Side
Indledning	558
1. De anvendte Kobbermineraler	559
a. Mineralogisk Analyse	560
b. Kemiske og fysiske Variationer	562
c. Kemisk Analyse	563
d. Finhedsanalyse	564
2. Almindelige Oplysninger om Forsøgene	566
a. Orienterende Forsøg i 1937 og 1938	567
1. Forsøgsplaner	567
2. Journaler	567
b. Forsøgene 1939—41	568
1. Forsøgsplaner	568
2. Journaler	569
c. Jordbundsanalyser	570
3. Kobbervirkningen maalt ved Merudbyttet	573
a. Forsøget i 1937	573
b. Forsøgene 1939—41	575
4. Den optagne Kobbermængde og Stofproduktionen	583
5. Kobbermineralernes Overflade og Værdiforhold	591
Oversigt	595
English Summary	597
Litteratur	598

Indledning.

De Undersøgelser, der omtales i det følgende, har været udført med rene eller praktisk taget rene Kobbermineraller, samt — til Orientering — med andre tungt opløselige Kobberforbindelser fremstillet ad teknisk Vej. Saadanne Undersøgelser med definerede, tungtopløselige Kobberforbindelser er saa vidt vides kun udført af *Zenyuk* (1 a)¹⁾, som i 1933—34 prøvede Kobberilte og Mineralet Malakit. Fra den sidste halve Snes Aar foreligger desuden enkelte Undersøgelser over kobberholdige Affaldsprodukters Gødningsværdi, og i et tidligere Arbejde (1) er de indtil 1938 foreliggende Undersøgelser af denne Art omtalt. Særlig i Tyskland har man i Aarene efter 1938 fortsat dette Arbejde (2), (3), (4) og (5).

I disse Affaldsprodukter findes Kobberet bundet paa forskellig Maade, i nogle Tilfælde som mineralske Sulfider, som Regel Kobberkis, i andre Tilfælde maa Kobberet være bundet paa helt anden Maade f. Eks. i Svovlkisaske (6), hvor det findes dels som tungtopløselige Forbindelser, antagelig Ilter, dels i vandopløselig Form. Affaldsprodukternes Kobberindhold er meget lavt; hyppigt ligger Indholdet fra 0.2 til 1 pCt., i sjældnere Tilfælde fra 1 til 2 pCt. eller mere. Man har iøvrigt udelukkende været interesseret i at bestemme dette totale Kobberindhold, medens det ikke i noget Tilfælde er forsøgt at bestemme nøjagtigt hvilke Kobbermineraller eller Kobberforbindelser, der forelaa.

Hovedsynspunktet ved de hidtil foreliggende Undersøgelser — ogsaa *Zenyuks* — har i Virkeligheden været, at det gjaldt om at udnytte ogsaa de smaa Kobbermængder, der fandtes i kobberholdige Affaldsstoffer. Tanken med denne Undersøgelse var derimod, som tidligere betonet (1), at maale Virkningen af de rene Kobbermineraller, idet det maatte antages, at Jordens Binding af det saaledes tilførte meget tungtopløselige Kobber forhaledes, hvorved det for Planterne nødvendige Kobber i Hovedsagen kunde optages direkte fra de tilførte Kobbermineraller. Altsaa et Forsøg paa en delvis Udskyden af Jorden som Mellemled mellem Planterne og de tilførte Gødningsstoffer. De her beskrevne Undersøgelser er saaledes i deres Grundtanke og Anlæg uafhængige af de udenlandske Undersøgelser.

Ved en Bestemmelse af det enkelte Kobberminerals Gødningsværdi er det for at undgaa eventuelle Virkninger af Følgestoffer nødvendigt, at Mineralet anvendes i ren eller praktisk

¹⁾ Tallene i Parentes henviser til Litteraturfortegnelsen Side 598.

talt ren Tilstand. For de kobberholdige Affaldsprodukter kan dette Krav ikke opfyldes, fordi de enkelte Gødninger af denne Art ofte indeholder forskellige Kobbermineraller eller Kobberforbindelser, hvis Finhed det desuden kan være vanskeligt at bestemme. Hertil kommer yderligere, at Indholdet af andre Plantenæringsstoffer kan være betydeligt. Det er med andre Ord umuligt at bestemme de enkelte Kobberforbindelsers Gødningsværdi i saadanne Blandinger. Bortset herfra taler imidlertid rent praktiske Forhold mod en mere indgaaende Afprøvning af kobberholdige Affaldsprodukter, fordi deres Anvendelse altid under normale Forhold maa blive stærkt begrænset grundet paa, at det lave Kobberindhold belaster saadanne Gødninger med store Transportomkostninger. Derimod skulde der, som tidligere anført (7), være Mulighed for en Anvendelse af Kobbermalme, naar Kobberminerallerne heri ved Flotering koncentrerer saaledes, at Kobberindholdet kommer til at ligge omkring 20 til 40 pCt.

De forelagte Undersøgelser, der blev udført som Karforsøg, begyndte i 1937, og deres Formaal var først og fremmest at afgøre, om Kobbermineraller i det hele taget kunde benyttes som Kobbergødning, og i bekræftende Fald da i Hovedtræk at fastlægge de Betingelser, hvorunder de økonomisk vigtige Kobbermineraller skulde anvendes.

Paa Grund af den betydelige Forskel der fandtes paa de forskellige Mineralers Virkning, kunde deres Værdi i Forhold til Kobbersulfat nemt vurderes; men det maa fremhæves, at under de givne Forhold var en nøjagtig Bestemmelse af Værdiforholdene ikke tilsigtet og heller ikke paakrævet, idet saadanne Bestemmelser i sidste Instans maa foregaa i Marken. Hovedformaalet med de udførte Karforsøg var derimod som nævnt først og fremmest at indkredse det mulige, og paa dette Grundlag afgøre, hvilke af de økonomisk vigtige Kobbermineraller der var mest anvendelige, samt desuden bestemme Størrelsesordenen af den Finhedsgrad, hvori de skulde anvendes ved paafølgende Markforsøg.

Undersøgelserne udførtes dels paa Grundlag af Udbyttebestemmelserne af Kærne og Halm, dels paa Grundlag af Analyser af Kærnenes og Halmens Kobberindhold.

1. De anvendte Kobbermineraller.

Hvis de indvundne Resultater skulde have direkte Betydning for Jordbruget, maatte Undersøgelsen gennemføres med de

mest almindelige Kobbermineraller, d. v. s. de Kobbermineraller, der forekommer eller brydes i størst Mængde, og altsaa har stor økonomisk Betydning. Desuden vilde det selvfølgelig være en Fordel, hvis de prøvede Mineraller fandtes i Nordeuropa og efter eventuel Flotering kunde fremskaffes som en Malm med et nogenlunde højt Kobberindhold. At Mineralet eller Minerallerne maatte forekomme i Nordeuropa var ønskeligt, men ikke noget uomgængeligt Krav, eftersom det var muligt, ja i høj Grad sandsynligt, at de floterede Kobbermalme med højt Kobberindhold, saakaldte Kobberkoncentrater, vilde kunne taale betydelige Transportomkostninger og endda være meget billigere som Gødning end Kobbersulfat.

Paa Grundlag af disse Overvejelser rekvireredes fra Dr. F. Krantz, Rheinisches Mineralien Kontor, Bonn a. Rh., følgende Kobbermineraller:

1. Kobberkis eller Chalcopyrit. Formel: CuFeS_2 .
2. Broget Kobbermalm eller Bornit. Formler: Cu_3FeS_3 el. Cu_3FeS_4 .
- 2a. Kobbergians eller Chalcocit. Formel: Cu_2S .
3. Malakit. Formel: $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$.
4. Rød Kobbermalm eller Cuprit. Formel: Cu_2O .

For Bornit angives flere Formler for den kemiske Sammensætning; den sidst anførte Formel — Cu_3FeS_4 — benyttes nu hyppigst.

Kobberminerallerne fremkom i ret store Stykker, som ved Knusning og efterfølgende omhyggelig Sigtning deltes i to tydeligt adskilte Størrelsesfraktioner. Den ene af disse Fraktioner, der i det følgende benævnes II, var meget grov, idet Kornstørrelsen bestemt ved Sigtning med rundhullede Sigter, laa mellem 1 og 2 mm. Den anden mere findelte Fraktions Kornstørrelse blev bestemt ved Hjælp af en særlig Metodik, som er kort beskrevet i Afsnit d. Denne sidste Størrelsesfraktion benævnes i det følgende I.

a. Mineralogisk Analyse.

Ved en orienterende, kemisk Analyse af Kobberindholdet i Minerallerne, en Analyse, der udførtes kolorimetrisk, viste det sig, at Kobberindholdet i alle Tilfælde var lavere end det, der kunde beregnes i Henhold til de anførte Formler, særlig i Kobberkis var Indholdet meget lavere. Ved derpaa at undersøge de to Kornstørrelsesfraktioner med Lup kunde det tydeligt ses, at netop Kobberkis indeholdt betydelige Mængder af et

andet Mineral. Det var herefter ønskeligt, at de anvendte Mineraler underkastedes en mineralogisk Analyse. Magister *Richard Bøgvad* paatog sig med stor Elskværdighed at udføre en saadan Analyse.¹⁾ For de tre Mineralers Vedkommende udførtes Analysen med Fraktion I; ved Analyseringen af Bornit med Kobberglans benyttedes begge Fraktioner I og II. Nedenfor anføres den mineralogiske Analyses Resultater:

Kobberkis — Chalcopyrit. CuFeS_2 .

Kobberkis	ca. 58 pCt.
Jernspat	- 41 pCt.
Kvarts	- 1 pCt.

Broget Kobbermalm — Bornit med Kobberglans — Chalcocit.

Bornit. Cu_5FeS_4 . Kobberglans Cu_2S .

Opake Kobberminerale væsentligst bestaaende af Bornit med Kobberglans med lidt Kobberkis samt Spor af Kobberindigo (CuS):

	ca. 97.6 pCt.
Kvarts	- 2.4 pCt.
Jern: 9.3 pCt. i Henhold til kemisk Analyse ²⁾ .	

Malakit. $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$.

Malakit	ca. 90 pCt.
Brunjernsten?	- 3.5 pCt.
Kvarts	- 6.5 pCt.

Rød Kobbermalm — Cuprit. Cu_2O .

Cuprit	ca. 98.3 pCt.
Kvarts	- 1.7 pCt.
Spor af Magnetjernsten eller Jern.	

De mineralogiske Analyser bekræfter, at de benyttede Kobberminerale ikke har været helt rene. Bortset fra Kobberkis, som indeholdt 41 pCt. Jernspat og 58 pCt. Kobberkis, havde de øvrige Kobberminerale imidlertid en Renhedsgrad paa 90 til 98 pCt. Analyserne viser desuden — hvilket er værd at bemærke — at de forekommende ikke kobberholdige Mineraler som Jernspat, Brunjernsten, Magnetjernsten og Kvarts i al Fald ikke indeholder Stoffer, der kan skade Planterne. Det maa endvidere anføres i denne Forbindelse, at den ved Karforsøgene

¹⁾ Paa dette Sted maa det være mig tilladt at takke mag. scient. *Richard Bøgvad* ikke blot for de udførte mineralogiske Analyser, men ogsaa for de Samtaler vi havde dels om rent mineralogiske Spørgsmaal, dels om Spørgsmaal vedrørende Bestemmelser af saadanne Mineralers Finhedsgrad. Den Hjælp og Vejledning jeg herigennem har modtaget har været meget værdifuld.

²⁾ Ved Hr. A. H. Nielsen.

benyttede Jord i Lighed med andre kobbermanglende Jorder havde et saadant Reaktionstal, at man vanskeligt kan tænke sig, at der kan have været Tale om nogen Jernvirkning af det med Kobberminerallerne eller med Jernspat m. m. tilførte Jern. Endvidere er ogsaa Kvarts et ganske indifferent Mineral under de givne Forsøgsforhold.

Som Helhed viser den mineralogiske Analyse og de i et følgende Afsnit anførte kemiske Analyser, at de i Karforsøgene maalte Virkninger udelukkende eller saa godt som udelukkende kan have været Kobbervirkninger. Som det senere skal vises, er Tørstofproduktionen en eentydig Funktion af den optagne Kobbermængde; ogsaa dette Forhold viser, at de indblandede ikke kobberholdige Mineraler har været uden Betydning for Merudbyttets Størrelse.

b. Kemiske og fysiske Variationer.

Det maa blive en af Fremtidens Opgaver at undersøge, om der er nogen Sammenhæng mellem Kobberminerallerne's krystallografiske Opbygning og deres Gødningsværdi, forsaavidt det enkelte Kobbermineral forekommer i mere end een Modifikation. Ogsaa andre Forhold, som omtales i det følgende, kunde tænkes at paavirke Gødningsværdien.

Hvis et Mineral altid krystalliserer paa samme Maade, kunde man paa Forhaand antage, at Gødningsværdien af dette Mineral, naar det anvendtes i ren Tilstand, var konstant. Dette kan man sikkert ikke uden videre gaa ud fra, hvis Mineralet krystalliserer paa to forskellige Maader. Selv om den mineralogiske Undersøgelse kan afgøre, hvilken Modifikation der arbejdes med, kan Forholdet yderligere kompliceres, fordi visse Mineraler er i Stand til at optage andre Mineraler i sig i fast Opløsning med varierende Sammensætning. Saadanne Blandinger kan have stærkt varierende fysiske og kemiske Egenskaber, og det vil derfor være svært at foretage en Forhaandsvurdering af Gødningsværdien. Hertil kommer endelig, at der i de allerfleste Mineraler almindeligvis findes mindre Mængder af andre Mineraler mekanisk indblandet, et Forhold der muligvis ogsaa vil kunne paavirke Gødningsværdien i væsentlig Grad.

I det følgende skal der med Henblik paa disse Muligheder gives enkelte mineralogiske og krystallografiske Oplysninger om Kobberminerallerne Kobberkis, Bornit med Kobberglans, Malakit og Cuprit.

Ren Kobberkis fra forskellige Lokalteter maa antages at have de samme fysiske og kemiske Egenskaber. Analyser af Kobberkis afviger imidlertid hyppigt fra Formlen CuFeS_2 paa Grund af Urenheder, der ofte bestaar af Svovlkis.

For Bornit er Forholdene mere komplicerede. Dette Mineral antages nu at være sammensat efter Formlen Cu_5FeS_4 . Dets kemiske Sammensætning svinger imidlertid indenfor vide Grænser, idet det er i Stand til at optage Kobberglans og i mindre Grad Kobberkis i fast Opløsning. Bornit krystalliserer almindeligvis regulært; men visse optiske Anomalier tyder paa, at det undertiden kan være pseudoregulært. Af ovennævnte Grunde maa det antages, at Bornit fra forskellige Lokalteter meget vel kan udvise forskellige fysiske og kemiske Egenskaber. Det Bornit, der anvendtes ved disse Forsøg, indeholdt Kobberglans; der kan derfor yderligere være Grund til at gøre opmærksom paa, at Kobberglans kan forekomme paa to forskellige Maader, dels som primært rombisk Kobberglans, dels som primært regulær Kobberglans, der senere er blevet rombisk.

For Malakit og Cuprit er Forholdene ligesom for Kobberkis mere simple, idet disse Mineraler hver for sig maa antages altid at krystallisere paa samme Maade. Malakit kan indeholde Urenheder af andre Kobbermineraller og forekommer ligesom Cuprit som sekundært Omdannelsesprodukt i den øvre Zone af Kobberforekomster. Cuprit indeholder ofte Urenheder af Malakit og gedigent Kobber.

Da den kemiske Sammensætning af de her anvendte Kobbermineraller altsaa varierer fra Sted til Sted paa Grund af mekanisk Indlejring af andre Mineraler, og da yderligere Bornit kan optage baade Kobberglans og Kobberkis i fast Opløsning i varierende Mængder, er der Mulighed for, at de enkelte Kobbermineraller fra forskellige Lokalteter kan have en noget varierende Gødningsværdi.

c. Kemisk Analyse.

Kobberminerallerne, det benyttede Kobbersulfat samt det i 1937 og i 1939 prøvede metalliske Kobber (raspet), analyseredes for Kobber. Ved Mineralernes Analysering benyttedes *Lows* Metode (F. P. Treadwell. Analytische Chemie. II. 582. 11. Oplag 1930). Ved Forsøgenes Begyndelse i 1937 var det ikke muligt at udføre Analyserne efter *Lows* Metode, og de forskellige Forsøgsled maatte derfor tildeles Kobbermineral paa Grundlag af

Tabel 1. Kobberanalyser. Procent Cu.

Mineral eller Kobbergødning	Formel	Finhed ²⁾	Kobberindhold efter Formel	Kobberindhold best. v. Lows Metode	Kobberindhold best. kolorimetrisk	Kobberindhold best. mineralogisk
Kobberkis	CuFeS_2	II	34.6	18.0	15.8	—
Kobberkis	CuFeS_2	I	34.6	20.5	18.4	20.1
Bornit m.	Cu_3FeS_4	II	63.3	58.9	56.8	—
Kobberglans . .	Cu_2S		79.9			
Bornit m.	Cu_3FeS_4	I	63.3	61.6	59.8	—
Kobberglans . .	Cu_2S		79.9			
Malakit	$\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$	II	57.5	51.4	51.4	—
Malakit	$\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$	I	57.5	49.5	53.0	51.8
Cuprit	Cu_2O	¹⁾	88.8	—	85.8	87.3
Raspet Kobber .	Cu	—	100.0	97.8	94.0	—
Kobbersulfat . .	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	—	25.5	25.5	—	—

¹⁾ Cuprit udgik af Forsøgene i 1937, der er derfor ikke udført Finhedsanalyser af dette Mineral. Finheden var — skønsmæssigt vurderet — knap saa stor som Finhed I.

²⁾ Om Betydningen af Finhed I se Finhedsanalyserne i Afsnit d.

en enkelt kolorimetrisk Kobberanalyse af Størrelsesfraktionerne I og II. Ved Resultaternes endelige Beregning er den tilførte Kobbermængde udregnet paa Grundlag af de Kobberanalyser, der udførtes efter Lows Metode. Analyseresultaterne findes i Tabel 1; til Sammenligning er Kobberindholdet beregnet ud fra den mineralogiske Analyses Resultater. Af Tabellen fremgaar det, at Overensstemmelsen mellem den kemiske og den mineralogiske Analyses Resultater er god.

d. Finhedsanalyse.

Kobbermineraleerne anvendtes, som nævnt, i to Finhedsgrader eller Størrelsesfraktioner I og II. Fraktionen II var ret grov, idet Kornstørrelsen laa mellem 1 og 2 mm. For Fraktionen med Betegnelsen I maatte Finhedsgraden bestemmes paa særlig Maade. Den anvendte Metode, som benyttes ved *Kryolitselskabet Øresunds Laboratorium*¹⁾, er en Kombination af Sigtning, Bedømmelse af Kornstørrelsesklasser under Mikroskop og Sedimentationsanalyse under Anvendelse af Andreasens Sedimentationsapparat (8). Fremgangsmaaden skal ikke her beskrives i Enkeltheder, kun maa det siges, at den selvfølgelig langt fra er

¹⁾ Analyserne blev udført paa *Kryolitselskabet Øresunds Laboratorium*, hvor jeg havde Lejlighed til at gøre mig bekendt med den anvendte Metodik.

teoretisk uangribelig. Særlig Bedømmelsen af Kornstørrelsesklasserne under Mikroskop med Okularet af kendt Størrelse kan saaledes være vanskelig for den uøvede; for at lette Bedømmelsen af denne Fraktion adskilles den iøvrigt ved Slemning i Alkohol i tre Dele af forskellig Kornstørrelse.

For den fineste Fraktion, hvis Kornstørrelsesklasser bestemmes med Sedimentationsapparatet, er Forudsætningerne for Analysen selvfølgelig, enten at Mineralen er rent, eller hvis det er blandet med andre Mineraler i betydende Mængder, at alle Mineralers Vægtfylde er nogenlunde af samme Størrelse; i modsat Fald maa Mineralerne først adskilles. Dette sidste forudsættes ogsaa ved Fremstilling af den Fraktion, der skal bedømmes under Mikroskopet og den Fraktion, der skal analyseres med Sedimentationsapparat, idet ogsaa disse to Fraktioner adskilles ved Sedimentationsanalyse. Med Hensyn til Peptisatorspørgsmaalet m. m. maa der iøvrigt henvises til *Andreasen og Bergs* (8) Afhandling. Som Helhed maa det siges, at Metoden for den øvede Analytiker tillader en hurtig og ret nøjagtig Vurdering af Partiklernes Fordeling i forskellige Kornstørrelsesklasser.

Finhedsanalyser udførtes altsaa dels af de ved Karforsøgene anvendte Kobbermineraller, men dels ogsaa af to Kobbergødninger, som indeholdt omkring 12 pCt. Kobber i Form af Kobberkis, samt ca. 39 pCt. Zinkblende (ZnS). Disse to Gødninger anvendtes i 1941 og 1942 i Markforsøg i de jyske Landboforeninger og benævnes i den jyske Planteavlsberetning Bl. Sulfidet K. Ø. Gødningerne leveredes til Forsøgene af *Kryolitselskabet Øresund A/S*, og Markforsøgene blev planlagt paa Grundlag af de her beskrevne Karforsøgs Resultater. For Eks. maatte den betydelige Finhedsgrad skønnes at være nødvendig, naar Kobberkis skulde anvendes som Gødning i Marken.

Nedenfor anføres Finhedsanalysens Resultater:

Karforsøgene 1937—41.			
Kobberkis I		Bornit med Kobberglans I.	
Kornstørrelses- klasse	Procent	Kornstørrelses- klasse	Procent
> 150 μ	21.6	> 150 μ	35.7
150—100 μ	22.4	150—100 μ	23.2
100— 70 μ	7.2	100— 70 μ	8.1
70— 40 μ	15.6	70— 40 μ	21.3
40— 20 μ	21.8	40— 20 μ	9.8
20— 10 μ	3.8	20— 10 μ	1.3
10— 5 μ	4.4	10— 5 μ	0.5
< 5 μ	3.2	< 5 μ	0.1

der. Karrene kunde ikke beskyttes mod Regn, saaledes at det for de forskellige Forsøgsserier tilstræbte Vandindhold i Jorden ikke kunde virkeliggøres i meget regnrige Perioder. Paa Grund af det meget tørre Vejr i 1939, 1940 og 1941 var det muligt nogenlunde at overholde et Vandindhold paa 40 pCt. af Vandkapaciteten. Som Dræn anvendtes Flinteskærver.

a. Orienterende Forsøg i 1937 og 1938.

1. Forsøgsplaner.

1937. Ved Forsøget dette Aar prøvedes alle Kobberminerallerne samt desuden Kuprioxyd (CuO), raspet Kobber og støvfint, reduceret Kobber. Som Voksemedium benyttedes en Jord fra Brønderslev, der ved senere Undersøgelse viste sig at have et ret højt Kobbertal (T_{Cu} 6.7). Kobberminerallerne og de øvrige tungtopløselige Kobbergødninger afvejedes til hvert enkelt Kar og indblandedes i det øverste Lag (8 kg) Jord. Grundgødning og Kobbersulfat blev givet i Op-løsning til det øverste Jordlag paa ca. 20 cm. Af Grundgødning tilførtes følgende Mængder pr. Kar:

11.25 g Natriumnitrat (t. Anal.).

2.07 g prim. Kaliumfosfat.

3.76 g sekund. Kaliumfosfat.

Vandindholdet i Karrene blev saa vidt muligt reguleret til 40 pCt. af Vandkapaciteten. Ved Forsøgenes Begyndelse undersøgtes Grundgødningen og Ledningsvandet fra Københavns Vandværk. Grundgødningen indeholdt ikke Kobber. Ved Anvendelse af Ledningsvand til Vanding blev der taget særlige Forholdsregler for at undgaa en nødvendig Tilførsel af Kobber. 3—5 Fælleskar.

1938. Voksemedium: Jord fra Brønderslev. Dette Aar prøvedes Kobberkis I og II, Bornit¹⁾ I, Malakit II samt raspet Kobber. Grundgødskningen var som i 1937, idet der dog yderligere tilførtes 2.00 g Manganosulfat pr. Kar. 3—5 Fælleskar.

2. Journaler.

1937. Saaning 13. Maj. Spiring 22. og 23. Maj. Udtynding til 25 Planter pr. Kar den 31. Maj. Den 17. Juni fandtes i Forsøgsserien med Bornit II enkelte Symptomer paa Kobbermangel. Kobbermangelsymptomer observeredes hverken før eller efter denne Dato. Skridningen begyndte den 20. Juni og foregik noget uensartet. Ved Høst, den 14. August, fandtes mange grønne Basalskud i en Del af Forsøgsserierne. I følgende Forsøgsled var Antallet

¹⁾ Bornit med Kobberglans benævnes i det følgende blot Bornit.

af Basalskud særlig stort: Grundgødet, 0.125 g Kobbersulfat samt 0.88 g Bornit II.

1938. Saaning 25. Marts. Spiring 10. April. Udtynding til 25 Planter pr. Kar den 25. April. Den 4. Juni var der tilsyneladende ingen Forskel paa Serierne. Skridningen strakte sig over ca. 8 Dage fra omkring 20. Juni til 27. Juni, men foregik iøvrigt ensartet fra Forsøgsserie til Forsøgsserie. Kobbermangelsymptomer saas ikke paa noget Tidspunkt under Væksten.

Afgrøderne høstedes den 2. August. Der var absolut intet Udslag for de prøvede Kobbergødninger. Det viste sig da ogsaa, at Jordens Kobbertal var højt (T_{Cu} 10.2). Resultaterne fra dette Forsøg behandles derfor ikke i det følgende.

b. Forsøgene 1939—41.

1. Forsøgsplaner.

Alle de almindelige Forsøgsbetingelser var som i 1937. Som Voksemedium anvendtes en Jord fra Hølstebroegnen. Grundgødskningen var som i 1937, idet der aarlig tilførtes de for 1937 anførte Grundgødningsmængder. Vandindhold 40 pCt. af Vandkapaciteten. For det grundgødede Forsøgsled benyttedes 10 Fælleskar, for alle de øvrige Forsøgsled anvendtes 5 Fælleskar.

I 1939 tilførtes Kobbermineraller m. m. i følgende Mængder og Finhedsgrader:

A. Grundgødet	D. 0.97 g Malakit II
B. 3.17 g Kobberkis II	*4.86 g do.
15.82 g do.	*0.94 g Malakit I
*2.72 g Kobberkis I	*4.72 g do.
*13.59 g do.	E. 0.53 g raspet Kobber
C. *0.88 g Bornit II	2.64 g do.
*4.40 g do.	F. *0.125 g $CuSO_4 \cdot 5 H_2O$
*0.84 g Bornit I	*0.500 g do.
*4.18 g do.	*4.00 g do.

Størsteparten af disse Forsøgsled fortsatte — uden fornyet Tilførsel af Kobber — i 1940 og 1941 til Bedømmelse af Eftervirkningen. I Foraaret 1940 blev det desværre af særlige Grunde nødvendigt at udskyde følgende Forsøgsled: Den mindste og største Mængde Kobberkis II, den mindste Mængde Malakit II samt mindste og største Mængde raspet Kobber, saaledes at der i Aarene 1940 og 1941 kun fandtes de Forsøgsled, som er mærket med en Stjerne.

Jorden opbevarede fra Aar til Aar i tør Tilstand i Karrene. Ved Saaning og Gødskning om Foraaret forblev Jorden i Karrene, idet kun det øverste Jordlag paa 10 til 15 cm blev behandlet.

Spørgsmaalet om Anvendelse af Saasæd med et lavt Indhold af Kobber overvejedes. I 1939 og i 1940 benyttedes imidlertid veludviklet normal Saasæd, medens der i 1941 benyttedes Saasæd, som i 1940 var høstet i det Forsøgsled, der fik 0.032 g Kobber. Fremskaffelse af Saasæd med et lavt Kobberindhold er iøvrigt et vanskeligt Spørgsmaal (se Tabel 13); men dertil kommer, at det her var uden større Interesse, fordi det anvendte Voksemedium var saa stærkt kobbermanglende, at en mindre Forøgelse eller Formindskelse af Jordens tilgængelige Kobberindhold ikke kunde have nogen Betydning.

2. Journaler.

Den først anførte Skridningsdato refererer sig til de normale Afgrøder, ofte er kun denne Dato angivet. Det samme gælder for Spiringsdatoer. Afgrøden fra det grundgødede Forsøgsled var især i Aarene 1940 og 1941 meget lille, ved Høst var den endog til Dels nedvisnet (Afgroden »gik i Jorden«). De fundne Tal for Tørstofproduktionen er derfor antagelig lidt for lave, hvor meget er det ikke muligt at skønne over. Forholdet var mest udpræget i 1941.

Hvert Aar sprøjtedes gentagne Gange med 1 ‰ Nikotinopløsning; ved en Del af Sprøjtningerne tilsattes Sæbe.

1939. Saaning 15. April. Spiringen strakte sig over Tidsrummet 29. April til 3. Maj. Udtydningen til 25 Planter pr. Kar begyndte den 11. Maj. Paa Grund af Larvegnav standsedes Udtydningen nogle Dage; men den kunde dog fuldføres allerede den 15. og 16. Maj. Skridningen begyndte den 17. Juni. I det grundgødede Forsøgsled saas praktisk talt ingen Skridning. Den 31. Juli blev de mest modne (normale) Afgrøder høstet. Høsten afsluttedes den 5. August. Den 8. August blev der udtaget Jordprøver. Fotograferingen foregik den 23. Juni.

Den 2. Juni blev Kobbermængden i det Forsøgsled, der ved Saaningen havde faaet den største Mængde Kobbersulfat (2.00 g) fordoblet, idet der yderligere tilførtes 2.00 g Kobbersulfat pr. Kar. Mængden af Kobbersulfat i dette Forsøgsled øgedes saa kraftigt, fordi der i de foregaaende Dage var blevet fundet enkelte Kobbermangelsymptomer. Fordoblingen af Kobbertilførselen skete altsaa for at sikre, at dette Forsøgsled indeholdt en fuldt tilstrækkelig tilgængelig Kobbermængde.

1940. Saaning den 9. Maj. Spiring den 18. Maj. Spiringen var uregelmæssig, fordi Jord af denne Art er vanskelig at gennemfugte ensartet, naar den som i dette Tilfælde har staaet i tør Tilstand i Karrene Vinteren over. Udtydning til 25 Planter den 3. Juni, Skridningen begyndte den 1. Juli. Ingen Skridning i det grundgødede Forsøgsled. Høsten foregik den 9. og 10. August. Der blev udtaget Jordprøver den 16. August.

1941. Saaning den 22. April. Spiringen begyndte den 9. Maj og afsluttedes omkring den 15. Maj. Uregelmæssig Spiring af samme Grund som i 1940. Udtynding til 25 Planter den 29. Maj. Skridningen begyndte den 1. Juli, og var i nogenlunde normale Afgrøder afsluttet den 7. Juli. Ingen Skridning i det grundgødede Forsøgsled, som høstedes den 28. Juli. De øvrige Forsøgsled blev høstet den 7. August. Der blev udtaget Jordprøver den 22. August.

c. Jordbundsanalyser.

I 1939, 1940, 1941 og 1942¹⁾ blev der udtaget Jordprøver til kemisk Analyse. I Jordprøverne blev der bestemt Reaktions- tal (Rt) og Klorkaliumtal (Kkt). I 1939 og 1940 blev der desuden bestemt Kobbertal (T_{Cu}). I Aaret 1941 blev der kun bestemt Reaktionstal og Kobbertal i det grundgødede Forsøgsled; Reaktionstallet var 6.1 (Kkt + 1), medens Kobbertallet var 3.7.

Tabel 2. Kobbertal og Reaktionstal. 1939—42.

Behandling	g Cu tilført	1939		1942		1939—42 Gens.		Kobbertal Gens. 1939—40
		Rt	Kkt	Rt	Kkt	Rt	Kkt	
Grundgødet	0	5.6	5.0	6.6	5.7	5.9	5.1	3.9 ¹⁾
Kobberkis I.....	0.56	5.9	5.0	7.1	5.5	6.4	5.2	4.5
do.	2.79	5.9	5.0	6.9	5.4	6.4	5.2	12.3
Bornit II.....	0.52	5.8	4.8	6.9	5.4	6.1	5.2	5.1
do.	2.59	5.6	4.8	6.5	5.3	6.1	5.0	4.1
Bornit I.....	0.52	6.1	4.9	6.9	5.5	6.4	5.1	5.7
do.	2.58	5.6	4.7	6.7	5.5	6.3	5.1	13.6
Malakit II.....	2.50	5.9	5.0	6.8	5.5	6.3	5.2	114
Malakit I.....	0.47	5.9	4.9	6.6	5.3	6.3	5.1	51
do.	2.34	6.0	5.0	6.6	5.5	6.4	5.2	417
Kobbersulfat.....	0.032	6.0	4.9	7.0	5.5	6.5	5.1	3.4
do.	0.128	6.0	5.1	6.6	5.4	6.3	5.2	10.8
do.	1.020	5.8	4.9	6.8	5.5	6.3	5.2	113

¹⁾ Gennemsnit af 2 Bestemmelser i 1939 og 2 Bestemmelser i 1940.

Som det fremgaar af Tabel 2, er Reaktionstal og Klorkaliumtal steget fra 1939 til 1942; Stigningen var ret voldsom i 1942, mere jævn i de tre foregaaende Aar. Aarsagen til denne Stigning er antagelig i Hovedsagen den aarlige Anvendelse af 11.25 g Natriumnitrat pr. Kar samt Anvendelse af Sæbe ved Sprøjtning med Nikotin. I Henhold til denne Stigning i Reaktionstallet kunde der ventes stigende Kobbermangel gennem alle

¹⁾ Forsøgene fortsættes i 1942 efter en ændret Plan.

tre Forsøgsaar. Som det fremgaar af Tabellerne 5, 6 og 7 var Udbyttet af det grundgødede Forsøgsled ogsaa faldende fra 1939 til 1941.

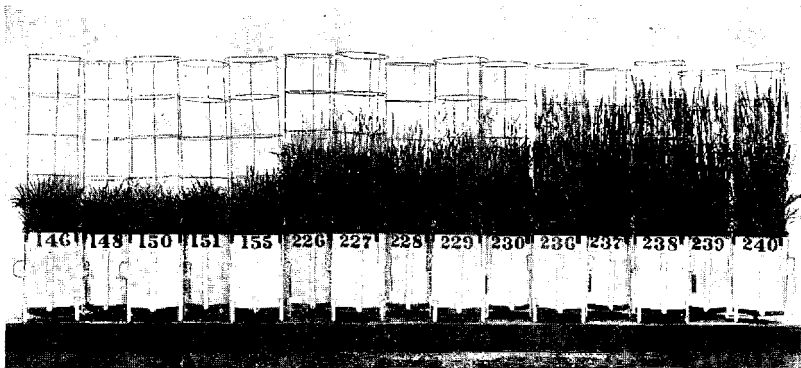
Imidlertid er Reaktionstallets Stigning næppe den eneste Grund til dette faldende Udbytte; ogsaa den kraftige Gødskning med Fosforsyre og Kalium maa have været medvirkende. Iagttagelser har saaledes vist, at kraftig Grundgødskning i det hele taget, altsaa med baade Kvælstof, Fosforsyre og Kalium øger

Tabel 3. Fosforsyretal og Kaliumtal 1942.

Behandling	g Cu tilført	Fosforsyretal	Kaliumtal
Grundgødet	0	56	47
Kobberkis I	0.56	45	44
do.	2.79	42	33
Bornit II	0.52	48	51
do.	2.59	46	33
Bornit I	0.52	42	39
do.	2.58	43	44
Malakit II	2.50	45	35
Malakit I	0.47	46	42
do.	2.34	49	45
Kobbersulfat	0.092	56	39
do.	0.128	46	34
do.	1.020	47	38

Kobbermangelen, i alt Fald Symptomernes Styrke. Desværre blev der ikke bestemt Fosforsyre- og Kaliumtal i 1939; men af Tabel 3 vil det fremgaa, at Fosforsyretallene og Kaliumtallene i 1942 var ret høje, naar der sammenlignes med det normale under Markforhold. Sandsynligvis har Fosforsyre- og Kaliumtal oprindeligt været lave i denne Jord, men de er derpaa ved den aarlige Tilførsel af Fosforsyre og Kalium gradvis steget gennem Aarene 1939, 1940 og 1941, hvilket utvivlsomt har øget Kobbermangelens relative Styrke. Naar Udbyttet af det grundgødede Forsøgsled stadig er faldet gennem disse Aar, kan Aarsagerne hertil, derfor i Hovedsagen søges, dels i de stigende Reaktionstal, dels og især i den forholdsvis kraftige og med Aarene øgede Grundgødskning.

Af Tabel 2 fremgaar det desuden ved Sammenligning med Udbyttetallene i Tabellerne 5, 6 og 7, at der er god Overensstemmelse mellem Tørstofudbyttets Størrelse og de forskellige Kobbermineralers samt Kobbersulfatets Evne til at øge Kobber-



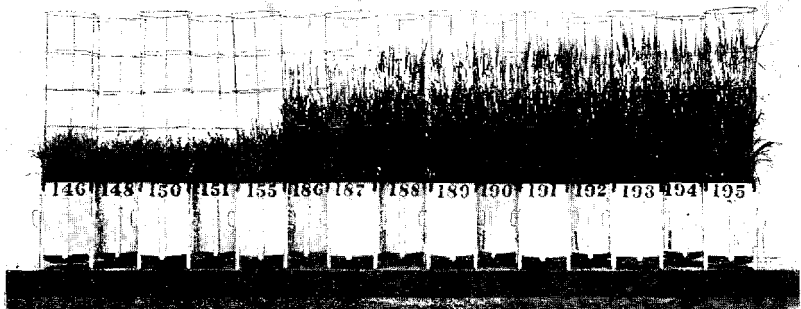
0 Gram Cu

0.03 Gram Cu

1.02 Gram Cu

Fig. 1. Kobbersulfat

(K. J. Rasmussen fot.).



0 Gram Cu

0.03 Gram Cu

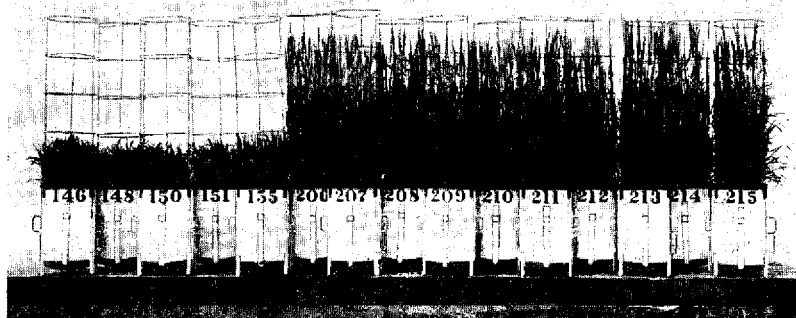
2.56 Gram Cu

Fig. 2. Bornit I

(K. J. Rasmussen fot.).

tallet. Se desuden Figurerne 1—4; Fotografering den 23. Juni 1939.

Da det ikke tidligere er anført, i hvilke Enheder Kobbertallet (T_{Cu}) angives, samt under hvilke Omstændigheder det bestemmes, skal der her gives en kort Omtale af disse Forhold. Ved Kobbertallets Bestemmelse roterer 50 g lufttør Jord i 2 Timer i et Rysteapparat (20—25 Omdrejninger pr. Minut) med 200 ml fortyndet Saltsyre saaledes, at Slutaciditeten svarer til p_H 2.0. Den i Filtratet fundne totale Kobbermængde udtrykkes i Milliækvivalenter Cu pr. 625 kg lufttør Jord. Ved et Kobbertal paa 1 findes der altsaa eet Milliækvivalent Kobber (31.785 mg ^{63}Cu) pr. 625 kg lufttør Jord.



0 Gram Cu

0.47 Gram Cu

2.34 Gram Cu

Fig. 3. Malakit I.

(K. J. Rasmussen fot.).



0 Gram Cu

0.46 Gram Cu

2.79 Gram Cu

Fig. 4. Kobberkis I.

(K. J. Rasmussen fot.).

3. Kobbervirkningen maalt ved Merudbyttet.

a. Forsøget i 1937.

Til Indledning vil det være oplysende at se paa Udbytte-tallene fra Forsøgsserierne i 1937. Forsøget dette Aar var af orienterende Natur, og dets Resultater dannede Grundlaget for Planlægningen af de Forsøg, der udførtes i Aarene 1939—41. Resultaterne fra Forsøgene i 1937 blev ikke benyttet til den orienterende Beregning af Kobbermineralernes Værdi, som blev foretaget paa Grundlag af Resultaterne fra Forsøgene i 1939 til 1941. Grunden hertil var, at Merudbyttetallene ikke var nær saa

store (T_{Cu} 6.7) og derfor heller ikke nær saa sikkert bestemte som i 1939—41, hvor der yderligere anvendtes betydelig flere Fælleskar end i 1937. I 1937 var Hovedopgaven først og fremmest at undersøge om, det overhovedet var muligt at anvende Kobbermineraller som Gødning, samt desuden eventuelt orientere sig i Spørgsmaalet om Finhedsgradens Betydning. Ogsaa ved Forsøgene i 1939—41 med en mere kobbertrængende Jord

Tabel 4.
Det gennemsnitlige Udbytte i g Tørstof pr. Kar. 1937.

Behandling	g Cu tilført	Kærne	± M	Halm	± M	Kærne + Halm	± M	Kærne pCt.
Grundgødet	0	9.7	1.13	22.3	0.92	32.0	1.89	30.3
Kobberkis II	0.57	12.4	1.57	21.1	2.26	33.5	3.78	37.0
do.	2.85	13.3	0.63	22.2	0.31	35.5	0.37	37.5
Kobberkis I	0.56	13.5	2.13	21.7	2.70	35.2	4.83	38.4
do.	2.79	19.1	2.86	25.7	1.59	44.8	4.48	42.6
Bornit II	0.52	8.8	2.07	21.6	0.94	30.4	3.08	28.9
do.	2.59	12.8	1.77	25.2	1.18	38.0	2.87	33.7
Bornit I	0.52	17.6	4.83	26.3	0.88	43.9	5.97	40.1
do.	2.58	17.1	3.62	24.2	0.80	41.3	4.28	41.4
Malakit ¹⁾	ca 0.5	16.2	1.44	23.7	1.05	39.9	1.14	40.6
do.	ca 2.5	18.2	4.90	24.9	0.80	43.1	4.28	42.2
Cuprit	0.50	17.1	2.18	24.1	1.85	41.2	2.66	41.5
do.	2.50	20.0	3.71	24.3	0.61	44.3	3.18	45.1
Kuprioxyd	2.50	20.5	3.11	25.6	1.02	46.1	3.80	44.5
Raspet Kobber	0.52	13.2	2.56	22.7	0.84	35.9	3.34	36.8
do.	2.58	12.5	0.72	22.3	2.12	34.8	2.39	35.9
Kobber, pulv. red.	0.50	23.9	4.68	26.5	2.34	50.4	7.01	47.4
do.	2.50	21.7	0.68	21.1	1.55	42.8	2.25	50.7
Kobbersulfat	0.032	11.8	3.95	21.0	2.06	32.6	5.88	35.6
do.	0.255	13.1	1.93	22.2	2.19	35.3	2.35	37.1

¹⁾ Kornstørrelse $\frac{1}{2}$ —1 mm.

traadte disse to Opgaver i Forgrunden; men desuden var det selvfølgelig ønskeligt at foretage i al Fald en første Vurdering af de forskellige Kobberminerallers Gødningsværdi ved Sammenligning med Kobbersulfat.

Af Udbyttetallene i Tabel 4 fremgaar det for det første, at de forskellige Kobbermineraller og de teknisk fremstillede, tungtopløselige kemiske Forbindelser virker meget forskelligt. Endvidere er Virkningen i betydelig Grad afhængig af Finhedsgraden, hvilket selvfølgelig paa Forhaand var ventet.

Af Tabellen ses desuden, at metallisk Kobber kan anvendes som Gødning, naar blot det pulveriseres tilstrækkeligt fint.

Det samme gælder Mineralen Cuprit (Kuprooxyd) og Kuprioxyd. En særlig Interesse knytter sig til Kobbermineraleerne Kobberkis og Bornit som to af de økonomisk vigtigste Kobbermineraleer. Paa Grundlag af de her anførte Forsøgsresultater er det ikke til at afgøre hvilket Mineral, der virker bedst. Det gælder, hvad enten man ser paa Kærneudbyttet eller Kærneprocenten. Først Forsøgene i 1939—41 gav sikkert Svar paa dette Spørgsmaal. Ogsaa for Malakit fandtes en betydelig Kobbervirkning i Overensstemmelse med alle Iagttagelser over Bordeauxvædskens tydelige Kobbervirkning paa kobbermanglende Jord.

Mineralernes Finhedsgrad synes i Henhold til dette Aars Resultater at være meget passende valgt, og disse Finhedsgrader benyttedes derfor ogsaa i 1939—41.

Som det fremgaar af Tabellerne 4, 6 og 7, varierer Middelfejlen paa Gennemsnittet (M) ret betydeligt for Forsøgsled med samme Udbytte. Dette Forhold iagtages næsten altid ved Karforsøg med Mikronæringsstoffer. Hovedgrunden til denne Variation er antagelig, at selv yderst smaa Forskelle i Jordens tilgængelige Kobberindhold foraarsager store Udbytteforskelle paa Grund af Kobberets meget stejle Udbyttekurve.

I dette Tilfælde kompliceres Forholdene yderligere ved Angreb af Bladlus, der selv om de bekæmpedes med Nikotin, ikke angreb ensartet fra Fælleskar til Fælleskar og fra Forsøgsled til Forsøgsled.

b. Forsøgene 1939—41.

I Tabellerne 5, 6 og 7 findes Udbyttetallene for de enkelte Aar. Udbyttet af det grundgødede Forsøgsled er stadig faldet gennem Aarene. De sandsynlige Aarsager hertil er som tidligere anført især, at der gennem Aarene foregik en relativ Sænkning af Jordens tilgængelige Kobberindhold.

Til yderligere Belysning af de enkelte Kobbermineraleers Virkning paa Kærnesætningen findes i Tabel 8 en Oversigt over Vægten og Antallet af golde Kærner i de enkelte Forsøgsled i hvert enkelt af de tre Forsøgsaar.

Helhedsindtrykket af Tabellerne 5, 6, 7 og 8 bliver, at Kobberkis I, Bornit I og Malakit I giver et betydeligt Merudbytte, medens de samme Mineraleer i Finhed II giver et betydeligt mindre Merudbytte. Medens Resultatet af Forsøgene i 1937 var, at Kobberkis og Bornit virkede omtrent lige godt, ses der her at være en meget tydelig Forskel gennem alle tre Aar. Bornit virker afgjort bedst.

Tabel 5.
Det gennemsnitlige Udbytte i g Tørstof pr. Kar. 1939.

Behandling	g Cu tilført	Kærne ¹⁾	Halm	Kærne + Halm	Kærne pCt.
Grundgødet	0	0.4	13.3	13.7	2.9
Kobberkis II	0.57	0.6	19.6	20.2	3.0
do.	2.85	0.5	25.6	26.1	1.9
Kobberkis I	0.56	1.6	39.0	40.6	3.9
do.	2.79	46.9	55.9	102.8	45.5
Bornit II	0.52	0.2	16.2	16.4	1.2
do.	2.59	0.6	23.1	23.7	2.5
Bornit I	0.52	15.6	58.3	73.9	21.1
do.	2.58	62.6	55.0	117.6	53.2
Malakit II	0.50	1.7	30.3	32.0	5.3
do.	2.50	4.7	55.8	60.5	7.8
Malakit I	0.47	66.7	55.4	122.1	54.6
do.	2.34	69.9	59.3	129.2	54.1
Raspet Kobber	0.52	1.4	27.0	28.4	4.9
do.	2.58	1.0	25.4	26.4	3.3
Kobbersulfat	0.032	4.6	49.7	54.3	8.5
do.	0.128	18.8	58.4	77.2	24.4
do.	1.020	68.6	55.0	123.6	55.5

¹⁾ Sund + Gold Kærne.

Tabel 6.
Det gennemsnitlige Udbytte i g Tørstof pr. Kar. 1940.

Behandling	g Cu tilført	Kærne ¹⁾	± M	Halm	± M	Kærne + Halm	± M	Kærne pCt.
Grundgødet ²⁾ a ...	0	0	—	7.8	0.44	7.8	0.44	0
do. b ...	0	0	—	7.1	0.32	7.1	0.32	0
Kobberkis I	0.56	7.3	1.83	61.3	7.28	68.6	8.69	10.6
do.	2.79	53.3	2.40	50.3	1.72	103.6	3.81	51.4
Bornit II	0.52	0	—	7.8	0.35	7.8	0.35	0
do.	2.59	0.3	0.07	27.6	3.97	27.9	4.03	1.1
Bornit I	0.52	36.3	2.69	51.8	1.30	88.1	1.58	41.2
do.	2.58	47.9	2.42	44.2	2.87	92.2	4.24	52.0
Malakit II	2.50	3.9	0.77	52.1	3.09	56.0	3.53	7.0
Malakit I	0.47	49.8	2.83	47.1	2.66	96.9	5.22	51.4
do.	2.34	52.5	3.18	50.3	1.43	102.8	4.26	51.1
Kobbersulfat	0.032	1.5	0.51	43.7	4.60	45.2	4.93	3.3
do.	0.128	43.0	3.29	49.1	2.86	92.1	4.51	46.7
do.	1.020	55.6	1.29	48.8	1.84	104.5	2.58	53.2

¹⁾ Sund + Gold Kærne.

²⁾ To Hold — a og b — à 5 Kar.

For at faa en virkelig Sammenligning af saadanne meget tungtopløselige Gødningers Værdiforhold maa man imidlertid enten sikre sig, at de har samme Overfladestørrelse pr. Vægt-

Tabel 7.
Det gennemsnitlige Udbytte i g Tørstof pr. Kar. 1941.

Behandling	g Cu tilført	Kærne ¹⁾ ± M		Halm ± M	Kærne + Halm ± M		Kærne pCt.	
Grundgødet	0	0	—	1.3	0.20	1.3	0.20	0
Kobberkis I.	0.56	4.9	1.38	43.1	1.14	48.0	0.54	10.2
do.	2.79	45.0	1.49	42.4	3.00	87.3	2.37	51.5
Bornit II	0.52	0	—	7.2	1.07	7.2	1.07	0
do.	2.59	0.1	0.04	21.6	2.05	21.7	2.08	0.5
Bornit I.	0.52	36.1	2.26	41.6	1.67	77.8	3.02	46.4
do.	2.58	41.6	2.46	38.6	1.73	80.3	4.10	51.8
Malakit II	2.50	11.7	3.82	46.9	1.94	58.6	5.09	20.0
Malakit I	0.47	38.1	3.13	39.4	2.58	77.5	4.93	49.2
do.	2.34	37.3	0.53	40.2	1.95	77.5	1.84	48.1
Kobbersulfat	0.032	1.2	0.26	34.9	2.33	36.1	2.56	3.3
do.	0.128	42.2	2.63	41.5	2.79	83.6	4.59	50.5
do.	1.020	39.0	2.82	38.1	2.11	77.1	4.68	50.6

¹⁾ Sund + Gold Kærne.

Tabel 8. Golde Kærner. Antal og Vægt pr. Kar. 1939—41.

Behandling	g Cu tilført	1939		1940		1941	
		Antal	Vægt	Antal	Vægt	Antal	Vægt
Grundgødet	0	—	—	0	0	0	0
Kobberkis II	0.57	—	—	—	—	—	—
do.	2.85	—	—	—	—	—	—
Kobberkis I	0.56	—	—	837	2.79	615	1.34
do.	2.79	—	—	124	0.48	207	0.51
Bornit II	0.52	77	0.21	0	0	0	0
do.	2.59	183	0.47	120	0.26	149	0.13
Bornit I	0.52	1100	2.57	249	0.70	249	0.73
do.	2.58	0	0	105	0.35	106	0.23
Malakit II	0.50	295	0.66	—	—	—	—
do.	2.50	974	2.36	1051	2.60	620	1.47
Malakit I	0.47	0	0	102	0.31	240	0.65
do.	2.34	0	0	97	0.27	251	0.64
Raspet Kobber	0.52	234	0.56	—	—	—	—
do.	2.58	221	0.49	—	—	—	—
Kobbersulfat	0.032	1027	2.22	572	1.19	572	1.00
do.	0.128	1177	2.57	177	0.50	178	0.44
do.	1.020	0	0	82	0.20	219	0.54

enhed, hvilket er praktisk talt umuligt at opnaa (se Finhedsanalyserne Side 565) eller ogsaa maa Merudbyttet udtrykkes som Funktion af de tilførte Kobbermineralers Overflade. Som det senere skal vises, er Merudbyttet for samme Kobbermineral nemlig en eentydig Funktion af Overfladens Størrelse, uden

Hensyn til hvor stor en Vægtmængde Kobber, der tilføres. At Forholdet er saaledes, muliggør en Bestemmelse af de Overfladestørrelser af de forskellige Mineraler, som giver samme Merudbytte. Spørgsmaalets Betydning vil blive behandlet i et senere Afsnit.

Tabel 9. Gennemsnitligt Merudbytte Kærne + Halm 1939—41, samt a-, b- og f-Værdier.

Behandling	g Cu tilført	Gens. Merudbytte	a	b	f
Grundgødet	0	—	—	—	—
Kobberkis I	0.56	45.1	121.4	0.947	0.054
do.	2.79	90.6			
Bornit II	0.52	3.1	— ¹⁾	— ¹⁾	— ¹⁾
do.	2.59	17.1			
Bornit I	0.52	72.6	94.95	0.160	0.0114
do.	2.58	89.4			
Malakit II	2.50	51.0	—	—	—
Malakit I	0.47	91.5	96.95	0.0280	0.00196
do.	2.34	95.8			
CuSO ₄ , 5 H ₂ O	0.032	37.9			
do.	0.128	77.0	104.7	0.0510	0.00328
do.	1.020	94.4			

¹⁾ Kunde ikke beregnes efter Hyperbelligningen.

Til foreløbig Vurdering af Kobbermineralernes Gødningsværdi er der i det følgende beregnet Merudbytteligninger under Anvendelse af Middeltal for Aarene 1939—41. I Tabel 9 findes de gennemsnitlige Merudbyttetetal og den tilførte Kobbermængde udtrykt i henholdsvis g Tørstof (Kærne + Halm) og g Kobber pr. Kar. Merudbyttekurverne er beregnede under Anvendelse af Hyperbelligningen (9).

$$v = \frac{a t}{b + t} \dots \dots \dots (1)$$

hvor v er Merudbyttet og a og b Konstanter. Der er ikke gjort Forsøg paa at beregne Kurverne med fælles a-Værdi, fordi dette, som det fremgaar af de i Tabel 9 anførte a-Værdier, ikke kunde gøres uden betydelig Tvang. Samtidig beregnedes f-Værdierne, der under Forudsætning af rigtig Ekstrapolation angiver den Kobbermængde, som findes i den grundgødede Jord, og som virker paa samme Maade som Kobberet i den tilførte Kobbergødning.

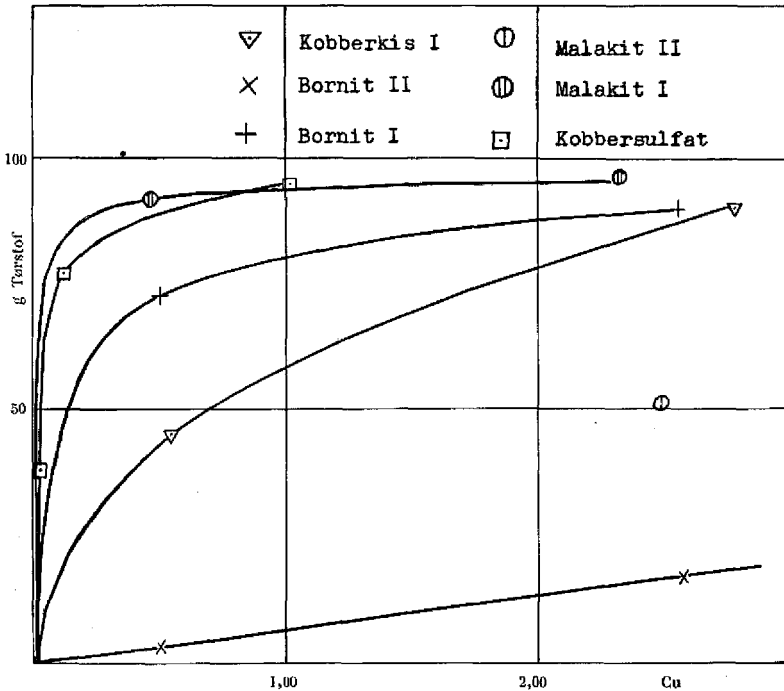


Fig. 5. Merndbytte og tilført Kobber. 1939—41.

Ved Værditalenes Beregning benyttedes Kobbersulfat som Standardgødning. Paa Grundlag af den for Kobbersulfat fundne Merudbytteligning beregnedes de Kobbermængder i Kobbersulfat, der skulde være brugt for at frembringe samme Merudbytte som en bestemt Kobbermængde i et givet Kobbermineral. Ved disse Beregninger benyttedes t-Værdierne 0.25 og 0.50 og ved Hjælp af Konstanterne i Tabel 9 beregnedes de dertil svarende v-Værdier. Nedenfor findes en Oversigt over Værditalene:

	t	Værdital	Gens. Værdital
Kobberkis I.....	0.25	0.065	
do.	0.50	0.068	0.067
Bornit II.....	0.52 ¹⁾	0.0030	
do.	2.50 ¹⁾	0.0038	0.0034
Bornit I.....	0.25	0.252	
do.	0.50	0.224	0.238
Malakit II.....	2.50 ¹⁾	0.019	0.019
Malakit I.....	0.25	1.015	
do.	0.50	0.728	0.871

¹⁾ Kunde ikke beregnes efter Hyperbellingningen, hvorfor de eksperimentelle Data er benyttet direkte.

Hvis vi foreløbig ser bort fra den forskellige Finhed af Fraktion I, fremgaar det af Oversigten, at der er betydelig Forskel paa de forskellige Mineralers Værdi, samt at Findeling af et Mineral forøger dets Værdi ganske betydeligt. Af Finhedsanalyserne (Side 565) kan det skønnes, at Kobberkis I er næst findelt, dernæst følger Malakit I, medens Bornit I er det mindst findelte. Under Hensyntagen til denne foreløbig skønsmæssige Vurdering af Finhederne i Fraktion I kan det fastslaaes, at de tre Mineralers forskellige Gødningsværdi sikkert i Hovedsagen maa tilskrives forskellige fysiske og kemiske Egenskaber, der igen bunder i forskellig Krystalstruktur m. m.

Af ovenstaaende Oversigt fremgaar det som nævnt ogsaa, at Finmalingen, som ventet, er af stor Betydning for Gødningsværdien. Værditallet øges saaledes fra 0.0034 for Bornit II til 0.238 for Bornit I. Det er meget sandsynligt, at en yderligere Finmaling af Bornit I vilde bevirke, at Bornit fik samme Værdi som Kobbersulfat. Ogsaa for Kobberkis vilde Værditallet stige ved øget Findeling.

Da de jyske Landboforeninger derfor i 1941 stod overfor at skulle afprøve en Gødning af denne Art (Bl. Sulfider. K. Ø.), kunde der paa Grundlag af de her udførte Karforsøg gives visse Oplysninger om den nødvendige Finhedsgrad. I denne Gødning findes Kobberet nemlig som Kobberkis. I Henhold til Karforsøgenes Resultater var det altsaa indlysende, at saafremt man vilde gøre sig Haab om at faa en ordentlig Virkning af Gødningen, maatte den findeles kraftigere end Kobberkis I, selvfølgelig under Forudsætning af, at det Kobberkis, der findes i Bl. Sulfider. K. Ø., havde samme fysiske og kemiske Egenskaber som Kobberkis I. I Henhold til disse Overvejelser bestemtes det tilsidst at anvende Gødningen i den Finhedsgrad, som er anført Side 566. De orienterende Markforsøg udførtes altsaa med Kobberkis, hvis Finhedsgrad var betydelig større end Finhedsgraden af Kobberkis I, der anvendtes ved Karforsøgene.

Nedenfor findes et Sammendrag af Markforsøgenes Resultater (10). Førend disse Resultater omtales nærmere, skal der anføres enkelte Betragtninger over Værditalleens Beregning, naar det drejer sig om et Næringsstof som Kobber, hvis Virkningsfaktor er stor, og hvor der desuden — som i dette Tilfælde — er en betydelig Prisforskel paa de forskellige Kobbergødninger.

Ved Afprøvningen af saadanne Gødninger vil man hyppigere end for Makronæringsstoffer komme til at arbejde i det

Omraade af Udbyttekurven, hvor den begynder at blive parallel med Abscissen. Dette vil for det første betyde, at en Beregning af Værditallet efter den almindeligt brugte Metode hyppigt kan blive usikker, idet meget forskellige Kobbermængder her kun foraarsager smaa Udbytteforskelle; men for det andet kan det betyde, at en Bestemmelse af Gødningernes Værdi ved samme Kobbertilførsel — Virkningsforholdet — bliver ret konstant, d. v. s. mere uafhængig af en yderligere Gødningstilførsel (Kobber), end naar det drejer sig om Makronæringsstoffer. I saadanne Tilfælde vil altsaa Beregninger af Værditallet efter den gængse Metode kunne forvrænge det sande Billede af Gødningernes indbyrdes Værdi, hvilket selvfølgelig er særlig uheldigt, naar Gødningernes Prisforskel er stor, fordi Fordelen ved at bruge den billige Gødning da eventuelt kan blive udvisket.

Ved de Markforsøg, der er blevet udført i de jyske Landboforeninger til Sammenligning af Værdien af Kobbersulfat og Bl. Sulfider. K. Ø., er det iøvrigt ikke muligt at beregne noget Værdital, men derimod kan Forholdet mellem Merudbyttetallet ved samme Kobbertilførsel — Virkningsforholdet — beregnes. I de nedenfor anførte Sammendrag af disse Forsøg er Merudbyttet for Bl. Sulfider. K. Ø. beregnet i pCt. af Merudbyttet for Kobbersulfat. De gennemsnitlige Merudbyttetallet er anført i hkg pr. ha og er dels beregnet for Kærne (K), dels for Kærne + Halm (K + H). Til Sammenligning er Resultaterne fra Forsøg med Svovlkisaske 1940—41¹⁾ taget med.

1940. 5 Forsøg til Sammenligning af 50 kg Kobbersulfat og 700 kg Svovlkisaske.

K: Kobbersulfat: 3.70 Svovlkisaske: 5.20 141 pCt.

K + H: do. : 5.20 do. : 4.10 79 pCt.

1940—41. 20 Forsøg med Kobbersulfat og Svovlkisaske. 50 kg Kobbersulfat og 700—750 kg Svovlkisaske.

K: Kobbersulfat: 2.65 Svovlkisaske: 2.92 110 pCt.

K + H: do. : 3.3 do. : 2.9 88 pCt.

1941. 6 Forsøg med Bl. Sulfider og Kobbersulfat. 50 kg Kobbersulfat og 94 kg Bl. Sulfider.

K: Kobbersulfat: 2.97 Bl. Sulfider: 2.36 79 pCt.

K + H: do. : 4.6 do. : 3.7 80 pCt.

1941. Ialt 15 Forsøg med Kobbersulfat og 6 Forsøg med Bl. Sulfider. 50 kg Kobbersulfat og 94 kg Bl. Sulfider.

K: Kobbersulfat: 2.29 Bl. Sulfider: 2.36 103 pCt.

K + H: do. : 2.6 do. : 3.7 142 pCt.

¹⁾ Svovlkisaske er et Affaldsprodukt fra Svovlsyrefabrikationen; det indeholder ialt 1.6—1.7 pCt. Kobber; heraf er ca. 0.5 pCt. vandopløseligt.

Ved Vurdering af disse Tal maa det erindres, at Tørken baade 1940 og 1941 indtraadte saa tidligt, at mange af disse Forsøg antagelig er lagt paa forholdsvis god Jord, fordi Tørken allerede først i Juni, da Markforsøgene blev anlagt, havde ødelagt Kornet paa de mest sandede (og kobbermanglende) Arealer. I alt Fald er Udslagene for Kobbergødningerne forholdsvis smaa, særlig i 1941. Det er endelig værd at bemærke, at baade Svovlkisaske og Bl. Sulfider i disse Forsøg er benyttet som Overgødning. Ved Nedharvning eller Nedpløjning vilde de antagelig have virket bedre.

Til Sammenligning med disse Resultater beregnedes Karforsøgenes gennemsnitlige Merudbyttetal paa lignende Maade. Ved disse Beregninger anvendtes Kobbermængderne 0.2 og 0.5 g Cu pr. Kar (Finhed I), svarende til henholdsvis ca. 160 og 400 kg Kobbersulfat pr. ha. Det maa bemærkes, at man selvfølgelig ikke direkte kan sammenligne de Gødningsmængder, der gives ved Kar- og Markforsøg. I nedenstaaende Oversigt er Kobbermineralernes Merudbytte for baade Kærne (K) og Kærne + Halm (K + H) beregnet i pCt. af Kobbersulfats Merudbytte.

<i>Mineral</i>	0.2 g Cu		0.5 g Cu	
	<i>K</i>	<i>K + H</i>	<i>K</i>	<i>K + H</i>
Kobberkis I	2	25	5	44
Bornit I	33	63	56	76
Malakit I	117	102	104	97

Selv om det i Karforsøgene anvendte Kobberkis I, hvad angaar Jordtemperatur og Nedbringning, er stillet gunstigere end ved Markforsøgene, saa har den betydelig større Finhed af det i Bl. Sulfider. K. Ø. indeholdte Kobberkis dog bevirket, at Kobberkis i Bl. Sulfider. K. Ø. har virket meget bedre. Forskellen er stor, især naar man sammenligner Tallene for Kærneudbyttet.

Saadanne Sammenligninger mellem Karforsøgs og Markforsøgs Resultater er selvfølgelig usikre, særlig fordi Beregningerne over det i Forhold til Kobbersulfat fundne procentiske Merudbytte her er foretaget paa Grundlag af Merudbyttetal efter Kobbermængder, der ikke direkte kan sammenlignes (fra Markforsøg til Karforsøg). Selv med dette Forbehold tør det dog foreløbig fastslaaes, at Kobberkis før en Anvendelse i Marken maa nedmales meget stærkt (se Finhedsanalyserne Side 565—66). Ogsaa Bornit (og Cuprit, se Resultaterne fra 1937) maa nedmales stærkere end ved disse Karforsøg, naar det anvendes i Marken,

medens der næppe vil være Grund til nogen særlig vidtdreven Finmaling af Malakit.

Spørgsmaalet om den mest hensigtsmæssige Angivelse af Kobbermineralernes Finhed vil senere blive diskuteret.

4. Den optagne Kobbermængde og Stofproduktionen.

Ved Undersøgelser over Stofproduktionens Afhængighed af et Næringsstof der er i Minimum, har det vist sig, at Stofproduktionen er afhængig af den optagne (den i Afgrøden forefundne) Mængde af dette Næringsstof. Jo mere der tilføres af det givne Næringsstof, desto mere optages der, og jo større er Stofproduktionen. I den optagne Kobbermængde — her bestemt ved Høst¹⁾ — har man et tilnærmet Maal (11) for forskellige Gødningers Værdi.

Det var først af Interesse at undersøge Stofproduktionens Afhængighed af den optagne Kobbermængde, samt desuden undersøge, om denne Afhængighed var eentydig, d. v. s. uafhængig af Kobbergødningens Art og Finhedsgrad. Undersøgelsen er som nævnt gennemført med Materiale høstet ved Modenhed. Hvorledes Forholdet er paa andre Tidspunkter i Vækstperioden, vil blive behandlet ved anden Lejlighed.

Vi vil i det følgende se paa Forsøgsresultaterne for Aarene 1939, 1940 og 1941. Ved alle Beregninger benyttes Summen af Kærnsens og Halmens Tørstofproduktion og Kobberoptagelse. Opmærksomheden skal dog henledes paa, at Forholdet fremtræder paa samme Maade, hvis Kærne og Halm behandles hver for sig. I Tabel 10 findes Tallene for Tørstofudbytte og optaget Kobber for 1939. Den optagne Kobbermængde er udtrykt i γCu ($1\gamma\text{Cu} = 0.001 \text{ mg Cu}$).

Ved nærmere Betragtning af disse Tal fremgaar det, at Tørstofproduktionen det første Forsøgsaar er afhængig af den optagne Kobbermængde og desuden i nogen Grad af Mineralernes Finhedsgrad, hvilket sidste ikke fandtes de følgende tre Aar. Paa Grund af dette noget afvigende Forhold, som der ikke kan gives nogen Forklaring paa, blev der dels dannet Middeltal for Aarene 1940—41, dels for Aarene 1939—41. I Tabel 11 er disse Middeltal anført, og i Figur 6 er Middeltallene for 1939—41 grafisk fremstillet. Af Figur 6 ses det, at Tørstofproduktionen ved Høst er en eentydig Funktion af den Kobbermængde, som

¹⁾ Den anvendte Analysemetode er kort beskrevet i et tidligere Arbejde (11)

Tabel 10. Tørstofudbytte og Kobberoptagelse 1939.

Behandling	g Cu tilført	g Tørstof pr. Kar	γ Cu pr. Kar
Grundgødet	0	13.3	206
Kobberkis II	0.57	20.2	215
do.	2.85	26.1	245
Kobberkis I	0.56	40.6	343
do.	2.70	102.8	536
Bornit II	0.52	16.4	230
do.	2.59	23.7	264
Bornit I	0.52	73.8	488
do.	2.58	117.6	734
Malakit II	0.50	32.0	442
do.	2.50	60.5	577
Malakit I	0.47	122.1	685
do.	2.34	129.2	840
Raspet Kobber	0.52	28.4	352
do.	2.58	26.4	377
Kobbersulfat	0.032	54.3	498
do.	0.128	77.2	372
do.	1.020	123.6	440

Afgrøden indeholder. Kobbermineralets Art og Finhed er uden Betydning. Ved Gennemgang af Tabellerne 10 og 11 ses det endvidere, at den optagne Kobbermængde er stærkt afhængig af Mineralets Art og Finhed. Der optages mindst fra de grove Mineraller (Finhed II). For begge Finhedsgrader I og II stiger Kobberoptagelsen fra de enkelte Kobbermineraller i Rækkefølgen: Kobberkis, Bornit og Malakit. Af Tabellerne 10 og 11 fremgaar det

Tabel 11. Merudbytte og Kobbermeroptagelse.

Behandling	g Cu tilført	Gens. 1940--41		Gens. 1939--41	
		g Tørstof pr. Kar	γ Cu	g Tørstof pr. Kar	γ Cu
Kobberkis I	0.56	54.0	401	45.1	313
do.	2.79	91.1	806	90.6	647
Bornit II	0.52	3.2	27	3.1	26
do.	2.59	20.5	188	17.1	144
Bornit I	0.52	78.6	524	72.6	443
do.	2.58	81.9	761	89.4	683
Malakit II	2.50	53.0	319	51.0	336
Malakit I	0.47	82.9	661	91.5	600
do.	2.34	85.8	889	95.8	804
Kobbersulfat	0.032	36.3	296	37.9	295
do.	0.128	83.5	556	77.0	426
do.	1.020	86.5	801	94.4	612

ydermere, at Optagelseskoefficienten falder meget stærkt for stigende Kobbertilførsler, hvilket gælder for baade Kobbersulfat og Kobberminerale.

Den fundne eentydige Funktion for Tørstofproduktionens Afhængighed af Kobberoptagelsen er desuden i Samklang med den mineralogiske Analyses Resultater. I Henhold til denne indeholdt Kobbermineraleerne under de givne Forsøgsomstændighe-

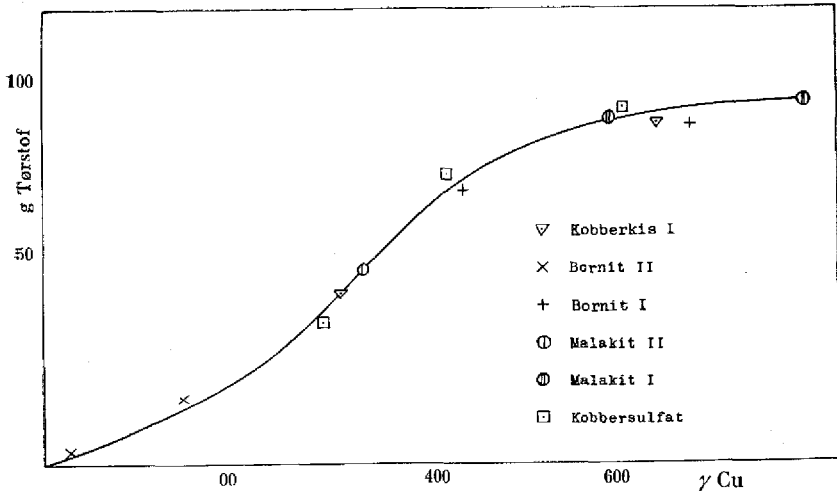


Fig. 6. Merudbytte og microoptaget Kobber. 1939-41.

der ingen Plantegifte og bortset fra Kobber heller ingen Plante-næringsstoffer. Hvis dette imidlertid havde været Tilfældet for et af Kobbermineraleerne, vilde der have været Mulighed for, at de experimentelle Data for dette Mineral ved at gengives grafisk (som i Fig. 6) havde skilt sig tydeligt ud fra de øvrige experimentelle Data. Altsammen selvfølgelig under Forudsætning af, at den konstaterede eentydige Funktion iøvrigt var ganske upaavirkelig af Gødningernes Art og Finhed.

Som det ses af Figur 6, maa Forholdet mellem den optagne Kobbermængde og Tørstofproduktionen gengives ved en S-formet Kurve. En Kurve af saa tydeligt S-formet Forløb er saavidt vides ikke iagttaget ved Arbejde med Makronæringsstoffer. I *Bondorffs* Arbejder over dette Spørgsmaal findes der saaledes ingen Angivelser (se bl. a. (12)). Ved en Undersøgelse, der gennemførtes i 1933 (13) med en stærkt manganmanglende Jord, fandtes en lignende S-formet Kurve, som her er fundet i 3 Aar

i Træk for en stærkt kobbermangelende Jord. Ved disse Undersøgelser tilførtes Planterne (Havre) Mangan paa ret forskellig Maade, dels som Manganosulfat, dels som Brunsten, endvidere tilførtes reducerende Stoffer som Rørsukker og Natriumsulfid, hvorved Jordens eget Indhold af Mangandioxyder omdannedes til Manganioner, der er tilgængelige for Planterne. De experimentelle Data fra dette Forsøg, som ikke skal gengives her,

Tabel 12. Tørstofudbytte og relativt Kobberindhold.

Behandling	g Cu tilført	g Tørstof pr. Kar Gens.	p. p. m. ¹⁾ Cu			p. p. m. ¹⁾ Cu Gens. 1939—41
			1939	1940	1941	
Grundgødet	0	7.4	14.8	19.7	15.4	16.6
Kobberkis I	0.56	52.4	8.5	8.6	7.8	8.3
do.	2.79	97.9	5.2	11.2	7.1	7.8
Bornit II	0.52	10.5	14.1	17.8	11.1	14.3
do.	2.59	24.4	11.1	11.8	9.8	10.9
Bornit I	0.52	79.9	6.6	7.2	7.5	7.1
do.	2.58	96.7	6.3	9.5	10.1	8.6
Malakit II	2.50	58.4	9.5	6.8	7.3	7.9
Malakit I	0.47	98.8	5.6	8.3	8.8	7.6
do.	2.34	103.2	6.5	11.1	10.4	9.3
Kobbersulfat	0.032	45.2	9.2	9.7	8.9	9.3
do.	0.128	84.3	4.8	7.6	6.9	6.4
do.	1.020	101.7	3.6	10.0	9.4	9.7

¹⁾ Dele pro Million Dele.

giver en enkelt Kurve af samme S-formede Forløb, som her fundet for Kobber. Iagttagelser i Marken (se senere) tyder ligeledes stærkt paa, at de fundne S-formede Kurver for Kobber og Mangan er et almindeligt Fænomen paa stærkt kobber- og manganmangelende Jord.

Den S-formede Kurve betyder, at Udnyttelseskoefficienten — den producerede Tørstofmængde i g pr. g optaget Kobber — i Begyndelsen, ved smaa optagne Kobbermængder, er stigende, for derefter at falde naar de optagne Kobbermængder yderligere stiger. Omvendt følger heraf, at Udnyttelseskoefficientens reciproke Værdi — det relative Kobberindhold — ved smaa Kobbertilførsler først maa falde for dernæst ved større Kobbertilførsler igen at stige. I Tabel 12 og Figur 7 ses det relative Kobberindholds Afhængighed af Tørstofproduktionens Størrelse, eller hvad der er det samme, dets Afhængighed af Kobbermangelens eller Gulspidssygens Styrke.

Ved Undersøgelser over Kobbermangel i Marken har man i udstrakt Grad benyttet Afgrødernes relative Kobberindhold til Vurdering af Kobbermangelens Styrke. Fremgangsmaaden er den, at man i nærtstaaende Partier af samme Afgrøde udtager

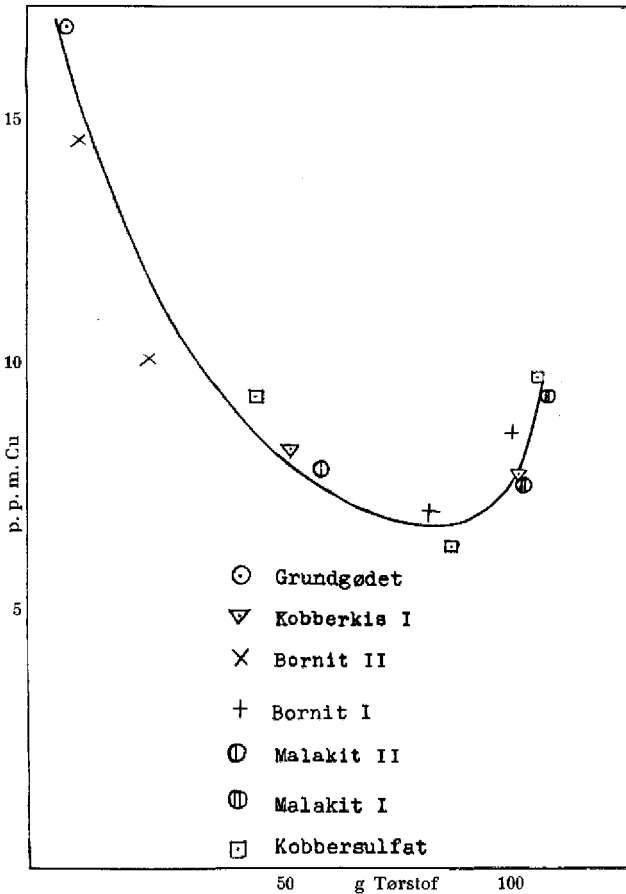


Fig. 7. Tørstofproduktion og relativt Kobberindhold. 1939-41.

Plantepøver paa Grundlag af Kobbermangelsymptomernes Styrke. I Henhold til Figur 7 er det imidlertid indlysende, at det relative Kobberindhold i disse Prøver ikke kan være nogen Rettesnor for Kobbermangelens Styrke. Man har da ogsaa ved den Art Undersøgelser snart fundet et højere, snart et lavere Kobberindhold i den kobbermanglende end i den ikke kobber-

manglende Afgrøde, ofte har Indholdet været omtrent lige stort. Ogsaa Forfatteren har gentagne Gange — ved Arbejde med Mangan og Kobber under Markforhold — fundet dette tilsyneladende mærkelige Forhold. Enhver Anvendelse af den samlede Afgrødes relative Kobberindhold som Udtryk for en større eller mindre Kobbermangel er altsaa udelukket, fordi man ikke paa Forhaand ved, i hvilket Omraade (se Fig. 7) man befinder

Tabel 13. Relativt Kobberindhold i forskellige Plantedele. Gens. 1939—41¹⁾.

Behandling	g Cu tilført	p. p. m. Cu		
		Gold Kærne	Normal Kærne	Halm
Grundgødet	0	—	—	16.6
Kobberkis I	0.56	9.3	3.8	8.5
do.	2.79	10.0	4.2	12.5
Bornit II.	0.52	—	—	14.4
do.	2.59	7.0	—	11.0
Bornit I	0.52	10.9	2.7	9.4
do.	2.58	15.7	4.5	13.1
Malakit II.	2.50	5.5	4.0	8.3
Malakit I	0.47	28.1	4.4	11.0
do.	2.34	16.5	5.3	13.4
CuSO ₄ , 5 H ₂ O	0.032	5.0	2.2	9.6
do.	0.128	10.8	2.3	9.3
do.	1.020	11.7	4.7	10.9

¹⁾ Middeltallene er for Størstedelens Vedkommende dannet af 3 Værdier, i nogle Tilfælde af 2 Værdier. Hvis der kun fandtes een Værdi, er den ikke anført.

sig. Dette, at man ved Iagttagelser under Markforhold Gang paa Gang har fundet et betydeligt højere Kobberindhold og Manganindhold i de syge Afgrøder end i de sunde Afgrøder (ogsaa omvendt), tyder som nævnt meget stærkt paa, at de ved Karforsøg for Kobber og Mangan fundne S-formede Kurver er almindelige paa kobber- og manganmanglende Jord.

I Forbindelse med det i det foregaaende anførte vedrørende Forløbet af den Kurve, der gengiver Forholdet mellem den samlede Tørstofproduktion og Afgrødens relative Kobberindhold, var det ikke uden Interesse at undersøge de enkelte overjordiske Afgrødedeles relative Kobberindhold. Igennem alle tre Aar (1939—41) blev Kobberindholdet bestemt i normal Kærne, i gold Kærne og i Halm. I Tabel 13 findes Middeltal for Aarene. Den golde Kærnes meget høje relative Kobberindhold falder straks

i Øjnene. Aarsagen er antagelig den, at det meste af Kærnenes Kobber findes i Avnerne. Desuden ses det, at den i Fig. 7 fundne Sammenhæng som Helhed genfindes for normal Kærne og for Halm, men ikke for gold Kærne, hvor det relative Kobberindhold i store Træk er stigende med stigende Afgrødestørrelse.

Paa Grundlag af Kurverne for Merudbyttet som Funktion af den meroptagne Kobbermængde, og den meroptagne Kobbermængde som Funktion af den tilførte Kobbermængde, beregnes rent grafisk — paa Grundlag af Frihaandskurver — Værdital for Kobberkis I, Bornit I og Malakit I med Kobbersulfat som Standardgødning. Eksempelvis findes nedenfor saadanne Værdital beregnede paa Grundlag af Middeltallene for de to Aar 1940 og 1941.

Merudbytte 83.5 g Tørstof	Meroptaget 600 γ Kobber	Værdital
Kobberkis I		0.14
Bornit I		0.20
Malakit I		0.06
CuSO ₄ , 5 H ₂ O		1.00
Merudbytte 58.0 g Tørstof	Meroptaget 400 γ Kobber	
Kobberkis I		0.10
Bornit I		0.27
Malakit I		0.32
CuSO ₄ , 5 H ₂ O		1.00

Ved at benytte Gennemsnitstallene for 1939—41 varierede Tallene noget mere, men Gangen i Værditalene var den samme (se desuden de Side 579 beregnede Værdital).

Ved de i det foregaaende anførte Beregninger over de forskellige Kobbermineralers Værdiforhold, blev der regnet med de Kobbermængder, som tilførtes i 1939, uden Hensyn til, at der gennem Aarene blev fjernet Kobber. Dette kunde gøres, fordi den Kobbermængde, der aarlig fjernes med Afgrøderne, er ganske uden Betydning, sammenlignet med den tilførte Kobbermængde. Heller ikke ved Beregning af Optagelseskoefficienter var det nødvendigt at tage Hensyn til de fjernede, yderst smaa Kobbermængder. Nedenstaaende findes en Opgørelse over det i 1939—41 fjernede Kobber samt Resultatet af en Beregning af Optagelseskoefficienterne for de enkelte Aar.

Forsøgsled	1939—41		Optagelseskoefficienter $\times 1000$		
	mgCu tilført	mgCu fjernet	Kærne + Halm		
	pr. Kar	pr. Kar	1939	1940	1941
Grundgødet	0	0.37	—	—	—
Kobberkis I	560	1.31	0.25	0.80	0.63
do.	2790	2.31	0.12	0.30	0.22
Bornit II	520	0.45	0.05	÷0.01	0.11
do.	2590	0.81	0.02	0.07	0.07
Bornit I	520	1.70	0.55	0.94	1.09
do.	2580	2.42	0.21	0.28	0.31
Malakit II	2500	1.38	0.15	0.09	0.16
Malakit I	470	2.17	1.03	1.42	1.42
do.	2340	2.78	0.27	0.43	0.33
CuSO ₄ , 5H ₂ O	32	1.26	9.14	9.12	9.37
do.	128	1.65	1.30	4.34	4.35
do.	1020	2.21	0.23	0.88	0.69

Af disse Tal fremgaar det, at de i det foregaaende anførte Beregninger over Værdital m. m. har kunnet foretages ganske uden Hensyn til de gennem Aarene fjernede, gennemgaaende yderst smaa Kobbermængder. For Optagelseskoefficienterne, der ogsaa er beregnede uden Hensyntagen til de gennem Aarene fjernede Kobbermængder, findes ingen tidsbestemt Variation, Optagelseskoefficienterne er nogenlunde konstante. Det maa her erindres, at Jordens Vandindhold kunde holdes ret konstant gennem disse tre Aar. Derimod falder Optagelseskoefficienterne som ventet stærkt med stigende Kobbertilførsel.

Optagelseskoefficienterne er meget smaa, saa smaa at Eftervirkningen, hvis Kobberet ikke bindes meget fast i Jorden, vil strække sig over adskillige Aar og være af ret konstant Størrelse. Særlig en Gødskning med Kobbermineraller, som maa blive betydelig billigere end en Gødskning med Kobbersulfat, vil derfor i sin Virkemaade og Varighed absolut kunne sidestilles med en Grundforbedring, naar man ved en Grundforbedring forstaar en Foranstaltning, der gaar ud paa at forbedre en given Jords Produktivitet i en længere Aarrække. En Anvendelse af Kobbermineraller til kobbermangelende Jord vil derfor, hvad angaar Behandlingens Varighed, fuldt ud kunne sidestilles med en Grundforbedring som f. Eks. Kalkning. Der er endog Mulighed for, at en Gødskning med Kobber i Form af et Kobbermineral i sin Virkning vil være betydelig længere end en Kalkning, idet det maa antages, at et Kobbermineral kan eksistere i Jorden i Aarevis og stadig afgive det fornødne Kobber.

Det har iøvrigt ved disse Forsøg vist sig, at Partikler af Kobberkis II, Bornit II og Malakit II i Efteraaret 1942 kunde isoleres fra Jorden. Endvidere isoleredes i Efteraaret 1939 Bornit I fra Jorden i Karrene. Naar Karforsøgene engang afsluttes, vil det blive undersøgt, om de i Foraaret 1939 tilførte Mineralpartikler stadig findes i Jorden.

5. Kobbermineralernes Overflade og Værdiforhold.

Af det foregaaende fremgaar det, at Mineralets Findeling, Overfladens Størrelse, er af fundamental Betydning for Virkningen. Dette Forhold er iøvrigt velkendt fra Undersøgelser over andre tungtopløselige Gødninger som f. Eks. Thomasfosfat.

I de to foregaaende Afsnit er Spørgsmaalet om Kobbermineralernes Værdiforhold behandlet uden Hensyn til, at Mineralernes Finmaling, som det fremgaar af Analyserne paa Side 565 er meget forskellig. Værdiforholdene beregnedes paa Grundlag af de tilførte Vægtmængder Kobber. Det er imidlertid indlysende, at en virkelig Vurdering af Mineralernes Værdiforhold kun kan udføres, saafremt Finmalingen for de forskellige Mineraler er den samme pr. Vægtenhed. At opnaa dette er imidlertid meget vanskeligt.

Som det skal vises i det følgende, kan Merudbyttet udtrykkes som en eentydig Funktion af det anvendte Minerals Overflade. Kurver, som udtrykker Sammenhængen mellem Merudbyttets Størrelse og Mineralets Overflade, kan imidlertid ogsaa betragtes som Kurver, der udtrykker Sammenhængen mellem Merudbyttets Størrelse og tilførte stigende Vægtmængder af forskellige Kobbermineraler af samme Finhed pr. Vægtenhed. Afsettes Merudbyttetalene for de forskellige Kobbermineraler som Funktion af Overfladens Størrelse, bliver Ræsonnementet altsaa følgende: For at opnaa samme Merudbytte kræves der for de forskellige Mineraler en forskellig Overflade. Hvis man nu tænker sig, at den stigende Overflade var fremkommet ved at tilføre stigende Vægtmængder af de forskellige Kobbermineraler med nøjagtig samme Overflade pr. Vægtenhed, saa vil Overfladens Størrelse være ligefrem proportional med den tilførte Vægtmængde. Heraf følger, at Mineralernes sande Værdiforhold maa kunde bestemmes ved Forholdet mellem de Overfladestørrelser, der giver samme Merudbytte.

De fundne Kurver for Merudbyttets Afhængighed af Overfladen kan for det enkelte Mineral betragtes som eentydige. Spørgsmaalet er imidlertid, om Overfladens Fordeling i Voksemediet kunde tænkes at give Anledning til Afvigelser. En Fordeling af 100 cm² Overflade i samme Mængde Voksemedium enten paa et stort Stykke Mineral eller paa f. Eks. 100.000 smaa Mineralpartikler vilde antagelig ikke være uden Indflydelse. Saa ekstreme Forhold vil man dog næppe nogensinde komme ud for.

Forudsætningen for at kunne gennemføre den foran beskrevne Analyse er selvfølgelig, at man kan skaffe sig nogenlunde Udtryk for Størrelsen af de anvendte Kobbermineralers Overflade. De i Tabel 14 anførte Overflader er beregnede paa

Tabel 14. Merudbytte og Overflade. 1939—41.

Kobbermineral	g Cu tilført	Overflade i cm ²	Gens. Merudbytte g Tørstof
Kobberkis II	0.57	15.6	—
do.	2.85	77.6	—
Kobberkis I	0.58	668	45.1
do.	2.79	3333	90.6
Bornit II	0.52	6.7	3.1
do.	2.59	34.3	17.1
Bornit I	0.52	136	72.6
do.	2.58	693	89.4
Malakit II	0.50	8.6	—
do.	2.50	43.2	51.0
Malakit I	0.47	514	91.5
do.	2.34	2577	95.8

Grundlag af Finhedsanalyserne Side 565 under Hensyntagen til den mineralogiske Analyses Resultater samt den for de enkelte Kobbermineraler kendte Vægtfylde. Ved Beregningerne anvendes Klassegrænsernes Midterværdi som gennemsnitligt Maal for de enkelte Fraktioners Kornstørrelse. Overfladerne er beregnede ud fra den Antagelse, at Partiklerne — Brudstykkerne — for alle tre Mineraler, Kobberkis, Bornit og Malakit var kubiske Terninger. Dette er dog ikke Tilfældet. Under Mikroskopet kan der imidlertid ikke iagttages nogen udpræget Forskel paa Formen af de tre Mineralers Brudstykker. Hvis man derfor gaar ud fra, at Brudstykkerne i Gennemsnit har nogenlunde samme Form, maa Forholdet mellem de forskellige Mineralers Overfladestørrelse være uafhængig af, om Brudstykkerne beregnes

som Terninger, Pyramider, Tetraedrer, eller en hvilken som helst anden Form¹⁾.

Paa Grundlag af Tabel 14 kan det beregnes, at pr. Vægt-enhed har Bornit I ca. 20 Gange saa stor Overflade som Bornit II; for Kobberkis I er Overfladen ca. 43 Gange saa stor som for Kobberkis II, og endelig har Malakit I en ca. 60 Gange saa stor Overflade som Malakit II. Hvis man for det enkelte Mineral

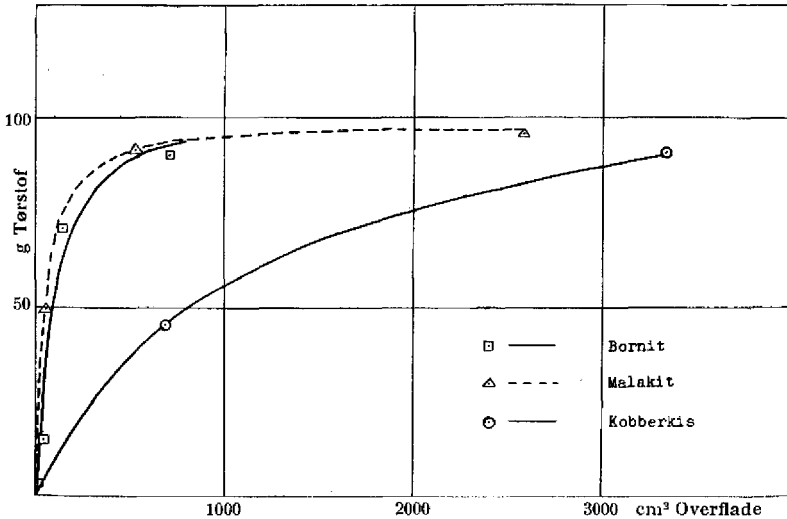


Fig. 8. Merudbytte og Overflade. 1939—41.

reducerer de i Finhed II tilførte Kobbermængder i Henhold til Forholdet mellem Størrelsen af Mineralets Overflader i Finhederne I og II, finder man, at de eksperimentelle Data følger en enkelt Kurve. Ved at beregne Merudbyttetallene for 1939 paa denne Maade faas Kurver, der svarer til de i Fig. 8 tegnede Kurver. Disse Kurver er tegnede paa Grundlag af Middeltallene 1939—41.

Til Sammenligning med de Værdital, der kunde beregnes uden Hensyntagen til Mineralernes forskellige Finhed, blev der paa Grundlag af Middeltallene i Tabel 14 beregnet Værdital for Kobberkis, Bornit og Malakit, med Malakit som Standardgød-

¹⁾ I Modsætning til Kobberkis og Bornit, der ikke har nogen tydelig Spaltelighed, spalter Malakit i Lag efter bestemte Planer saaledes, at Overfladen pr. Rumfangsenhed efter Nedmaling i Virkeligheden maa blive noget større for dette Mineral end for Kobberkis og Bornit.

ning. Der er regnet med et gennemsnitligt Kobberindhold i de tre Mineraler paa henholdsvis 34.6²⁾, 61.6¹⁾ og 57.5²⁾ pCl.

v	t i cm ² Mineraloverflade			Gens. Værdital	t i Vægtenheder Cu		
	Mala- kit	Kobber- kis			Mala- kit	Kobber- kis	Gens. Værdital
9.95	4.54	100			2.61	34.6	
18.40	9.28	200	0.05		5.34	69.2	0.08
31.95	19.89	400			11.15	138.4	
42.35	30.46	600			17.52	207.6	
		Bornit				Bornit	
55.32	51.70	100			29.73	61.6	
72.51	112.68	200	0.66		64.79	123.2	0.62
85.35	274.11	400			157.61	246.4	
91.48	524.73	600			301.72	369.6	

Desuden blev Værditalene ved Hjælp af Hyperbelligningen og paa Grundlag af Konstanterne i Tabel 9 beregnet paa sædvanlig Maade; ogsaa ved denne Beregning benyttedes Malakit som Standardgødning.

Mineral	v	Gens. Værdital
Kobberkis	25.34	
do.	41.93	0.05
do.	53.63	
do.	62.33	
Bornit	81.85	
do.	78.25	0.16
do.	71.93	
do.	57.90	

Af Beregningerne fremgaar det, at Værdiforholdene for Cu i Kobberkis I, Bornit I og Malakit I ikke er henholdsvis 0.05, 0.16 og 1.00, som beregnet paa Grundlag af Kurverne for Sammenhængen mellem tilført Kobber i g og Merudbyttet i g Tørstof, uden Hensyn til den forskellige Finhed i Kobberminerallerne. De virkelige Værdiforhold mellem Kobberet i disse tre Mineraler er henholdsvis 0.12, 0.55 og 1.00, og det findes ved at beregne de Overflader (Vægtenheder) Kobbermineral, der giver samme Merudbytte, idet de fundne Vægtenheder Kobbermineraller omregnes til Kobber.

Da Malakit baade i Henhold til disse og andre Forsøgsresultater antagelig har samme Værdi som Kobbersulfat, bety-

¹⁾ I Henhold til Analyse.

²⁾ I Henhold til Formel.

der disse Resultater, at ved samme Finmaling af alle Kobberminerallerne pr. Vægtenhed Mineral vil Kobbersulfat, Malakit og Bornit (med Kobberglans) ligge i en Klasse for sig. Kobberkis maa males meget fint, hvis det skal kunne klare sig for Malakit og Bornit.

Af betydelig praktisk Interesse er desuden en Bestemmelse af det gunstigste Forhold mellem Kobbermængde og Overflade ved varierende Kobberpriser, Priser for Finmaling og Afgrødepriser. Af Tabel 14 ses det f. Eks., at Merudbyttet for $\frac{1}{2}$ g Cu i Bornit II er 3.1 g Tørstof, medens samme Kobbermængde i Bornit I giver et Merudbytte paa 72.6 g Tørstof. Sættes Prisen paa Merudbyttet fast, betyder det, at man f. Eks. ved høje Kobberpriser og relative lave Priser paa Kraft til Finmaling eventuelt vil kunne opnaa en økonomisk Fordel ved særlig kraftig Finmaling af en given Kobbermængde. Omvendt ved lave Priser paa Kobber og relativt høje Priser paa Kraft.

En økonomisk Anvendelse af tungtopløselige Gødninger kræver altsaa foruden Hensyntagen til Merudbyttets og Næringsstoffets Pris pr. Vægtenhed desuden, at Prisen paa Mineralelets Finhed (Overflade) tages i Betragtning. For saadanne Gødninger bør en detailleret Finhedsanalyse medfølge. En Angivelse af, at Gødningen har kunnet passere Sigte Nr. 200¹⁾ (Tylers System), hvilket blot vil sige, at Partiklerne er mindre end ca. 70 μ , er derfor ikke tilfredsstillende.

Ved samme Finhedsgrad maa Malakit og antagelig ogsaa Bornit (se dog Afsnittet: b. Fysiske og kemiske Variationer) foretrækkes frem for Kobberkis, hvis Prisen pr. kg Kobber i Marken er den samme. Kobberkis kan imidlertid udmærket anvendes, naar blot det males tilstrækkeligt fint. Hvilken Værdi Cuprit har i Forhold til de øvrige prøvede Kobbermineraller, kan ikke bestemmes paa Grundlag af Forsøget i 1937. Der er imidlertid nogen Sandsynlighed for, at Cuprit i sin Virkning staar nærmere Bornit og Malakit end Kobberkis.

Oversigt.

Karforsøgenes Formaal var at afgøre, om Kobbermineraller kunde anvendes som Kobbergødning. I bekræftende Fald maatte det desuden i Hovedtræk undersøges, dels hvilke Mineraller der

¹⁾ En Traadsigte med 200 Masker pr. engelsk Tomme.

egnede sig bedst, dels Størrelsesordenen af den Finhedsgrad i hvilken de burde anvendes.

Undersøgelserne udførtes dels paa Grundlag af Udbyttebestemmelser af Kærne og Halm, dels ved Hjælp af Analyser af Kærnens og Halmens Kobberindhold.

Følgende Kobberminerale prøvedes: Kobberkis, Bornit med Kobberglans, Cuprit og Malakit. Til Orientering prøvedes desuden forskellige tungtopløselige Kobberforbindelser fremstillet ad teknisk Vej.

Mineralerne underkastedes en mineralogisk og en kemisk Analyse; desuden bestemtes deres Finhed. I Tilknytning hertil behandles Mineralernes fysiske og kemiske Variationer og deres mulige Betydning for Gødningsværdien.

Paa Grundlag af de Kurver, der gengiver Sammenhængen mellem Merudbyttet i g Tørstof og den tilførte Kobbermængde i g Cu, blev Værditallet beregnet med Kobbersulfat som Standardgødning. Ved denne indledende Beregning blev der ikke taget Hensyn til Kobbermineraleernes forskellige Finhed.

Da det imidlertid viste sig, at Merudbyttet for samme Mineral var en eentydig Funktion af Mineralets Overflade, var det ved en særlig Betragtningssmaade muligt at beregne Kobbermineraleernes sande Værdital, d. v. s. det Værdital, der kunde beregnes direkte, saafremt det var muligt at anvende Mineralerne i nøjagtig samme Finhedsgrad. Dette Værdital bør altid bestemmes ved Sammenligninger af tungtopløselige Gødninger af samme Art, men af forskellig Finhed.

Ved samme Finhedsgrad kan Mineralerne anføres i følgende Rækkefølge med aftagende Gødningsværdi: Malakit, Bornit, Kobberkis. Cuprits Gødningsværdi ligger muligvis et Sted mellem Malakits og Bornits Værdier. Sandsynligheden for, at denne Rækkefølge bibeholdes ved fremtidige Forsøg med Kobberminerale fra forskellige Egne af Jorden, diskuteres.

Ved Finmalingen øges Mineralernes Gødningsværdi. En ekstra Finmaling af Kobberkis gør derfor dette fuldt anvendeligt som Kobbergødning, hvilket Markforsøgenes Resultater har bekræftet.

Spørgsmaalet om Kobbermineraleernes sandsynlige Eftervirkning behandles. I de forløbne 4 Aar (med 1942) har Eftervirkningen været af samme Størrelse som 1. Aars Virkningen.

De indvundne Resultaters almindelige Betydning for Gødningslæren behandles. Blandt andet vises det, at Stofproduktionen er eentydig Funktion af den optagne Kobbermængde. Denne

Sammenhæng udtrykkes gennem alle Aarene ved en S-formet Kurve. Konsekvensen heraf fremhæves med særligt Henblik paa en Anvendelse af Planternes relative Kobberindhold til Bedømmelse af en given Jords Kobbermangel.

English Summary.

Copper in Soils and Cultivated Plants. II.

Investigations on the Fertilizing Value of Copper Minerals.

The purpose of this investigation which was performed as pot experiments in the years 1937—41 was to try if copper minerals could be used as copper fertilizers. If this was possible, the purpose further was, partly to investigate which minerals were the best ones, partly to estimate the degree of fineness in which they ought to be used in future field experiments.

The following copper minerals were used: Copper pyrites (chalcopyrite), bornite with an admixture of copper glance (chalcocite), red copper ore (cuprite) and malachite. In 1937 a chemical — pulverized cupric oxide — and further metallic copper in two different degrees of fineness were tried as well. The effect the first year and the residual effects the following years of these substances were compared to that of copper sulphate.

The minerals were mineralogically and chemically investigated. Moreover six to eight different fractions of particle size were determined in each of the minerals, i. e. a real analysis of fineness was made, not only a sieving analysis, for instance with sieve No. 200 (Tyler). In connection with these analyses the importance of the physical and chemical variations of the minerals is discussed, especially with reference to a possible constant fertilizing value of each of the minerals tried.

The experiments show that the increase in yield is a function of the surface of the mineral in question regardless of the amount of copper added. On this basis it is possible to compare the different minerals as though they were all added in exactly the same degree of fineness (surface) per unit of gravity but in different amounts. When the problem is viewed in this way a true comparison of the fertilizing value of the different minerals is made possible. This method always ought to be used when sparingly soluble fertilizers are compared; only that rather thorough analyses of fineness of the fertilizers in question are required, and further, as here shown, a thorough consideration of other facts with a bearing upon the problem. Computed in this way the fertilizing values of the copper minerals are decreasing in the following order: Malachite, bornite with copper glance and copper pyrites. The value of cuprite, which

was only tried in 1937, possibly lies between bornite (with copper glance) and malachite.

The fertilizing value of the minerals is increased by increased fineness. So field experiments in 1941 have shown that when copper pyrites is ground very fine, its effect compares well with that of copper sulphate.

The problem of the probable duration of the residual effect of copper minerals and copper sulphate is discussed. In the series of pot experiments started in 1939 the minerals were added only this year and the residual effects did not decrease in 1940, 1941 and 1942 as compared to the effects in 1939. So there is no doubt that the residual effect of copper minerals and copper sulphate is very considerable. This is also evident from the very small coefficients of absorption for copper which were observed during all years.

It is shown that the production of dry matter (harvested and analysed at maturity) is a function of the absorbed amount of copper regardless of the copper fertilizer and degree of fineness. Further, this relationship during all years is expressed as an S-shaped curve. In consequence of this it is shown that the relative copper contents of the dry matter cannot be used as a measure of the copper deficiency of a certain soil, because the relative copper contents of the dry matter must first decrease and then increase as the copper deficiency of the soil decreases. This result is confirmed by observations in the field.

Several other problems in connection with copper manuring are discussed.

Litteratur.

1. *Steenbjerg, F.*: Kobber i Jord og Kulturplanter. Med særligt Henblik paa Gulspidssyge. Tidsskr. f. Planteavl. 45. 259. 1940.
- 1a. *Zenyuk, A. V.*: The utilization of by-products containing copper and ores of a low copper content as fertilizers for marsh soils. Khimizatsiya. Sotzialist. Zemledeliya. (Moscow). 1935. No. 5. pp. 45—53. Ref. i C. A. 30. 1168. 1936.
2. *Nicolaisen, W., Seelbach, W. og Leitzke, B.*: Untersuchungen über die Bekämpfung der Heidemoorkrankheit mit Kupferschlacke. Bodenk. u. Pflanzenernähr. 13. 156. 1939.
3. *Nicolaisen, W.*: Gefäss- und Feldversuche mit Kupferschlacke. Bodenk. u. Pflanzenernähr. 20. 207. 1941.
4. *Nieschlag, F. og Westerhoff, H.*: Eine kupferhaltige Schlacke als Ersatz für Kupfersulfat in der Bekämpfung der Heidemoorkrankheit. Bodenk. u. Pflanzenernähr. 20. 225. 1941.
5. *Brüne, Fr.*: Gefäss- und Feldversuche über die Brauchbarkeit einer gemahlene Kupferschlacke der Norddeutschen Raffinerie-Hamburg als Kupferdünger. Bodenk. u. Pflanzenernähr. 20. 199. 1941.
6. *Steenbjerg, F.*: Kiskaske. En Kobbergødning til Bekæmpelse af Gulspidssyge. Jydsk Landbrug. 22. 421. 1940.

7. *Steenbjerg, F.*: Mineralske Kobbergødninger. Ugeskr. f. Landmænd. 87. 121. 1942.
 8. *Andreasen, A. H. M. og Berg, S.*: Beispiele der Verwendung der Pipette-methode bei der Feinheitsanalyse unter besonderer Berücksichtigung der Feinheitsuntersuchungen von Mineralfarben. Beihefte zu den Zeitschriften des Vereins Deutscher Chemiker, »Angewandte Chemie« und »Die Chemische Fabrik«. Nr. 14. 1925.
 9. *Bondorff, K. A.*: En Udbyttekurve. Tidsskr. f. Planteavl. 40. 825. 1935.
 10. 40. og 41. Beretning om Planteavlsarbejdet i Landboforeningerne i Jylland. 1940 og 1941.
 11. *Steenbjerg, F. og Boken, Else*: Mangan, Kobber og Bor i Vaarsæd paa forskellige Udviklingsstadier. Tidsskr. f. Planteavl. 47. 100. 1942.
 12. *Bondorff, K. A.*: Landbrugets Jorddyrkning II. Gødningslæren. 243. 1939.
 13. *Steenbjerg, F.*: Undersøgelser over Manganindholdet i dansk Jord. II. Det ombyttelige Mangan og dets Afhængighed af Gødskning og Jordbehandling. Tidsskr. f. Planteavl. 40. 337. 1934.
-