

Om danske landbrugsjorders magnesiumtilstand og afgrødernes magnesiumforsyning

Ved AAGE HENRIKSEN

679. beretning fra Statens Forsøgsvirksomhed i Plantekultur

Nærværende beretning redegør for fortsatte undersøgelser over danske jorders magnesiumindhold og magnesiumbalance, belyst ved kemiske analyser. Analysearbejdet er udført ved Statens Planteavlslaboratoriums jordbundskemiske afdeling i Vejle og heretningen er udarbejdet af afdelingsbestyrer *Aage Henriksen*.

Forstanderne ved Statens Forsøgsvirksomhed i Plantekultur

Indledning

Spørgsmålet om anvendelse af magnesiumholdige gødninger i dansk landbrug har været genstand for stigende interesse i de senere år. Baggrunden herfor må søges i den kendsgerning, at de visuelle symptomer på magnesiummangel år for år tiltager i styrke og udbredelse hos adskillige af vore kulturplanter, hvilket lader formode, at mangel på magnesium er eller snart kan blive den begrænsende faktor for planteproduktionen på mange lokaliteter. De seneste års resultater fra markforsøg med magnesiumtilførsel bekræfter dette.

Årsagerne til denne udvikling står alle, direkte eller indirekte, i forbindelse med de ændringer i gødningsanvendelsen, som har fundet sted i de senere år. Navnlig spiller det en rolle, at kravene til jordens magnesiumindhold er øget på grund af det stigende udbyttelniveau, og ligeledes bliver der flere kvægløse landbrug, hvor størsteparten af den optagne magnesiummængde fjernes fra jorden ved salg af planteprodukterne. Hertil kommer, at tilførslen af magnesium med handelsgødning er blevet stærkt reduceret efter overgangen fra anvendelse af lavprocentig til 50 eller 60 pct. kaligødning. Tillige ved vi, at der er en stærk vekselvirkning mellem magnesium og andre plantenæringsstoffer. Kaliumtilførsel

nedsætter således magnesiumoptagelsen, og samme virkning har tilførsel af ammoniakkvælstof, navnlig ved sur reaktion. Derimod virker nitratkvælstof fremmede på magnesiumoptagelsen.

De stedfundne ændringer i gødningsanvendelsen har således ikke alene forringet vore jorders magnesiumtilstand, men også planternes muligheder for at optage stoffet, og der er herefter adskilligt der taler for, at magnesiumproblemet stedse vil blive alvorligere i de kommende år, om der ikke træffes modforanstaltninger.

Imidlertid har en stor del af vore jorder ret betydelige magnesiumreserver, som i et kortere eller længere åremål vil være istand til at dække magnesiumunderskuddet, idet der fra reserverne overføres magnesium til ombyttelig form gennem forvitring. Dette gælder således for mange ler- og humusjorder, men anderledes stiller forholdet sig på en række sandjorder. Her er reserverne og følgelig magnesiumfrigørelsen ved forvitring mindre eller måske for langsomt forløbende til at opretholde en magnesiumtilstand, som sikrer afgrøderne optimal forsyning hele vækstperioden igennem.

Markforsøg med tilførsel af magnesium er den direkte vej til at konstatere, hvor magnesiummangelen er så udtalt, at den resulterer i udbyttenedgang. Et sådant forsøgsarbejde er da også taget op af Statens Forsøgsvirksomhed i Plantekultur samt i større målestok i den lokale forsøgsvirksomhed under Fosforsyng og Kaliudvalgets ledelse. Dog vil det være uoverkommeligt ad denne vej alene at få et blot nogenlunde detaljeret kendskab til danske jorders magnesiumtilstand; ej heller kan markforsøg give oplysning om størrelsesordenen af magnesiumreserverne. Kemiske jordbundsanalyser og markforsøg kan følgelig ikke erstatte, men derimod i høj grad supplere hinanden.

I nærværende beretning fremlægges resultaterne af et stort antal kemiske magnesiumbestemmelser i danske dyrkede jorder. En stor del af analyserne er udført som supplement til markforsøg eller visuelle bedømmelser af symptomer på magnesiummangel hos forskellige afgrøder, men tillige indgår magnesiumbestemmelser i et materiale af jordprøver, udtaget systematisk i landets forskellige egne.

Analysemetoder

1. OMBYTTTELIGT MAGNESIUM

I en tidligere afhandling (JENSEN og HENRIKSEN, 1954) er beskrevet to væsensforskellige metoder til bestemmelse af jordens magnesiumindhold, en kemisk og en biologisk. Begge metoder blev anvendt på ialt 396 jordprøver og viste som helhed udmærket overensstemmelse. Eksempelvis fandtes i et materiale på 289 sandjorder en korrelationskoefficient på + 0.90 mellem resultaterne af de to metoder, som således måtte anses for at angive omtrentlig samme fraktion, nemlig jordens ombyttelige magnesium. Den biologiske bestemmelse er imidlertid betydelig mere arbejdskrævende og vanskeligere at udføre, og siden begyndelsen af 1955 er derfor alle magnesiumbestemmelser i jord udført efter den kemiske metode, som dog i 1957 er undergået visse ændringer af rent teknisk art; de foretagne ændringer vedrører dog kun selve den kompleksometriske bestemmelse af jordekstrakternes magnesiumindhold og påvirker ikke tallenes størrelsesorden. I det følgende gives en redegørelse for de indførte ændringer i metodiken, medens der om princippet for den kompleksometriske bestemmelse må henvises til JENSEN og HENRIKSEN (1954) eller til en mere udførlig beskrivelse af SCHWARZENBACH (1955).

Oprindelig bestemtes jordekstrakternes magnesiumindhold som differens mellem en totaltitrering af magnesium + calcium med eriochromsort og en særskilt titrering af calcium med murexid som indikator. Denne fremgangsmåde er enkel og hurtig og kan ved omhyggeligt arbejde give udmærket reproducerbare resultater; dog er den mindre velegnet til rutineanalyser, da calciumtitreringens slutpunkt kan være vanskeligt at erkende med sikkerhed. Dette gælder navnlig i vintermånederne, hvor lysforholdene ofte er dårlige, og under alle omstændigheder kræver det megen øvelse at udføre denne titrering med den fornødne præcision.

Disse vanskeligheder afspejler sig i den kemiske litteratur i form af et stort antal afhandlinger om den kompleksometriske calciumbestemmelse, og flere nye calciumspecifikke indikatorer er foreslået. Nogle af disse (murexid + naphtholgrün B; calcein; calconcarbonsyre) blev afprøvet, men fandtes ikke bedre egnede

end murexid. Endvidere blev flammefotometrisk og komplexometrisk calciumbestemmelse sammenlignet i forbindelse med et andet arbejde (HENRIKSEN, 1960). Den komplexometriske metode gav de bedst reproducerbare resultater, medens andre foreliggende muligheder alle var for arbejdskrævende til rutinebrug.

Der forelå herefter kun den mulighed at bestemme magnesium direkte efter forudgående fjernelse af calcium. I litteraturen findes flere bidrag til dette problem i forbindelse med efterfølgende komplexometrisk magnesiumbestemmelse af forskellig art; man har således foreslået fældning af calcium som wolframmat (SHAPIRO og BRANNOCK, 1952), oxalat (BANEWICZ og KENNER, 1952), sulfat (HARVEY o.a., 1953) eller sulfid (GEHRKE o.a., 1954). De resulterende calciumsalte er stedse mere eller mindre opløselige i komplexon og må derfor fjernes før magnesiumtitreringen.

Efter en afprøvning af de refererede udfældningsmetoder valgtes oxalatmetoden som den mest velegnede under de givne betingelser. Ifølge BANEWICZ og KENNER (1952) adskilles calcium fra magnesium på følgende måde: I et 250 ml bægerglas afpipetteres 50 ml jordekstrakt som opvarmes til nær kogning. Derpå tilsættes langsomt og under omrøring 10 ml 0.1-normal ammoniumoxalat, og blandingen henstår 1 time ved ca. 70°C. Efter afkøling frafiltreres det udfældede calciumoxalat på et Whatman-filter nr. 42.

For at gøre metoden så enkel som muligt var det imidlertid ønskeligt at kunne undlade opvarmningen og foretage udfældningen ved stuetemperatur. Dette kan, ifølge KOLTHOFF og SANDELL (1943), lade sig gøre uden større tab af magnesium ved medudfældning, end hvis udfældningen sker fra en 70° varm opløsning. Fældning fra kold opløsning har den ulempe, at det resulterende bundfald bliver fint og vanskeligere lader sig frafiltrere og udvaske, men ved brug af et hårdt filtrerpapir (f.eks. Schleicher & Schüll 589/3) og tilbagehældning af den først gennemløbne del af filtratet kan der dog uden vanskelighed opnås fuldstændig tilbageholdelse på filtret. Udvasningen af de små bundfald, som fremkommer ved udfældning af calcium fra 40 ml jordekstrakt, volder ingen vanskeligheder. Dog må man påse, at filtratet virkelig er klart, idet eventuelt gennemløbet calciumoxalat delvis vil blive medtitreret og føre til for høje resultater af

magnesiumbestemmelsen. Endelig bliver den kvantitative frafiltrering betydelig vanskeligere, hvis vædsketemperaturen ligger væsentligt under ca. 20°C. Efter vor erfaring var det ikke muligt at opnå klare filtrater ved udfældningstemperatur på ca. 10°C.

Ved fastsættelsen af oxalatomængden er der to forhold at tage hensyn til. For det første må der nødvendigvis tilsættes et sådant overskud af oxalat, at calcium udfældes kvantitativt, samtidig med at magnesium holdes i opløsning, men på den anden side må overskuddet begrænses til det mindst mulige, idet større mængder af fri oxalationer vanskeliggør den kompleksometriske magnesiumbestemmelse. Efter en del undersøgelser herover fastsattes oxalattilsætningen til 1 ml mættet ammoniumoxalatopløsning (ca. 20°C) pr. 10 ml jordekstrakt. I denne ekstraktmængde findes normalt mellem 1 og 10 mg Ca; disse ekstreme mængder udfældedes kvantitativt, og bestemmelsen af titreringens slutpunkt blev ikke vanskeliggjort. Ved forøgelsen af oxalatomængden til 1.5 ml pr. 10 ml jordekstrakt opstod der begyndende vanskeligheder med magnesiumtitreringen, ialtfald i jordekstrakter med lavt calciumindhold.

Følgende metode fastsattes til fjernelse af calcium forud for kompleksometrisk bestemmelse af magnesium i jordekstrakter med 1-normal ammoniumchlorid:

40 ml jordekstrakt overføres til et mælkeprøveglass. Der tilsættes under omrystning 4 ml mættet ammoniumoxalatopløsning (20°C) og efter 5 minutters henstand 10 ml ammoniakvand (vf. 0.910). Prøven henstår 1 time og omrystes et par gange, således at det udfældede calciumoxalat bliver fordelt i vædsken. Dette fremmer udfældningen af de sidste spor af calcium, hvilket kan være af betydning i tilfælde af lavt calciumindhold. Efter henstand filtreres gennem et hårdt filter (Schleicher & Schüll, 589/3, 15 cm, er velegnet), og den først gennemløbne del af filtratet hældes tilbage på filtret. Til afskylning af mælkeprøveglasset og udvaskning af filtret anvendes et par portioner koldt destilleret vand.

Metodens pålidelighed til adskillelse af calcium og magnesium blev verificeret ved at sætte varierende calcium- og magnesiummængder til ekstrakter af forskellige jordtyper. I jordekstrakterne uden tilsætning bestemtes indholdet af magnesium som

differens, hvorimod den foran beskrevne udfældningsmetode anvendtes til andre portioner af samme ekstrakter med tilsætning af calcium eller magnesium som chlorid. Resultaterne (gennemsnit af 5 bestemmelser) fremgår af tabel 1 og 2 og viser, at metoden må anses for tilstrækkelig nøjagtig, selv om ekstrakternes calcium- og magnesiumindhold varierer stærkt. Yderpunkterne for calcium svarer til 1.6 og 18 mg og for magnesium til 0.08 og 2.1 mg pr. 40 ml ekstrakt og dækker de i praksis forekommende mængder af de to stoffer, bortset fra enkelte ekstreme tilfælde.

Tabel 1. Bestemmelse af magnesium (TMg) i jordekstrakter efter tilsætning af stigende calciummængder og oxalatfældning

Jord nr.	mg Ca/100 g jord	TMg tilsat mg Ca/100 g jord					
		0	40	80	120	160	200
1	75	5.4	5.4	5.4	5.4	5.1	4.8
2	100	4.2	3.9	3.9	3.9	3.9	4.2
3	74	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
4	122	3.4	3.4	3.0	3.0	3.0	3.2
5	83	4.2	4.2	4.2	4.2	4.3	4.2
6	112	3.0	3.3	3.0	3.2	3.1	3.0
7	250	27.1	27.5	27.0	26.8	26.5	27.2
8	141	4.6	4.7	4.2	4.4	4.3	4.3
9	39	2.1	2.4	2.2	2.3	2.1	2.0
Gns.		6.3	6.4	6.2	6.2	6.2	6.2

Tabel 2. Bestemmelse af magnesium i jordekstrakter efter tilsætning af stigende magnesiummængder og oxalatfældning

Jord nr.	TMg	Tilsat mg Mg/100 g jord				
		1.0	2.4	7.2	14.4	24.0
mg Mg genfundet						
1	5.4	1.2	2.1	7.2	14.4	23.2
2	4.2	1.2	2.3	7.2	14.1	23.7
3	3.0	1.1	2.1	6.9	13.8	22.9
4	3.4	1.0	2.2	6.8	14.1	23.4
5	4.2	1.1	2.3	6.9	14.3	23.5
6	3.0	1.0	2.4	7.2	14.2	23.8
7	27.1	1.3	2.5	7.6	14.3	24.2
8	4.6	1.0	2.1	7.2	14.6	24.9
9	2.1	1.1	2.2	7.1	14.0	23.8
Gns.		1.1	2.3	7.1	14.2	23.7

Til yderligere kontrol sammenlignedes TMg, bestemt som differens efter den oprindelige metode og direkte bestemt efter udfældning af calcium som foran beskrevet. Analyser efter begge metoder foretoges i aliquoter af samme ekstrakt, og resultaterne af denne sammenligning er anført i tabel 3.

Tabel 3. Sammenligning mellem kompleksometriske magnesiumbestemmelser efter differensmetoden og udfældningsmetoden i samme ekstrakt

Gruppe TMg	Antal prøver	mg Ca/100 g jord, gns.	Gns.-TMg		S	S i % af gns.
			diff.	udf.		
0 — 2.0	38	35	1.17	1.19	± 0.21	17.8
2.1— 4.0	189	103	2.94	3.02	± 0.31	10.4
4.1— 6.0	125	112	4.70	4.86	± 0.33	6.9
6.1— 8.0	63	170	6.86	6.92	± 0.30	4.4
8.1—10.0	39	234	9.08	8.83	± 0.43	4.8
10.1—15.0	45	238	12.20	11.98	± 0.48	4.0
over 15.0	10	462	25.63	25.29	± 1.20	4.7
Gns., 509 prøver		138	5.46	5.49	± 0.36	6.6

De fundne magnesiumtal er næsten identiske efter begge metoder. Dog er der, ved lavere værdier af TMg, en svag tendens til højere resultater efter udfældningsmetoden, medens det omvendte er tilfældet ved de høje værdier, hvilket dog er uden betydning i denne forbindelse. Standardafvigelsen, beregnet af $S = \sqrt{\frac{d^2}{2n}}$, hvor d er forskellen mellem de 2 metoder og n antallet af prøver, er lidt højere end mellem dobbeltbestemmelser efter udfældningsmetoden (tabel 4), men dette skyldes antagelig den lidt større usikkerhed, hvormed resultaterne af differensmetoden er behæftet, og ikke forskelle mellem de to metoder.

På grundlag af disse undersøgelser blev den foran beskrevne metodik taget i anvendelse til direkte bestemmelse af magnesium i jordekstrakter, hvilket har gjort analysen betydelig sikrere og bedre egnet til rutinebestemmelser.

I sin oprindelige form frembød metoden en anden ulempe, idet ekstrakter af sure jorder ofte har et højt indhold af ferri- og aluminiumioner, der vanskeliggør titreringen ved at danne komplekse forbindelser med eriochromsort af samme farve som magnesiumforbindelsen, men irreversible ved titreringen med EDTA. Det er muligt at rense ekstrakten for disse ioner (JENSEN og HENRIKSEN, 1954), men processen er ret omstændelig og arbejds-

krævende. RITCHIE (1955) har beskrevet en fremgangsmåde til kompleksometrisk bestemmelse af magnesium i nærværelse af aluminium, hvorved aluminium-, ferri- og manganoioner maske-res ved tilsætning af triethanolamin forud for indikator-tilsæt-ningen. Denne enklest mulige metode til bortskaffelse af inter-fererende ioner viste sig tilstrækkelig effektiv til at sikre et skarpt farveomslag ved kompleksometrisk magnesiumbestemmelse i ammoniumchloridekstrakter, selv af stærkt sure jorder. Også ved titrering af ekstrakter af jorder i normal kalktilstand bliver slutpunktet skarpere ved tilsætning af triethanolamin; dog må indikatoren først tilsættes umiddelbart før titreringens påbegyn-delse. Virkningen af triethanolamintilsætningen kan yderligere forbedres ved nedkøling af prøven før indikator-tilsætning og titrering, men dette er kun nødvendigt i ganske specielle tilfælde.

Normalt er indholdet af manganoioner i ammoniumchlorid-ekstrakter af jord kun ringe, og i sådanne tilfælde er trietha-nolamin tilstrækkelig til eliminering heraf. I ekstrakter af visse jorder kan manganindholdet imidlertid være relativt stort, og i sådanne tilfælde sker der en vis medtitrering, idet mangan giver en momentan og reversibel farveændring med eriochromsort ligesom magnesium. Forbruget af EDTA og dermed magnesium-tallet bliver i så tilfælde for højt. Hovedparten af de foreliggende metoder til eliminering af mangan er temmelig arbejdskrævende, men en enkel og effektiv metode er beskrevet af CHENG og KURTZ (1960). Metoden beror på det forhold, at manganferrocyanid er tungtopløseligt i alkalisk vædske, medens calcium- og magne-siumferrocyanider er letopløselige og ioniserede i opløsningen. Tilsættes der lidt kaliumferrocyanid, efter at ekstrakten er gjort alkalisk med ammoniakvand, vil mangan udfældes og frafiltreres sammen med calciumoxalat i den efterfølgende arbejdsgang.

På grundlag af de i det foregående omtalte undersøgelser m.v. gives følgende samlede beskrivelse af den nu anvendte metode til bestemmelse af jordens indhold af ombytteligt magnesium (TMg).

Nedennævnte reagenser anvendes:

1. Ammoniumchloridopløsning, 1-molær: 53.5 g NH_4Cl (Mercks renvare er velegnet) opløses ad 1 liter i destilleret vand.
2. Ammoniumoxalat, t.a., mættet opløsning ved ca. 20°C.
3. Ammoniakvand, vf. 0.910.

4. Kaliumferrocyanid: 2.0 g opløses ad 100 ml i destilleret vand. Opbevares i mørk flaske.
5. Kaliumcyanid-triethanolaminopløsning: 10 g KCN t.a. opløses i 250 ml destilleret vand. Fyldes op til 500 ml med triethanolamin.
6. Indikatoropløsning: 0.1 g eriochromsort opløses sammen med 1 g hydroxylamin-hydrochlorid i 25 ml methanol. Opbevaret i mørk dråbeflaske er opløsningen holdbar i ca. 1 måned.
7. Titrvædske: 0.01-molær opløsning af komplekson III (EDTA, 2Na). 3.721 g af stoffet opløses ad 1 liter i destilleret vand. 1 ml af denne opløsning modsvarer 0.2432 mg Mg. Kontrolleres overfor (8).
8. Mg-standardopløsning: 0.2432 g *blankt* magnesiummetal (bånd) opløses i 25 ml 1-normal saltsyre og fyldes op til 1 liter med destilleret vand. 1 ml af denne opløsning indeholder 0.2432 mg Mg.

Analysens udførelse

10 g tørret og sigtet (2 mm) jord overføres i en 300-ml erlenmeyer-kolbe. Der tilsættes 100 ml ammoniumchloridopløsning (1), og kolberne anbringes i et rysteapparat, hvor de roteres i 1 time, 40 omdrejninger/minut. Efter henstand natten over filtreres gennem Munktell nr. 0, 15 cm. Af filtratet udtages 40 ml som overføres til et mælkeprøveglass. Under omrystning tilsættes 4 ml mættet ammoniumoxalatomopløsning (2) for at udfælde calcium, og efter 5 minutters henstand 10 ml ammoniakvand (3). Derpå tilsættes ligeledes under omrystning 1 ml kaliumferrocyanidopløsning (4) for at udfælde eventuelt tilstedeværende mangan; herefter må prøven ikke henstå i sollys, da vædsken i så fald bliver gulfarvet. Efter 1 times henstand med et par gange omrystning filtreres gennem et hårdt filter (Schleicher og Schüll, 589/3, 15 cm, er velegnet) i en 100-150 ml fladbundet rundkolbe med vid hals. Den først gennemløbne del af filtratet hældes tilbage på filtret. Mælkeprøveglasset skylles med lidt destilleret vand, som hældes på filtret, og efter fuldstændig gennemløbning af den tilførte vædske skylles filtret med nogle ml destilleret vand (sprøjteflaske). Der tilsættes nu filtratet 2 ml kalium-

cyanid-triethanolaminopløsning (5) og efter omrystning 3-4 dråber indikatoropløsning (6), hvorpå der straks titreres med 0.01-molær EDTA-opløsning (7) til omslag fra rødt til blå. Titrationen må foregå langsomt henimod slutpunktet, da kompleksbindingen ikke er ganske momentan. Ved overtitrering eller til kontrol på slutpunktet titreres tilbage med magnesiumstandardopløsning (8).

Ved titrationen er det nødvendigt at anvende sammenligningsvædske. Denne fremkommer fra en blindbestemmelse, hvor der i stedet for 40 ml jordekstrakt anvendes 40 ml ammoniumchloridopløsning (1), som iøvrigt tilsættes reagenser og behandles som ovenfor angivet. Der titreres til samme farve som sammenligningsvædskens.

Magnesiumtallet (TMg), der angiver ombytteligt magnesium i mg pr. 100 g lufttør jord, beregnes ud fra forbruget af EDTA-opløsning (7) ved multiplikation med 6.08.

Reproducerbarheden af den beskrevne analysemetodes resultater undersøgtes ved at beregne standardafvigelse (S) på et materiale af 312 duplikatbestemmelser, og i tabel 4 er givet en oversigt over resultaterne.

Tabel 4. Beregning af standardafvigelse (S) på 312 duplikatbestemmelser af TMg

Gruppe TMg	Antal prøver	Gns-TMg	S	S i % af gns.
0 — 2.0	21	1.53	± 0.21	13.7
2.1— 4.0	81	2.98	± 0.18	6.0
4.1— 6.0	74	4.99	± 0.21	4.2
6.1— 8.0	54	7.01	± 0.22	3.1
8.1—10.0	41	8.90	± 0.25	2.8
10.1—15.0	31	11.77	± 0.31	2.6
over 15.0	10	21.55	± 0.63	2.9
Gns., 312 prøver:		6.32	± 0.24	3.8

Årsagen til afvigelser mellem dobbeltbestemmelser af TMg skyldes overvejende titreringsfejl. Det må her erindres, at 1 dråbe (0.05 ml) EDTA-opløsning modsvarer et magnesiumtal på ca. 0.3, og i overensstemmelse hermed samlede differenserne mellem dobbeltbestemmelserne sig omkring 0 og 0.3. Differenser over 0.3

fandtes overvejende ved høje magnesiumtal og skyldes antagelig en kombination af titrerings- og udfældningsfejl, idet det altid er muligt at bestemme slutpunktet med en nøjagtighed på ± 1 dråbe titreringsvædske.

Omtrent samtidig med udarbejdelsen af den foran omtalte metode angav SCHAHTSCHABEL (1954) en kolorimetrisk magnesiumbestemmelsesmetode, som siden har været anvendt i stor udstrækning i Tyskland. Metoden bygger på ekstraktion af jorden med 0.025-normal CaCl_2 -opløsning og påfølgende kolorimetrisk bestemmelse med titangult; den rummer adskillige forbedringer i forhold til tidligere kolorimetriske metoder og er ret enkel i udførelse. Såvel af denne grund som udfra ønsket om at sammenligne resultaterne af de to metoder foretoges magnesiumbestemmelse efter Schachtschabel i 318 jordprøver, alle udtaget i forbindelse med en orienterende undersøgelse over magnesiummangelens udbredelse i Jylland (HENRIKSEN og OLESEN, 1961). Resultaterne af sammenligningen vises i tabel 5.

Tabel 5. Korrelation mellem TMg ($\text{Mg}[\text{NH}_4\text{Cl}]$) og magnesiumbestemmelse efter Schachtschabels metode ($\text{Mg}[\text{CaCl}_2]$)

Gruppe TMg	Antal prøver	Gns. mg/100 g jord		$\text{Mg}(\text{CaCl}_2)$	$\text{Mg}(\text{CaCl}_2)$	
		$\text{Mg}(\text{NH}_4\text{Cl})$	$\text{Mg}(\text{CaCl}_2)$	$\text{Mg}(\text{NH}_4\text{Cl})$	min.	max.
0— 2.0	42	1.49	1.53	1.03	0.7	2.7
2.1— 3.0	68	2.46	1.87	0.76	0.7	3.7
3.1— 4.0	84	3.40	2.48	0.73	1.3	4.4
4.1— 5.0	44	4.48	3.22	0.72	2.0	4.3
5.1— 6.0	43	5.38	3.79	0.70	2.2	5.3
6.1— 7.0	17	6.43	4.78	0.74	3.3	5.9
7.1— 8.0	9	7.27	5.46	0.75	4.8	6.2
8.1—10.0	5	8.64	5.96	0.69	5.3	6.6
over 10.0	6	13.50	9.75	0.72	7.0	18.9
Gns., 318 prøver:		3.90	2.90	0.74		

Korrelationskoefficient (r): + 0.906

De to metoder giver kun resultater af omtrent samme størrelse, når indholdet af ombytteligt magnesium er meget lavt. Ved højere indhold udbyttes kun 70-75 pct. af den magnesiummængde, som går i opløsning ved ekstraktion med 1-normal NH_4Cl . Dette skyldes naturligvis først og fremmest forskellen i de to ekstrak-

tionsmidlers koncentration; endvidere vil en del af jordens eventuelle indhold af uomsat CaCO_3 gå i opløsning ved ekstraktion med NH_4Cl , men ikke ved ekstraktion med CaCl_2 . Da CaCO_3 altid indeholder lidt magnesium, kan ekstraktion med NH_4Cl derfor i visse tilfælde bringe ikke-ombytteligt magnesium i opløsning; for at undersøge muligheden af noget sådant i det foreliggende arbejde blev der foretaget en beregning af forholdet mellem Mg-mængder ekstraheret med CaCl_2 og NH_4Cl fra jord af forskellig reaktion.

Gruppe, Rt:	<5.5	5.5—6.0	6.1—6.5	6.6—7.0	7.1—7.5	>7.5
$\frac{\text{Mg}(\text{CaCl}_2)}{\text{Mg}(\text{NH}_4\text{Cl})}$	0.67	0.75	0.74	0.78	0.73	0.74

Resultaterne tyder ikke på, at der er frigjort magnesium fra carbonat ved ekstraktion med NH_4Cl , idet forholdet $\text{Mg}(\text{CaCl}_2) : \text{Mg}(\text{NH}_4\text{Cl})$ ellers ville have udvist faldende tendens i de højeste Rt-grupper. Forskellen mellem resultaterne af de to metoder må derfor overvejende bero på, at den svage CaCl_2 -opløsning kun er istand til at frigøre en del af de ombyttelige magnesiumioner, af-tagende med jordens ombytningskapacitet. Nedenstående gennemsnitstal, fremkomne ved deling af prøvematerialet efter jordtype, bekræfter denne antagelse.

Jordtype	Antal prøver	Gns., mg/100 g jord		Gns-omb.-	$\frac{\text{Mg}(\text{CaCl}_2)}{\text{Mg}(\text{NH}_4\text{Cl})}$
		$\text{Mg}(\text{NH}_4\text{Cl})$	$\text{Mg}(\text{CaCl}_2)$	kapacitet mæk/v/100 g jord	
Hedesand.	110	3.18	2.54	7.4	0.80
Sandjord	181	3.86	2.82	11.0	0.73
Lerjord.	27	6.70	4.59	14.9	0.69

Schachtschabels metode vurderer altså jordens og navnlig lerjordens magnesiumindhold lavere end den her i landet anvendte. Adskillelsen mellem magnesiumfattige og magnesiumrige jorder bliver derfor mindre differentieret og resultaterne ikke bedre reproducerbare ($S = \pm 0.205 = 7.1$ pct. af gns- $\text{Mg}(\text{CaCl}_2)$). Schachtschabels metode frembyder således ingen afgjorte fordele.

II. SYREOPLØSELIGT MAGNESIUM

Udover bestemmelse af jordens indhold af ombytteligt magnesium, direkte tilgængeligt for planterne, har det stor betydning at kende størrelsesordenen af den ikke-ombyttelige, men dog relativt let opløselige magnesiumreserve i de forskellige jordtyper. Mest anvendt til bestemmelser af denne art er syreekstraktion, som i forskellige udformninger er brugt til bestemmelse specielt af jordens kaliumreserver. SEMB og UHLEN (1955) prøvede forskellige metoder til dette formål og fandt REITEMEIER'S (1948) mest velegnet. Efter denne metode koges 10 g jord med 150 ml 1-normal salpetersyre i 10 minutter. STÅHLBERG (1960) har anvendt 1-normal saltsyre og salpetersyre og angiver, at begge syrer ekstraherer stort set samme mængde kalium (og formentlig også magnesium) fra jord. I det nærværende arbejde valgtes salpetersyre, der var at foretrække af hensyn til den anvendte analyseteknik, og efter forudgående undersøgelser fastsattes metoden således:

10 g jord koges med 75 ml 1-normal salpetersyre i 30 minutter under tilbagesvaling. Umiddelbart efter kogningen hældes suspensionen på filter, og filtratet opsamles i en 100-ml målekolbe. Der udvaskes med destilleret vand, og efter afkøling fyldes op til mærket. Efter grundig omrystning overføres 50 ml filtrat til en 150-ml fladbundet rundkolbe. Der tilsættes 5 ml 40 pct. brintperoxid, og der koges indtil alt organisk stof er bortskaffet og brusningen ophørt. På dette stadium vil prøven stadig være mere eller mindre gulfarvet af jernindholdet. Kolben fjernes nu fra trådnettet, og der tilsættes 1 ml 5 pct. ferrichloridopløsning samt 2.5 g fast ammoniumchlorid. Medens opløsningen endnu er 60-80 ° varm tildryppes langsomt og under omrystning koncentreret ammoniakvand til pH ca. 8, hvorefter kolben anbringes på kogende vandbad i 15 minutter. Herved udfældes fosfat-, samt ferri- og aluminiumioner, der virker forstyrrende ved den efterfølgende kompleksometriske titrering. Derpå tilsættes 1 á 2 ml 2 pct. kaliumferrocyanidopløsning, og efter 5 minutters henstand frafiltreres det udfældede mangan- og zinkferrocyanid samt fosfater og oxider (Munktell nr. 0, 11 cm, er velegnet); filtratet, der skal være helt klart, opsamles i en 100-ml målekolbe. Da mangan- og zinkferrocyanid udfældes som et meget fint bundfald, kan det være nødvendigt at hælde den først gennemløbne

portion filtrat tilbage på filtret. Bundfald + filter udvaskes derpå med varm 1 pct. ammoniumchloridopløsning (pH 7), og efter afkøling fyldes op til mærket.

Efter grundig omrystning deles filtratet i 2×50 ml (målekolbe) til kompleksometrisk bestemmelse af Ca + Mg og Ca som tidligere beskrevet (JENSEN og HENRIKSEN, 1954). Da der her udtages 50 ml filtrat til analyse istedet for 40 ml, må tilsætningen af ammoniumhydroxid forhøjes til 12.5 ml og kaliumhydroxidtilsætningen til 20 ml. Magnesiumindholdet i mg pr. 100 g jord beregnes af differensen mellem de to titreringer ved multiplikation med 9.7. Resultatet omfatter såvel det ombyttelige som det syreopløselige magnesium.

Kræves der særlig stor nøjagtighed, bør bundfaldet på filtret (ferrocyanider, fosfater og oxider) opløses i varm 10 pct. saltsyre og genudfældes, hvorpå der bestemmes magnesium i filtratet. Den herved fundne magnesiummængde er lille, så der begås kun en ringe fejl ved at undlade dobbeltudfældningen, specielt ved lavt magnesiumindhold.

III. TOTAL-MAGNESIUM

I visse tilfælde kan det være af interesse at kende en jords totale indhold af magnesium, og til dette formål blev følgende metode udarbejdet:

Jordprøver, der skal undersøges, må først omhyggeligt findeles og homogeniseres, enten ved kraftig behandling i en morter eller i en kuglemølle. Af den findelte prøve afvejes 1 g (af stærkt lerholdige jorder dog kun 0.5 g) i en platindigel og glødes, indtil alt organisk stof er forasket. Efter afkøling tilsættes 4 ml svovlsyre, ca. 50 pct., og 10 ml flussyre, hvorpå flussyren afdampes på sandbad. Herved sønderdeles jordens silikater, og den dannede kisel-syre bortgår i form af siliciumfluorid, medens metallerne bliver tilbage som sulfater. Inddampningen fortsættes, til al flussyren er fordampet; som oftest er det nødvendigt at gentage flussyretilsætningen 1 á 2 gange med mindre mængder for at få silikaterne fuldstændig sønderdelt og al kisel-syren bortskaffet.

Når denne proces er tilendebragt og diglen afkølet, overføres indholdet til en 100-ml målekolbe. Efter grundig afskylning af

diglen fortyndes kolbens indhold til ca. 50 ml med destilleret vand. Der tilsættes nu 1 ml 5 pct. ferrichloridopløsning og 2.5 g fast ammoniumchlorid og opvarmes til 60 á 80°, hvorpå der arbejdes videre som angivet for bestemmelse af syreopløseligt magnesium. Bundfaldet på filtret skal altid opløses og genudfældes ved denne analyse.

Totalindholdet af magnesium pr. 100 g jord findes ved multiplikation af differensen mellem de to titreringer med 48.6 (eller 97.2, hvis der kun tages 0.5 g i arbejde).

Resultater

JORDENS INDHOLD AF OMBYTTeligt MAGNESIUM (TMg)

En foreløbig oversigt over indholdet af ombytteligt magnesium i almindelige dyrkede jorder fra 184 lokaliteter er givet i en tidligere beretning (JENSEN og HENRIKSEN, 1955). Siden da er der udført et ret stort antal magnesiumbestemmelser i jordprøver, såvel fra forsøg med tilførsel af magnesium som fra private indsendere. For sidstnævnte kategoris vedkommende drejer det sig om ialt 1275 prøver fra et noget færre antal lokaliteter, analyseret ved Statens Planteavls-Laboratorium, Vejle, i tidsrummet fra 1956-1962; nedenstående er givet et sammendrag af resultaterne, opdelt i grupper efter TMg.

TMg	Ialt prøver		Gns-TMg
	antal	%	
0 — 3.0.....	240	19	2.0
3.1— 5.0.....	378	30	3.9
5.1—10.0.....	497	39	7.6
over 10.0.....	160	12	15.4
Ialt og gns.....	1275		6.4

En væsentlig del af disse prøver må formodes at være udtaget på lokaliteter, hvor man har haft mistanke om magnesiummangel; dette giver sig da også udtryk i, at ikke mindre end 19 pct. af de undersøgte prøver har haft magnesiumtal på 3 eller derunder, medens der i de systematisk udtagne prøver kun findes 11 pct. i denne kategori (se tabel 6). Materialet kan derfor ikke

umiddelbart anses for at give et korrekt udtryk for magnesiumtilstanden i danske jorder.

Et mere repræsentativt materiale søgtes derfor tilvejebragt på følgende måde: Af de jordprøver, som laboratoriet i 1961 modtog til almindelige undersøgelser, udtoges den 1. prøve i hver sending fra hver enkelt landbrugsejendom. Desuden blev der til suppler- ing udtaget et antal jordprøver fra alle grupper af forsøg, dog med undtagelse af magnesiumforsøg, idet der samtidig tilstræb- tes en så ensartet dækning af landets forskellige egne som muligt. Helt har dette dog ikke kunnet opnås med det disponible materi- ale af prøver. Fra Lolland-Falster er der således kun undersøgt en prøve for hver ca. 4000 ha, fra Fyn 1 prøve for hver ca. 3000 ha, medens der fra de jyske amter, hvor variationerne i magne- siumtal til gengæld er størst, er undersøgt 1 prøve fra hver 1000- 2000 ha.

Ialt er der bestemt magnesiumtal i 2050 prøver. Jordtypen for hver enkelt prøve blev skønsmæssigt bedømt i laboratoriet, og ma- terialet deltes i grupper efter følgende fire hovedtyper: 1. Hede- sand, omfattende typer fra humusfattig til humusrig kvartssand; 2. sandjord, omfattende resterende sandjorder, hvor kvartskor- nene ikke var synlige for det blotte øje; 3. lerjord, omfattende typer fra let lermuld til svære lerjorder og 4. humusjord, hvortil er henregnet alle jorder med rumvægtsfaktor på 0.80 og derunder

Tabel 6. Procentisk fordeling af TMg efter jordtype i prøver fra 2050 lokaliteter

TMg	% af prøverne				
	hedesand	sandjord	lerjord	humusjord	alle jorder
0 — 1.0	1	0	0	0	0
1.1— 2.0	11	2	0	0	2
2.1— 3.0	22	12	1	0	9
3.1— 4.0	38	22	3	0	16
4.1— 5.0	21	26	11	3	19
5.1— 6.0	6	11	11	1	10
6.1— 7.0	1	9	13	4	10
7.1— 8.0	0	6	15	4	8
8.1— 9.0	0	5	15	6	8
9.1—10.0	0	2	11	12	5
over 10.0	0	5	20	70	13
Antal prøver:	226	994	746	84	2050
Gns-TMg:	3.5	5.2	8.7	14.6*	6.6

* Analysetallene er korrigeret med rumvægtsfaktor.

(BONDORFF, 1950). I tabel 6 er givet en oversigt over den procentiske fordeling af magnesiumtallene indenfor hver af disse hovedtyper, samt gennemsnitsværdierne.

Af den procentiske fordeling såvel som af gennemsnitstallene fremgår umiddelbart, at hedesand er fattigst og humusjord rigest på ombytteligt magnesium. Dette er i overensstemmelse med tidligere resultater (JENSEN og HENRIKSEN, 1955) og med TOVBORG JENSENS (1936) bestemmelser af ombytteligt magnesium. Gennemsnitstallene for de tre rækker af undersøgelser viser ligeledes god overensstemmelse som det fremgår af følgende, hvor gruppen »sandjord« omfatter både hedesand og almindelige sandjorder.

	TMg, gns.		
	sandjord	lerjord	humusjord
Tovborg Jensen (1936), 115 prøver.....	4.8	8.9	14.7
Jensen og Henriksen (1955), 396 prøver.....	4.4	10.5	38.5
Nærværende undersøgelse, 2050 prøver.....	4.9	8.7	14.6*)

* korrigeret med rumvægtsfaktor.

Det er altså tilsyneladende i alle tre undersøgelsesrækker lykkedes at få et repræsentativt udtryk for det gennemsnitlige magnesiumindhold i sand- og lerjorder, dog under den forudsætning, at niveauet ikke har ændret sig gennem årene som følge af formindsket magnesiumtilførsel, hvilket ovenstående tal naturligvis ikke beviser. Under alle omstændigheder må dog et magnesiumtal på omkring 5 betragtes som middel for sandjord og omkring 9 som middel for lerjord. Humusjordenes magnesiumindhold er baseret på et meget mindre materiale, og gennemsnitstallene dækker over betydelig større variationer, men kan dog i alle tilfælde betragtes som høje. Det kan i denne forbindelse tilføjes, at marskjorder, som ikke indgår i nærværende undersøgelse, ligeledes er rige på magnesium.

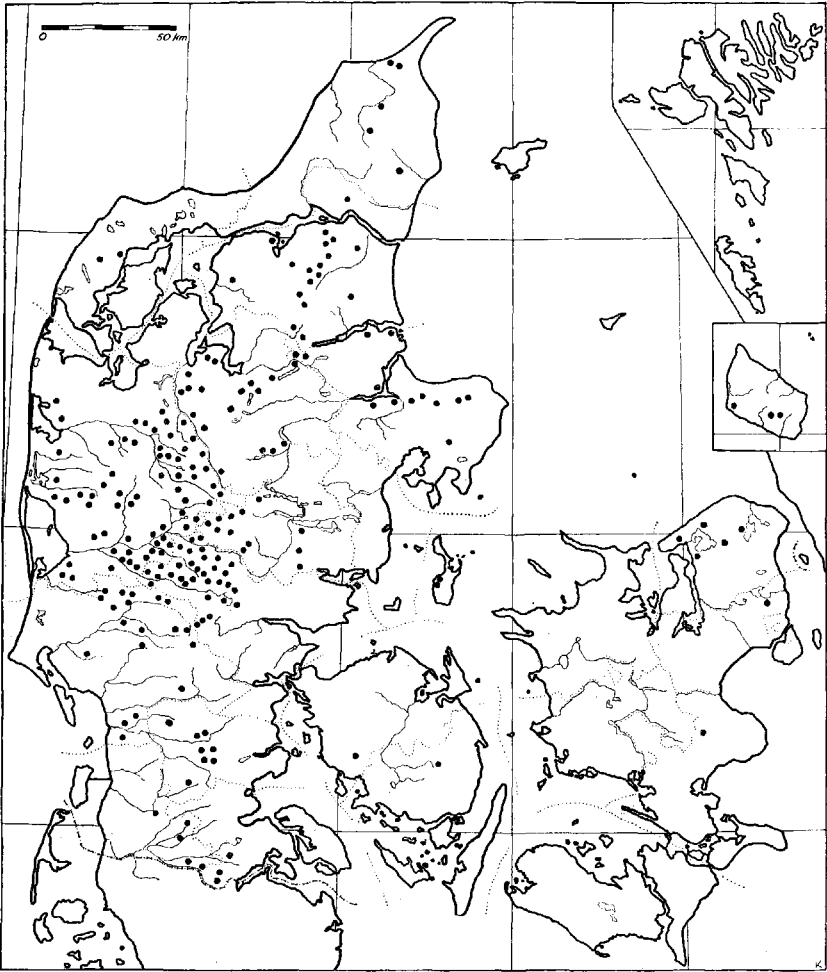
Gennemsnitstal har imidlertid kun begrænset værdi, idet de kun kan bruges til at afgøre, om en given jord er rigere eller fattigere på magnesium end gennemsnitsjorden. Betydelig vigtigere er magnesiumtallenes geografiske fordeling, der er belyst på figur 1-4 og i tabel 7. Forud for beregningen af procent- og gennemsnitstal i denne tabel er alle humusjorderne udskudt, idet man i praksis vil kunne se bort fra magnesiummangel på denne jord-

Tabel 7. Procentisk fordeling og gennemsnitsværdier
for mineraljordernes magnesiumindhold i de forskellige amter
I. Systematisk udtagne prøver

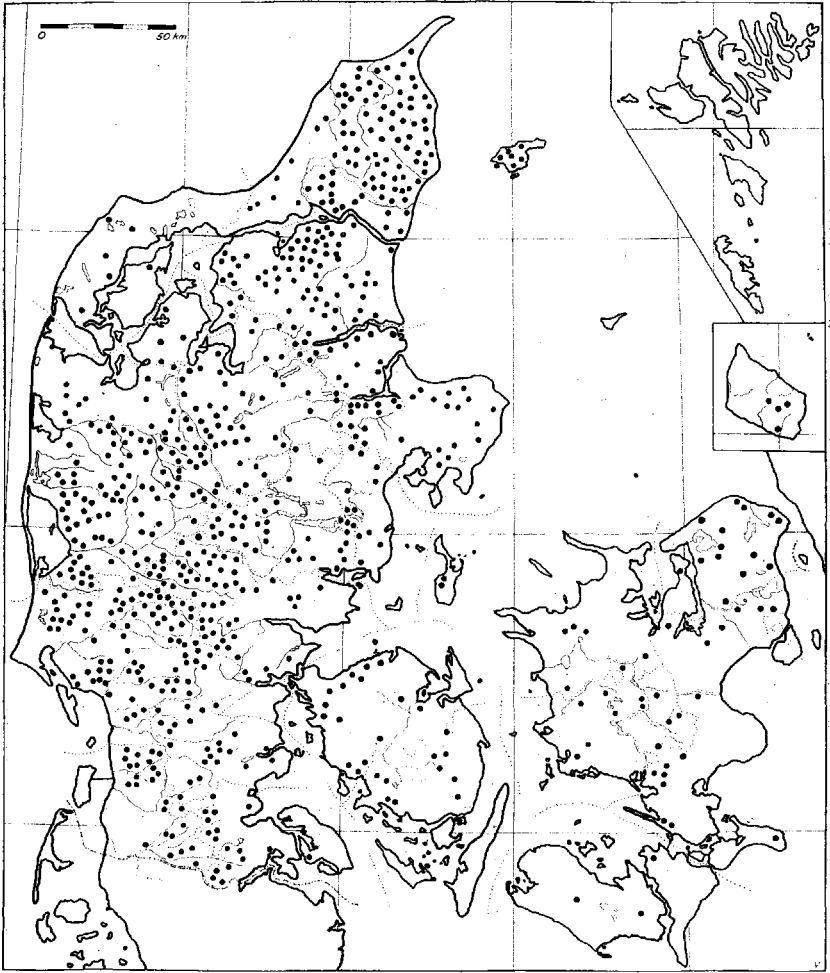
Amt	Antal prøver	Gns. TMg	% af prøverne med TMg				% prøver		
			0-3	3.1-5	5.1-10	> 10	hedes.	sandj.	lerj.
Københavns ..	43	8.4	2	14	60	24	0	21	79
Frederiksborg.	33	5.5	15	39	46	0	0	30	70
Holbæk	57	10.1	4	13	47	36	0	32	68
Sorø	59	7.7	0	19	61	20	0	10	90
Præstø	65	7.4	2	20	64	14	0	17	83
Sjælland	257	8.0	4	19	57	20	0	21	79
Bornholm	41	7.8	7	9	67	17	0	20	80
Maribo	36	8.1	0	8	84	8	0	0	100
Odense	64	7.6	2	24	63	11	0	22	78
Svendborg	40	7.3	3	22	60	15	0	30	70
Fyn	104	7.5	2	23	62	13	0	25	75
Hjørring	188	5.3	3	46	42	9	1	93	6
Thisted	56	8.3	4	10	59	27	0	68	32
Aalborg	150	5.1	15	57	25	3	2	89	9
Viborg	105	5.1	18	43	37	2	8	74	18
Randers	130	6.9	10	35	45	10	1	61	38
Ringkøbing ..	222	4.5	31	49	18	2	50	43	7
Skanderborg ..	96	5.4	12	40	45	3	9	38	53
Aarhus	54	7.3	0	17	68	15	0	26	74
Ribe	154	5.1	12	57	28	3	20	73	7
Vejle	205	6.8	15	29	36	18	20	30	50
Haderslev	73	6.3	11	30	47	12	3	44	53
Tønder	39	4.8	13	55	30	2	31	64	5
Aabenraa- Sønderborg.	56	6.6	5	34	45	16	11	52	37
Jylland	1528	5.9	14	41	37	8	15	59	26
Hele landet ...	1966	6.3	11	37	42	10	11	51	38

type. Desuden ville enkelte meget høje magnesiumtal hidrørende herfra få alt for stor indflydelse på visse amtsgennemsnit.

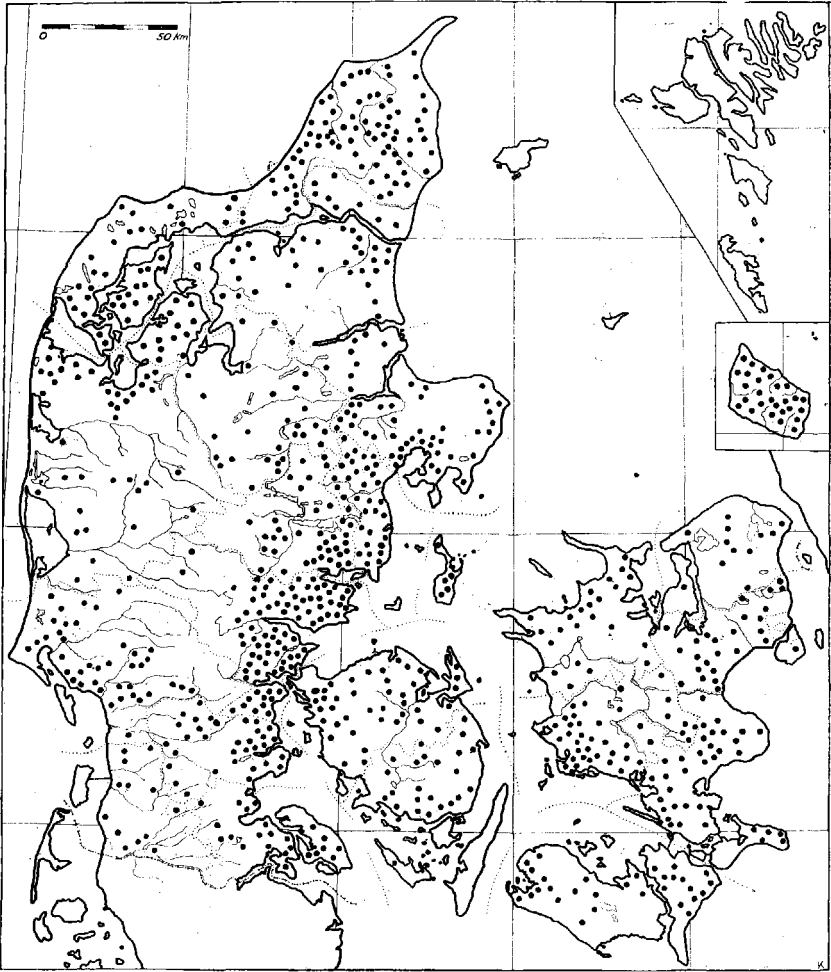
Det fremgår af tabel 7, at 75 pct. af de undersøgte prøver fra øerne, men kun 26 pct. af de jyske jorder er blevet bedømt som lerjorder; det kan derfor ikke undre, at de gennemsnitlige magnesiumtal findes højere på øerne end i Jylland. Frederiksborg amt danner dog en undtagelse med et gennemsnitligt magnesiumtal på 5.5 på trods af, at ca. 70 pct. af amtets undersøgte jorder er bedømt som lerjorder. En nærmere undersøgelse af enkeltresultaterne viser da også, at ikke alene sandjorderne men i lige så



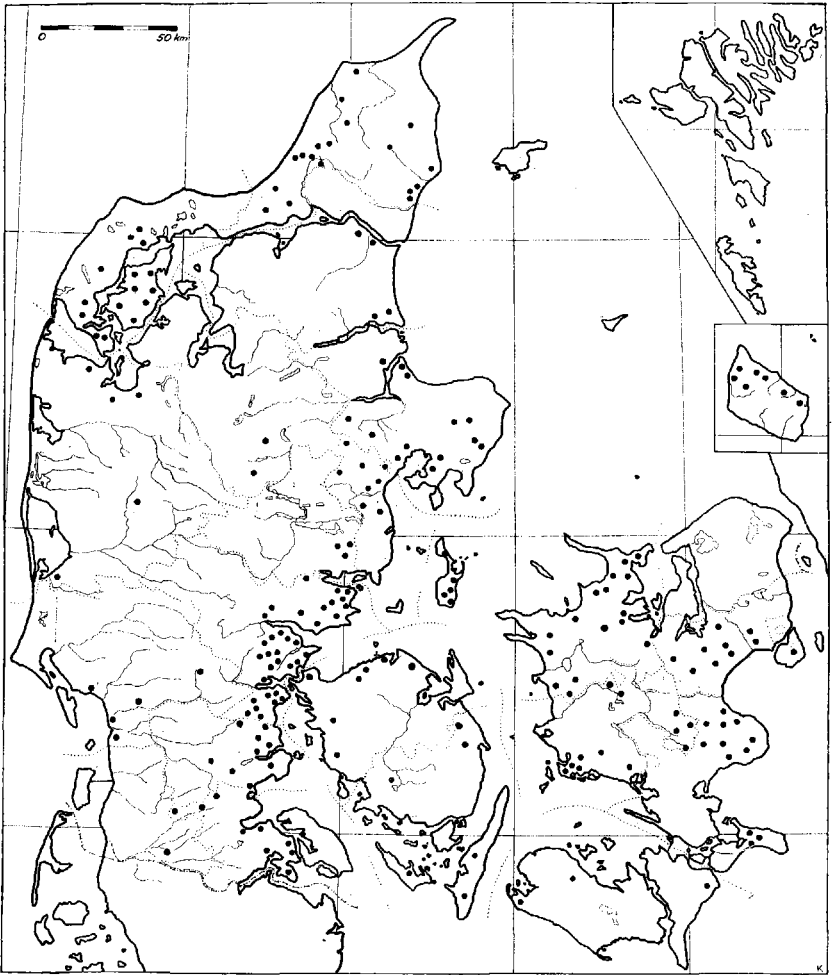
Figur 1. Lokalteter med TMg 0-3.



Figur 2. Lokalteter med TMg 3.1-5.0.



Figur 3. Lokalteter med TMg 5.1-10.0.



Figur 4. Lokalteter med TMg over 10.

høj grad lerjorderne i dette amt har lave magnesiumtal. Ikke mindre end 54 pct. af prøverne har magnesiumtal på 5 eller derunder, medens det tilsvarende tal for de øvrige amter på øerne ligger mellem 8 og 26 pct.

I de jyske amter, hvor variationen i jordens bonitet er langt større end på øerne, findes en tilsvarende større variation i de gennemsnitlige magnesiumtal. Med et gennemsnitligt magnesiumtal på 4.5 er Ringkøbing amt det magnesiumfattigste amt i Danmark, men også Aalborg, Viborg, Ribe og Tønder amter har mange jorder med lave magnesiumtal; af de fundne 47 prøver med magnesiumtal lavere end 2.0 stammer således de 35 fra disse fem amter.

I Vejle amts vestlige del findes ligeledes store områder med lave magnesiumtal. Når amtets gennemsnitlige magnesiumtal alligevel kommer op over middelværdien skyldes det større områder med høje magnesiumtal i den østlige del af amtet.

Angående nærmere detaljer i den fundne geografiske fordeling af magnesiumtallene henvises i øvrigt til figur 1-4, hvor hver prik betegner en lokalitet med et magnesiumtal indenfor grupperne henholdsvis 0-3, 3.1-5, 5.1-10 og >10. Hovedparten af de magnesiumfattigste jorder (TMg 0-3) findes tydeligt nok i Midt- og Vestjylland, medens de magnesiumrige jorder (TMg >10) hovedsagelig findes langs Jyllands østkyst, i Vendsyssel og på øerne. Jorder med magnesiumtal mellem 3.1 og 5, hvilke må betegnes ret lave, findes predt over hele Jylland og på øerne navnlig i Nordsjælland, medens middelhøje tal (TMg 5.1-10) fortrinsvis findes i Vendsyssel, langs Jyllands østkyst og på øerne.

Denne store variation i jordens magnesiumindhold fra egn til egn hænger naturligt sammen med de vekslende jordbundsforhold, og i store linier falder variationerne i magnesiumtallet sammen med jordtypeangivelserne på det geologiske jordbundskort. De laveste magnesiumtal findes på hedeslettesandet, derefter kommer diluvialsandet og endelig lerjorderne, men naturligvis findes der også store variationer inden for de enkelte jordtyper. For hedeslettesand er der således fundet TMg fra 0.5-6.8, for diluvial-sand fra 1.4 til 14.5 og for lerjord fra 2.4 til 36.0

Udover de foran omtalte systematisk udtagne prøver samt prøver fra private indsendere er der i årene 1956-1962 tillige analyse-

ret 536 jordprøver, udtaget ved anlæg af forsøg med magnesium-tilførsel. Resultaterne af disse, opdelt på tilsvarende måde som for de systematisk udtagne prøver, er vist i tabel 8. Hertil kommer yderligere 1030 prøver, udtaget i forbindelse med magnesiumundersøgelserne i Jylland 1961 og 1962 (HENRIKSEN og OLESEN, 1961; OLESEN og HENRIKSEN, 1962). Sidstnævnte prøver er hovedsageligt udtaget parvis i marker, hvor der på afgrøderne inden for kort afstand fandtes tydelig forskel i mangelsymptomernes styrke. I tabel 9 er kun medtaget magnesiumtallene fra steder, hvor der fandtes symptomer på magnesiummangel.

Sammenligner man resultaterne af forsøgsprøverne i tabel 8 med de i tabel 7 anførte resultater fremgår det, at der i de jyske og fynske amter findes en betydelig større procentdel af prøver med lave magnesiumtal end i den systematiske undersøgelse, medens det modsatte er tilfældet i de sjællandske amter. I Jylland og på Fyn er det altså lykkedes at få forsøgene placeret på jord med lavere magnesiumtal end gennemsnittet, selv om mange af forsøgene ganske givet er rent tilfældigt placeret, navnlig i de første år. At man imidlertid kan komme et skridt videre i udvælgelsen af egnede arealer til magnesiumforsøg fremgår af tabel 9. Analysetallene i denne tabel stammer som nævnt fra arealer udvalgt på grundlag af magnesiummangelsymptomer hos afgrøderne.

Forholdet mellem de fundne resultater for magnesiumtal i de tre grupper fremgår tydeligst af figur 5. Her er gennemsnitstallene for de jyske amter vist grafisk og det bemærkes, at Mg-niveauet i jordprøver udtaget i forbindelse med magnesiumundersøgelserne i alle amter ligger lavere end i jordprøver udtaget ved anlæg af magnesiumforsøg. I øvrigt er differensen meget ensartet, og forskellen i TMg fra amt til amt ikke særlig stor. Der findes altså lokaliteter med lave magnesiumtal over hele Jylland, hvilket også fremgår både af tabel 9 og af beretningen om magnesiummangelen og dens udbredelse i Jylland (OLESEN og HENRIKSEN, 1962).

Niveauet i de systematisk udtagne jordprøver ligger med en enkelt undtagelse hele tiden højest, specielt i lerjordsamterne, men det bør i øvrigt bemærkes, at lerjorderne udgør en omtrent lige stor procent af alle tre grupper.

Tabel 8. Procentisk fordeling og gennemsnitsværdier
for mineraljordernes magnesiumindhold i de forskellige amter.

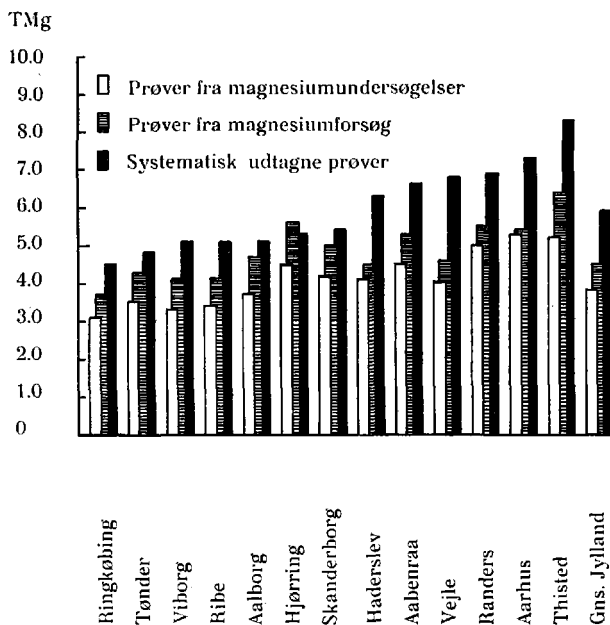
II. Prøver udtaget ved anlæg af magnesiumforsøg 1956-62

Landsdel el. amt	Antal prøver	Gns. TMg	% af prøverne med TMg				% prøver	
			0-3	3.1-5	5.1-10	> 10	sandj.	lerj.
Sjælland.....	27	8.5	0	15	66	19	30	70
Bornholm.....	4	4.6	0	50	50	0	0	100
Fyn.....	21	5.5	19	38	33	10	38	62
Hjørring.....	43	5.6	9	42	42	7	91	9
Thisted.....	12	6.4	8	25	59	8	42	58
Aalborg.....	27	4.7	30	59	4	7	100	0
Viborg.....	75	4.1	33	44	23	0	92	8
Randers.....	30	5.5	20	37	40	3	83	17
Ringkøbing.....	112	3.7	45	40	15	0	96	4
Skanderborg.....	27	5.0	30	40	19	11	59	41
Aarhus.....	13	5.4	23	15	62	0	23	77
Ribe.....	35	4.1	14	74	9	3	89	11
Vejle.....	47	4.6	38	38	13	11	85	15
Haderslev.....	32	4.5	16	53	31	0	78	22
Tønder.....	21	4.3	20	50	20	10	90	10
Aabenraa-Sønderb..	10	5.3	14	57	29	0	100	0
Jylland.....	484	4.5	29	44	23	4	86	14
Hele landet.....	536	4.8	27	43	26	4	81	19

Tabel 9. Procentisk fordeling og gennemsnitsværdier
for mineraljordernes magnesiumindhold i de jyske amter.

III. Prøver fra magnesiumundersøgelserne 1961 og 1962

Amt	Antal prøver	Gns. TMg	% af prøverne med TMg			% prøver	
			0-3	3.1-5	> 5.0	sandj.	lerj.
Hjørring.....	49	4.5	21	45	34	100	0
Thisted.....	15	5.2	13	40	47	47	53
Aalborg.....	46	3.7	35	50	15	90	10
Viborg.....	46	3.3	50	35	15	90	10
Randers.....	40	5.0	38	30	32	75	25
Ringkøbing.....	136	3.1	62	30	8	96	4
Skanderborg.....	36	4.2	47	25	28	72	28
Aarhus.....	35	5.3	13	31	56	43	57
Ribe.....	54	3.4	44	44	12	92	8
Vejle.....	68	4.0	46	25	29	69	31
Haderslev.....	23	4.1	43	30	27	87	13
Tønder.....	22	3.5	40	50	10	100	0
Aabenraa-Sønderb..	50	4.5	26	48	26	78	22
Jylland.....	619	3.8	36	38	26	79	21



Figur 5. Gennemsnitsværdier for mineraljordernes magnesiumindhold i de jyske amter

Jordens magnesiumreserver

Ifølge foregående afsnit indeholder danske jorder gennemsnitligt ca. 150 kg tilgængeligt magnesium pr. ha i pløjelagets dybde, beregnet efter en jordvægt på 2.5 millioner kg. Da vore jorders magnesiumbalance, som det vises i et efterfølgende afsnit, er negativ (gns. 10 kg Mg pr. ha og år) ville indholdet af tilgængeligt magnesium hurtigt blive udtømt, hvis der ikke skete overførsel fra tungere opløselige forbindelser. På længere sigt vil derfor disses mængde og karakter bestemme en jords evne til at forsyne afgrøderne med magnesium.

En del af jordens magnesiumindhold findes permanent indlejret i primære mineraler. Da forvitringen af disse foregår yderst langsomt, må værdien af denne fraktion anses for ret betydnings-

løs. Det samme gælder for den kompleksbundne del af jordens organiske magnesiumreserver. En frigørelse herfra ved mineralisering vil nemlig som oftest modsvares af en tilsvarende fastlægning ved opbygning af humus fra organisk stof, tilført jorden i planterester eller staldgødning.

I nogle af de sekundære mineraler (lermineralerne), er en større eller mindre del af aluminiumionerne i midterlaget erstattet af bl. a. magnesium. Denne magnesiumfraktion, der kan betegnes som absorberet, danner en overgangsform mellem den permanente lejring i primære mineraler og den adsorberede, ombyttelige form, og må antages at være den i landøkonomisk henseende betydningsfuldste magnesiumreserve.

Et mål for størrelsesordenen af de lettere mobiliserbare reserver kan fås på flere måder. I en tidligere beretning (JENSEN og HENRIKSEN, 1955) er således gjort rede for stigningen i jordens indhold af ombytteligt magnesium, når jorden udsættes for glødning; i de undersøgte mineraljorder androg den fra 2 til 6 mg Mg pr. 100 g jord, og det konkluderedes, at forøgelsen i den ombyttelige magnesiummængde snarere skyldes, at ophedningen har gjort noget gitterbundet magnesium lettere tilgængeligt, end frigørelse af organisk bundet magnesium som formodet af SMIT og MULDER (1942). Undersøgelser i tilknytning til nærværende beretning bekræfter dette, idet 10 jorder med humusindhold fra 2.4 til 9.2 pct. kun viste en forøgelse i ombytteligt magnesium på 0.6 til 1.8 mg pr. 100 g jord, når organisk stof blev bortilført med brintperoxid før ekstraktionen med ammoniumchlorid. Dette bekræfter ligeledes, at chelatbundet magnesium i humusstofferne er af helt underordnet betydning for afgrødernes magnesiumforsyning, i alt fald på mineraljorder.

Syreekstraktion er imidlertid den mest anvendte metode til bestemmelse af jordens lettere tilgængelige reserver af kalium og magnesium. Som de øvrige metoder: glødning, elektrodialyse, eller behandling med ionbytter, resulterer syreekstraktion ikke i frigørelse af nogen veldefineret fraktion af jordens magnesiumreserver. En bestemmelse af magnesium opløseligt i stærk syre tillader derfor ingen sikker konklusion om en given jords evne til at frigøre magnesium i plantetilgængelig form. På den anden side må det formodes, at et højt indhold af syreopløseligt magne-

sium, andre forhold lige, vil betyde større evne til magnesiumfrigørelse end et lavt indhold. Derfor vil sådanne bestemmelser være af interesse, også for at få et kvantitativt mål for magnesiumreserverne i forskellige danske jorder.

Efter en metode, beskrevet på side 745, undersøgtes indholdet af syreopløseligt magnesium i 175 jorder; 52 af disse bedømtes som hedesand, medens resten var almindelig sandjord eller lerjord. I sidstnævnte to typer bestemtes tillige lerindhold (< 0.002 mm) og saltindhold (0.02-0.002mm) efter hydrometernethoden (HANSEN, 1961); mængderne af syreopløseligt magnesium, grupperet efter stigende lerindhold, er vist i tabel 10.

Tabel 10. Indholdet af ombytteligt og syreopløseligt magnesium (HNO_3 -Mg) ved forskelligt lerindhold i jord

Jordtype ell. gruppe, % ler	Antal prøver	Gns. %		Gns. TMg	HNO_3 -Mg*			Gns. kg Mg/ha		HNO_3 omb.
		ler	silt		min.	max.	gns.	omb.	HNO_3	
Hedesand	52	—	—	2.4	1	13	6.9	60	173	2.9
< 2.0	23	1.6	6.6	2.9	4	25	9.3	73	233	3.2
2.0—2.9	25	2.5	8.4	3.5	6	33	12.3	88	306	3.5
3.0—3.9	17	3.5	9.7	4.1	9	33	18.8	103	470	4.6
4.0—4.9	13	4.3	9.8	4.2	11	40	19.7	105	493	4.7
5.0—5.9	11	5.2	10.9	5.7	14	48	28.9	143	723	5.1
6.0—6.9	6	6.3	12.1	5.6	24	37	31.3	140	783	5.6
7.0—7.9	4	7.3	13.9	5.3	44	56	49.6	133	1240	9.3
8.0—8.9	4	8.3	13.6	5.3	45	46	45.8	133	1145	8.6
9.0—9.9	7	9.4	14.9	7.0	38	111	56.4	175	1410	8.1
> 9.9	13	13.0	15.6	9.0	32	122	69.4	225	1735	7.7
Ialt og gns.	175			4.0	(1)	(122)	20.8	100	520	5.2

* Excl. ombytteligt magnesium

Middelfejl på omb. Mg (TMg) ± 0.24 mg

» » HNO_3 -Mg ± 1.06 mg

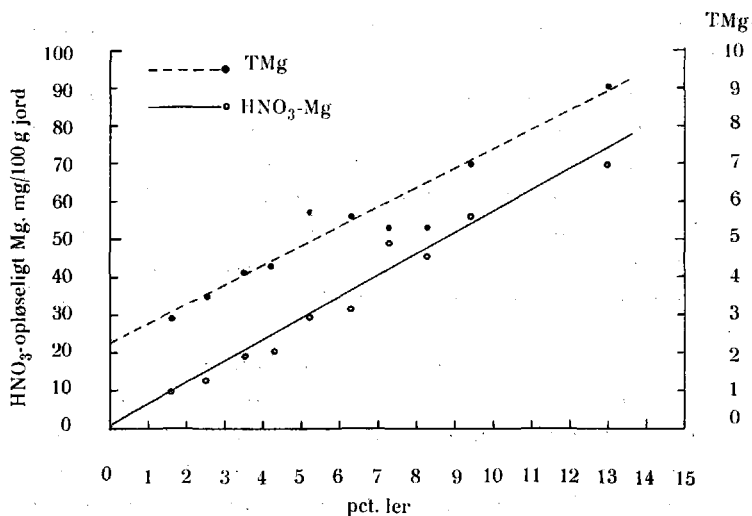
» » lerbestemmelse ± 0.69 pct.

Det syreopløselige magnesiumindhold varierer fra 0.8 til 122 mg pr. 100 g jord, svarende til 20 til 3000 kg Mg pr. ha i pløjelaget. Prøven med det laveste indhold er kvartssand fra et brunkulsleje ved FASTERHOLT, medens prøven med det højest fundne indhold stammer fra Haslum ved Randers. Samme prøve havde i øvrigt også det højeste lerindhold, 21.4 pct.

Indholdet af syreopløseligt magnesium i dyrkede hedesand-jorder varierede fra 70 til 330 kg pr. ha med omkring 175 kg som hyppigste værdi. Størsteparten stammer formentlig fra det lille indhold af lerminerale, som findes selv i hedesand, men muligvis indgår tillige magnesium fra primære glimmerminerale i den syreopløselige reserve. Spørgsmålet vil i øvrigt blive gjort til genstand for nærmere undersøgelse i et efterfølgende arbejde.

I de øvrige undersøgte jorder fandtes en sikker korrelation ($r = + 0.89$) mellem lerprocent og indholdet af syreopløseligt magnesium. Også mellem indholdet af ombytteligt magnesium (TMg) og lerprocent fandtes en tydelig, men som det måtte ventes mindre stærk korrelation ($r = + 0.79$), idet indholdet af ombytteligt magnesium er mere påvirket af forskelle i kalktilstand og gødskning end indholdet af syreopløseligt magnesium.

I figur 6 er gennemsnitstallene for indhold af de to magnesiumformer afsat som funktion af den gennemsnitlige lerprocent i de forskellige grupper. Af det foreliggende talmateriale blev beregnet regressionsligninger (BONDORFF, 1938), og de af ligningerne beregnede regressionslinier er indtegnede på figuren.



Figur 6. Regressionslinier for relationen mellem magnesiumindhold og lerindhold i 123 jordprøver.

For lerprocent (x) og syreopløseligt magnesium (y) fandtes følgende regressionsligning:

$$y = 0.90 + 5.63x$$

Tilsvarende fandtes for lerprocent (x) og ombytteligt magnesium (y):

$$y = 2.25 + 0.50x$$

Regressionskoefficienterne viser, at en forøgelse af lerprocenten med 1.0 svarer til en forøgelse af indholdet af syreopløseligt magnesium på 5.63 mg pr. 100 g jord (eller 140 kg Mg/ha), og til 0.5 TMg-enhed. Ved et lerindhold på 0 pct. er indholdet af syreopløseligt magnesium kun 0.90 mg pr. 100 g jord (svarende til hvad der fandtes i prøven af »rent« kvartssand), men indholdet af ombytteligt magnesium er 2.25 mg. En del ombytteligt magnesium er bundet til organiske kolloider i dyrkede jorder, og går derfor ikke ned til $TMg = 0$.

Beregning af korrelationen mellem de to magnesiumformer og ler + silt-procent gav omtrent samme resultater som for lerprocent alene. Da der i de undersøgte jorder består et nogenlunde konstant forhold mellem det fundne ler- og siltindhold kan det ikke heraf udledes, hvorvidt siltfraktionen indeholder syreopløseligt magnesium, men spørgsmålet vil senere blive nærmere undersøgt.

De foran omtalte resultater er i øvrigt i overensstemmelse med RASMUSSEN og TOVBORG JENSENS (1960) undersøgelser over kalium og kaliumfrigørelse i en række danske jorder, hvor der fandtes en stærk retlinet korrelation mellem indholdet af kalium opløseligt i kogende 20 pct. saltsyre og lerprocenten. Ca. 75 pct. af den syreopløselige kaliummængde hidrørte fra lerfraktionen. Der synes således at være stor lighed mellem de to stoffers forhold i vore jorder.

STÅHLBERG (1960) har undersøgt indholdet af syreopløseligt magnesium i en række svenske jorder og fandt ligeledes den frigjorte magnesiummængde stigende med lerindholdet. Men ifølge samme forfatter er der stor forskel på de forskellige lermineralels tilbøjelighed til at frigøre magnesium i kogende syre. Illit er således betydelig mere stabilt end montmorillonit, der igen er mere stabilt end chlorit. Da vore agerjorder indeholder disse såvel som

andre mineraler i forskelligt blandingsforhold, er det ikke underligt, at der forekommer ret store afvigelser fra gennemsnitstallene, således som det fremgår af de to rubrikker i tabel 10, hvor maximums- og minimumsindholdet af syreopløseligt magnesium er vist for hver enkelt gruppe.

Det har dog ikke på grundlag af det foreliggende analysemateriale været muligt at henføre hverken de positive eller negative afvigelser indenfor de enkelte grupper til bestemte egne, undtagen for jorder, der stammer fra havbundsdannelser, som f. eks. i visse egne af Vendsyssel. I disse findes et indhold af syreopløseligt magnesium, som er 2-3 gange højere end gennemsnit ved det pågældende lerindhold. Ligeledes er der fundet enkelte prøver med særligt højt indhold i området syd for Randers. De her nævnte prøver havde tillige højt magnesiumtal.

Foruden jordens mineralogiske sammensætning kan jordens kalktilstand og gødskning spille en rolle for indholdet af ombytteligt og syreopløseligt magnesium og således påvirke korrelationen mellem lerindholdet og de to nævnte størrelser. TOVBORG JENSEN (1936) fandt således aftagende indhold af ombytteligt magnesium med stigende kalktilførsel i et forsøg ved Tylstrup. Mængden af saltsyreopløseligt magnesium var derimod konstant og svarende til ca. 25 mg Mg pr. 100 kg jord. Undersøgelser af JENSEN og HENRIKSEN (1955) viste omvendt en stigning i magnesiumtallet ved stigende kalktilførsel. Årsagen til uoverensstemmelsen kan imidlertid være et noget forskelligt magnesiumindhold i de anvendte kalkmidler. Ligeledes spiller også de forskellige forsøgsleds reaktionstrin en rolle.

Gødskningens indflydelse på indholdet af ombytteligt magnesium fremgår af tidligere undersøgelser (JENSEN og HENRIKSEN, 1955), der viser at indholdet er lavest i kunstgødet og højest i

Forsøgssted og anlægsår	mg syreopløseligt Mg/100 g jord		
	ugødet	kunstgødet	staldgødet
Lyngby (1910)	55	53	59*
Askov Lermark (1894)	32	27	36
Studsgaard (1917)	11	9	14
Lundgaard (1926)	12	10	13

*1/2 kunstg. + 1/2 staldg.

staldgødet jord, medens ugødet jord indtager en mellemstilling. Samme linie genfindes ved bestemmelse af syreopløseligt magnesium, som vist omstående.

I det lange løb påvirker gødskningen altså også jordens indhold af syreopløselige reserver, og virkningen på de kunstgødede forsøgsled ville måske have trådt tydeligere frem, om der gennem alle årene havde været anvendt højprocentig kaligødning.

Bestemmelse af jordens totalindhold af magnesium. Til orientering om størrelsesordenen af det totale magnesiumindhold i forskellige jordtyper er der foretaget 15 bestemmelser efter den på side 746 beskrevne metode. Resultaterne, der er angivet i kg magnesium pr. ha til 20 cm dybde, er vist i tabel 11.

Tabel 11. Bestemmelser af total-magnesium i jord

Lokalitet	%		Kg Mg/ha			% af total	
	ler	silt	omb.	syreopl.*	total	omb.	syreopl.
Grindsted	—	—	60	65	575	10	11
Jydevad	—	—	53	100	700	8	14
Simmelkær	—	—	38	110	725	5	15
Sunds	—	—	45	150	850	5	18
Studsgaard	2.0	7.6	75	200	1000	8	20
Videbæk	2.6	11.4	53	225	1425	4	16
Birkelse	4.0	10.4	143	1000	3775	4	26
Gudum	5.0	10.0	180	1000	3575	5	27
Virumgaard	7.4	15.0	90	1275	4600	2	28
Nykøbing M.	7.4	15.0	158	1300	4275	4	30
Pedersholm	10.0	12.4	240	900	5225	5	17
Vintersgaarde	11.6	17.8	315	1000	5300	6	19
Ausumgaard	13.0	24.4	148	1975	6500	2	30
Haslum	21.4	22.0	263	3050	9000	3	34
Ans (humus)**	—	—	250	0	1180	21	0

* excl. ombytteligt magnesium.

** kg Mg/ha korrigeret med rumvægtsfaktor 0.50.

Pløjelagets totale magnesiumindhold varierer fra 575 til 9000 kg pr. ha under forudsætning af en jordvægt på 2.5 millioner kg/ha. De totale reserver er altså betydelige, fra 35 til 500 gange afgrødernes årlige gennemsnitsoptagelse. Ser man bort fra humusjorden, udgør det ombyttelige magnesium 2-10 pct. og det syreopløselige magnesium 19-37 pct. af totalindholdet, der viser tydelig korrelation med lerindholdet.

Faktorer i jordens magnesiumbalance

I det foregående afsnit er der gjort rede for de forskellige jorders indhold af magnesium i ombyttelig, syreopløselig og tungtopløselig form. Den først nævnte størrelse er af betydning for en vurdering af jordens øjeblikkelige evne til at forsyne afgrøderne med magnesium, medens indholdet af syreopløseligt magnesium er et mål for de reserver, som må skønnes at have reel betydning. Men i det lange løb vil en jords magnesiumtilstand være bestemt af forholdet mellem tilførsel og bortførsel, og en nærmere undersøgelse af balancefaktorerne vil derfor være et nødvendigt led i en samlet vurdering af magnesiumsituationen i landbruget. En sådan er foretaget af DORPH-PETERSEN (1955) på basis af det indtil da foreliggende analysemateriale. I det følgende behandles spørgsmålet på grundlag af nyere undersøgelser og analyser, som muliggør et mere sikkert skøn.

Følgende faktorer indgår i balancen og behandles i nævnte rækkefølge:

A. Tilførsel med:

1. naturlige gødninger
2. handelsgødninger
3. grundforbedringsmidler
4. nedbør og luft.

B. Bortførsel med:

1. afgrøder
2. dræn- og grundvand.

A 1. Indholdet af magnesium i staldgødning og ajle er undersøgt tidligere (JENSEN og HENRIKSEN, 1955); heraf fremgår, at den faste gødning pr. ton indeholder 0.5-1.0 kg magnesium, men ajlen kun ca. 0.03 kg magnesium. Vigtigst i denne forbindelse er dog returprocenten, d.v.s. den del af afgrødernes magnesiumindhold, der vender tilbage til marken. Der findes ingen direkte bestemmelser af denne, der iøvrigt vil variere fra ejendom til ejendom efter foderets anvendelse og gødningens opbevaringsforhold.

Enkelte forsøg fra Askov viser, at bortsivningstabt kun har udgjort ca. 4 pct., men der må sikkert regnes med et noget større tab i praksis. Tab gennem salg af dyriske produkter kan lige-

ledes kun anslås, men det kan anføres, at mælk indeholder ca. 10 g magnesium og slagtedyr ca. 50 g magnesium pr. 100 kg. Da der endvidere må regnes med et vist tab af gødning på forskellig vis, tør returprocenten næppe ansættes højere end til 80, hvor hele afgrøden fodres op. Dette er i overensstemmelse med DORPH-PETERSEN'S (1955) konklusion; dog anslår LUNDBLAD (1949) returprocenten til kun 70 under samme forudsætninger. Indkøbes der foder, vil ca. 80 pct. af dettes magnesiumindhold naturligvis være en reel gevinst for den pågældende ejendoms magnesiumhusholdning, medens salg af planteavlsprodukter vil repræsentere et tab, hvis størrelse afhænger af de solgte produkters magnesiumindhold.

A 2. I de fleste handelsgødninger forekommer visse mængder af magnesium som følgestof, således som det vil fremgå af tabel 12. Resultaterne angiver pct. magnesium, opløselig ved kogning 1 time med vand under overholdelse af forholdet 1:40 mellem stof og vædske. De derved fundne indhold vil i de fleste tilfælde være lig med totalindholdet. En undtagelse danner thomasfosfat, der ifølge SLUIJSMANS (1957) indeholder 0.6-3.0 pct. Mg, hvoraf dog kun ca. 20 pct. er tilgængeligt for planterne. Helt uden indhold af magnesium er flydende ammoniak, som ikke er nævnt i tabellen.

Tabel 12. Handelsgødningernes magnesiumindhold

Gødningsart	Antal prøver	% Mg	
		variation	gns.
Kainit.....	3	1.60 — 2.61	2.21
50 pct. kaligødning, vesttysk.....	2	0.60 — 0.85	0.73
50 » » , østtysk.....	2	0.41 — 0.61	0.51
50 » » , russisk.....	2	(ingen)	0.03
60 » » , vesttysk.....	4	0.03 — 0.22	0.10
60 » » , fransk.....	2	0.01 — 0.02	0.02
Svovlstur ».....	1		0.35
18 pct. superfosfat.....	6	0.14 — 0.19	0.15
27 » ».....	1		0.20
Thomasfosfat.....	1		0.20
PK-blandingsgødning, 0—5—13.....	4	0.13 — 0.34	0.24
» , 0—4—20.....	1		0.23
Kalksalpeter.....	3	0.02 — 0.03	0.03
Chilesalpeter.....	2	0.07 — 0.08	0.08
Kalkammonsalpeter.....	1		0.01
Svovlstur ammoniak.....	2	0 — 0.04	0.02
Urea.....	1		0.01

Den russiske og franske kaligødning er betydelig fattigere på magnesium end den vest- og østtyske. Forklaringen herpå må søges i den forskellige geologiske oprindelse, men forholdet er i øvrigt uden større betydning, idet 85-90 pct. af kaligødningen til det danske marked importeres fra Tyskland. Det bemærkes ligeledes, at indholdet i 50-pct.-varen, der er ved at udgå af det danske marked, er 5-7 gange højere end i 60-pct.-varen. Et større antal vesttyske analyser af kaligødning (privatmeddelelse fra direktør E. Lunding) viser iøvrigt følgende variationer:

Kainit.....	0—6.4	pct. Mg
40 pct. kaligødning	0—2.5	» »
50 » »	0—1.7	» »
60 » »	0—0.3	» »

Analyserne af superfosfat viser et gennemsnitsindhold på 0.15 pct. Mg og ingen større variationer i enkeltprøverne; SVANBERG (1949) angiver ligeledes magnesiumindholdet i 18 pct. superfosfat til 0.2 pct. PK-gødningernes lidt større indhold forklares ved, at disse i en vis udstrækning stadig fremstilles på basis af 50 pct. kaligødning.

Magnesiumindholdet i samtlige kvælstofgødninger er mindre end 0.1 pct., og må således anses for ret betydningsløst. Også SVANBERG (1949) angiver magnesiumindholdet i kalksalpeter til 0.1 pct. og i chilesalpeter til 0.05 pct.

Beregnet på basis af Danmarks samlede forbrug (Gødningsstatistiken 1961/62) og gennemsnitstallene i tabel 12 kan handelsgødningernes bidrag til jordens magnesiumforsyning i nævnte gødningsår tilnærmelsesvis opgøres som vist i tabel 13.

Den væsentligste del af handelsgødningernes magnesiumtilskud leveres altså af PK-gødningerne. For landbruget som helhed repræsenterer mængden en betydelig værdi, men omregnet modsvares den kun ca. 0.7 kg magnesium pr. ha landbrugsareal årlig med det nuværende forbrugsmønster.

A 3. Magnesiumindholdet i grundforbedringsmidler andrager fra 1 til 4 og fra 2 til 28 kg pr. ton CaCO_3 i henholdsvis jordbrugs-kalk og mergel (JENSEN og HENRIKSEN, 1955). Senere undersøgelser af andre kalk- og mergelprøver har givet resultater, der ligger

Tabel 13. Tilførsel af magnesium med handelsgødning

Gødningsart	Forbrug i tons ca.	Indhold af Mg	
		pct.	tons
Kalksalpeter	725000	0.03	218
Chilesalpeter	13000	0.08	10
Svovlsur ammoniak	6500	0.02	1
Kalkammonsalpeter	10400	0.01	1
18 pct. superfosfat	182000	0.15	273
Thomasfosfat	8300	0.20	17
50 pct. kaligødning	9000	0.60	54
60 » »	77000	0.10	77
Svovlsur kali	1800	0.35	6
PK-gødning, 0—5—13 ..	550000	0.24	1320
» , 0—4—20 ..	114000	0.23	262
		Ialt	2239

mellem disse yderpunkter. Med et gennemsnitsforbrug på ca. 600.000 tons CaCO_3 , hvoraf ca. 20 pct. i form af mergel, tilføres vore jorder årlig ca. 3000 tons magnesium, eller i gennemsnit 1 kg pr. ha. Lokalt kan denne tilførsel være væsentlig større, f. eks. hvor der bruges mergel med højt magnesiumindhold.

A 4. Tilførslen af magnesium med nedbør og luft er undersøgt af JENSEN (1962), som fandt, at nedbøren i gennemsnit tilfører 3 kg Mg pr. ha årlig med variationer fra 2 til 5 kg; mere end 3 kg pr. ha forekommer kun ved Jyllands vestkyst. Endvidere angives, at planterne gennemsnitligt optager ca. 3 kg magnesium direkte fra luften, således at den samlede tilførsel fra atmosfæren beløber sig til ca. 6 kg Mg pr. ha årlig. Det er altså en faktor af væsentlig betydning for jordens magnesiumbalance, specielt i de vestlige egne af Jylland.

B 1. Bortførslen af magnesium med afgrøderne er bestemt dels af afgrødestørrelsen, dels af afgrødernes procentiske indhold, som igen afhænger af jordens magnesiumindhold, kalktilstand og gødskning.

Fra dansk side foreligger ikke noget stort og navnlig ikke noget repræsentativt materiale til belysning af afgrødernes magnesiumindhold, idet de fleste analyser er udført i tilknytning til gødningsforsøg på mere eller mindre specielle lokaliteter. Resultaterne herfra kan derfor ikke tages som norm for afgrødernes magnesiumindhold i almindelighed. I de seneste år er der dog ved Sta-

tens Planteavls-Laboratorium i Vejle udført en del analyser i afgrødeprøver for forskellige egne af Jylland. De fleste prøver har været indsendt til bestemmelse af tørstof, men en del prøver er dog udtaget specielt til formålet. Resultaterne af disse analyser er i sammentrængt form vist i tabel 14, sammen med yderpunkterne af magnesiumbestemmelser (gennemsnitstal) fra andre kilder (P. CHRISTENSEN, 1927; SVANBERG, 1960; JACOB, 1955).

Tabel 14. Afgrødetørstoffets magnesiumindhold

Afgroede		Antal prøver	% Mg i tørstof		
			Egne analyser		Andre analyser
			gns.	variation	variation*
Kornarterne	kærne.....	74	0.14	0.09—0.18	0.10—0.19
	halm.....	13	0.09	0.07—0.12	0.07—0.27
Bederoer	rod.....	22	0.13	0.10—0.16	0.10—0.19
	top.....	10	0.35	0.24—0.49	0.27—0.52
Kålroer	rod.....	9	0.11	0.08—0.18	0.09—0.40
	top.....	11	0.15	0.12—0.20	0.15—0.30
Kartofler	knolde....	5	0.12	0.08—0.15	0.10—0.16
	top.....				0.25—0.54
Hø, kløver.....					0.20—0.40
» , lucerne.....					0.22—0.27
» , timothe.....					0.14—0.15
Ærter.....					0.06—0.24
Raps.....					0.20—0.36

* Af gennemsnitsværdier.

Resultaterne viser store variationer i magnesiumindholdet indenfor samme afgrøde, men tillige ret god overensstemmelse mellem de forskellige undersøgelser. Dog er tallene i rubriken »Andre analyser« gennemsnitstal, som må antages at dække over betydelig større variationer, end de giver udtryk for.

Regnes der med afrundede gennemsnitstal og afgrøder af den i tabel 15 angivne størrelse, vil der i det viste sædskifte i gennemsnit optages 16 kg magnesium pr. ha årlig, heri ikke medregnet magnesium i kålroe- og kartoffeltop, som normalt efterlades på marken. Dette indhold er ca. 3 kg pr. ha i kålroetop og ca. 6 kg pr. ha i kartoffeltop.

B 2. En bestemmelse af den magnesiummængde, som årlig fjernes fra pløjelaget med det nedsivende regnvand, er vanskelig, og kan kun give tilnærmede resultater. Ved vandets passage gennem

Tabel 15. Afgrødernes forbrug af magnesium i et sædskifte

Afgrøde	Gns.-udbytte hkg tørstof		% Mg i tørstof		Kg Mg/ha optaget		
	kærne el. rod	halm el. top	kærne el. rod	halm el. top	kærne el. rod	halm el. top	ialt
Vintersæd . . .	35	50	0.15	0.10	5	5	10
Kålroer	100	—	0.12	0.20	12	—	12
Byg	35	35	0.15	0.10	5	4	9
Bederøer	100	40	0.14	0.40	14	16	30
Havre	35	40	0.15	0.10	5	4	9
Byg	35	35	0.15	0.10	5	4	9
Kløvergræs . .		100		0.25		25	25
Kløvergræs . .		100		0.25		25	25
Gennemsnit af sædskiftet:							16

de dybereliggende jordlag kan der nemlig ske en forøgelse eller en formindskelse af magnesiumkoncentrationen, alt efter lagenes beskaffenhed, og der er således ingen absolut sikkerhed for, at grund- og vandløbsvandets magnesiumindhold udelukkende stammer fra det øverste jordlag.

Markforsøg til belysning af forskellige jordtypers gennemtrængelighed for kalium og magnesium (POULSEN og DALBRO, 1962) viser, at der i årene efter en magnesiumtilførsel sker en tydelig forøgelse af det ombyttelige magnesiumindhold i 20-60 cm dybde, mest udpræget på sandjorder. Men af beretningen fremgår tillige, at forøgelsen af det nederste undersøgte lags (40-60 cm) magnesiumindhold bliver des mere tydelig, jo længere tid der er forløbet siden tilførslen. Det må derfor formodes, at magnesiumindholdet i de dybere jordlag og i det nedsivende vand med tiden vil komme i ligevægt, således at den afstrømmende mængde svarer til den, der fjernes fra pløjelaget.

Den årlige udvasknings størrelse vil først og fremmest afhænge af nedbørens mængde og fordeling. Som eksempel herpå tjener resultater af magnesiumbestemmelser ved anlæg og ved høst i forsøgsled uden og med tilførsel af 1000 kg magnesiumsulfat/ha. Den teoretiske stigning i magnesiumtallet for tilførsel af 1000 kg magnesiumsulfat er 4.0. I den tørre sommer 1959 var stigningen i gennemsnit af 39 forsøg 3.9, altså meget nær det teoretisk opnåelige, og nedgangen i magnesiumtallet i det ugødede forsøgsled var kun 0.1. I den våde sommer 1962 skete der åbenbart en ud-

År	Antal forsøg	Gns.-TMg		Nedbør, mm april-oktober*
		ved anlæg	ved høst 0 mgs. 1000 mgs.	
1959..	37	5.1	5.0 8.9	330
1962..	94	4.5	4.0 6.5	501

* gns. for Jylland.

vaskning fra pløjelaget, såvel med som uden magnesiumgødskning, idet de tilsvarende tal var henholdsvis 0.5 og 2.5. Normalt vil udvaskning dog naturligvis kun finde sted i efterårs- og vintermånederne.

En række af faktorer påvirker udvaskningens størrelse, bl. a. jordens magnesiumindhold, ombytningskapacitet, mineralogiske sammensætning, vandkapacitet, kalktilstand og gødskningsintensitet.

Andre forhold lige vil der udvaskes desto mere magnesium jo mere ombytteligt magnesium jorden indeholder. Udvasningen er derimod omvendt proportional med ombytningskapaciteten, der igen er stærkt korreleret med magnesiumindholdet. Den mineralogiske sammensætning har nogen men dog lang mindre betydning end f. eks. for udvasningen af kalium (POULSEN og DALBRO, 1962). Vandkapaciteten vil ved samme nedbørsmængde være bestemmende for udvasningen, idet nedsivningen ved lav vandkapacitet kan være flere gange dennes størrelse, medens den på jorder med stor vandkapacitet kun udgør en del heraf.

Indflydelsen af jordens kalktilstand på magnesiumudvasningen fremgår af mange undersøgelser, såvel direkte som indirekte. OLESEN og HENRIKSEN (1962) fandt således tydelig positiv korrelation mellem Rt og TMg i 534 prøver fra Jylland, et forhold, som naturligvis også i nogen grad kan skyldes, at jordens bonitet og dermed magnesiumindhold gennemgående er ringere ved lave Rt. Direkte er kalktilstandens indflydelse på magnesiumudvasningen vist ved forsøg i glasserede rør, opstillet i det fri (HENRIKSEN, 1963). Det fremgik heraf, at navnlig ved Rt-værdier ≤ 5.5 på sandjorder stiger udvasningen kendeligt. Lignende resultater findes beskrevet i litteraturen.

Gødskningsintensitetens indflydelse fremgår bl. a. af magnesiumbestemmelser i jordprøver udtaget ved høst i 25 forsøg med kaligødninger 1962. Følgende gennemsnitsresultater fandtes:

0 kaligødning		TMg	4.6
150 kg	»	»	4.3
300 »	»	»	4.2

Selv moderat gødskning med kali formindsker altså jordens indhold af ombytteligt magnesium, i de refererede forsøg med ca. 10 kg pr. ha. Det skal tilføjes, at det øgede høstudbytte for kalitilførslen højest modsvarer en forøget magnesiumoptagelse på 2 kg pr. ha; det er dog uvist om en sådan virkelig har fundet sted, idet tilførsel af kalium normalt nedsætter afgrødens procentiske magnesiumindhold.

Udvaskningen af magnesium såvel som af andre næringsstoffer, der ikke fastholdes som tungtopløselige forbindelser i jorden, vil følgelig variere fra år til år og fra sted til sted. Ud fra flerårige analyser af vandløbenes indhold af magnesium med tilhørende afstrømningsmålinger vil det imidlertid være muligt at opnå et gennemsnitsudtryk for magnesiumudvaskningen fra de forskellige områder. Som vist af CHRISTENSEN (1962) er der tillige en udpræget årstidsvariation i afstrømningsvandets indhold af opløste stoffer; det er derfor en forudsætning, at vandprøverne til magnesiumbestemmelse udtages på forskellige årstider, og det er klart, at resultaternes sikkerhed vil stige med antallet af analyser.

I foråret 1962 blev der udtaget og analyseret et mindre antal prøver af vandløbsvand, navnlig fra det sydlige Jylland. Et tilstrækkeligt stort og repræsentativt materiale kunne dog umuligt fremskaffes indenfor en rimelig tid, men problemet blev klaret ved velvillig bistand fra Danmarks Geologiske Undersøgelse, som stillede hele sit upublicerede materiale af magnesiumbestemmelser i vandløbsvand til disposition.

Det således foreliggende materiale af analyser blev delt op efter geografiske områder, således som det fremgår af figur 7 og tabel 16. Som grundlag for opdelingen anvendtes Kort over Danmark med vandløb og nedbørsområder i 8. beretning om Det danske Hedeselskabs kulturtekniske afdelings hydrometriske undersøgelser 1950-55 (1960). Lolland-Falster og Bornholm er ikke medtaget, idet der ikke fandtes vandanalyser fra disse landsdele.

Gennemsnitafstrømningen i mm for områderne er beregnet ud fra de i ovennævnte beretning anførte målinger, som er gennemført over perioder på op til 40 år. Tallene i tabel 16 er afrundede

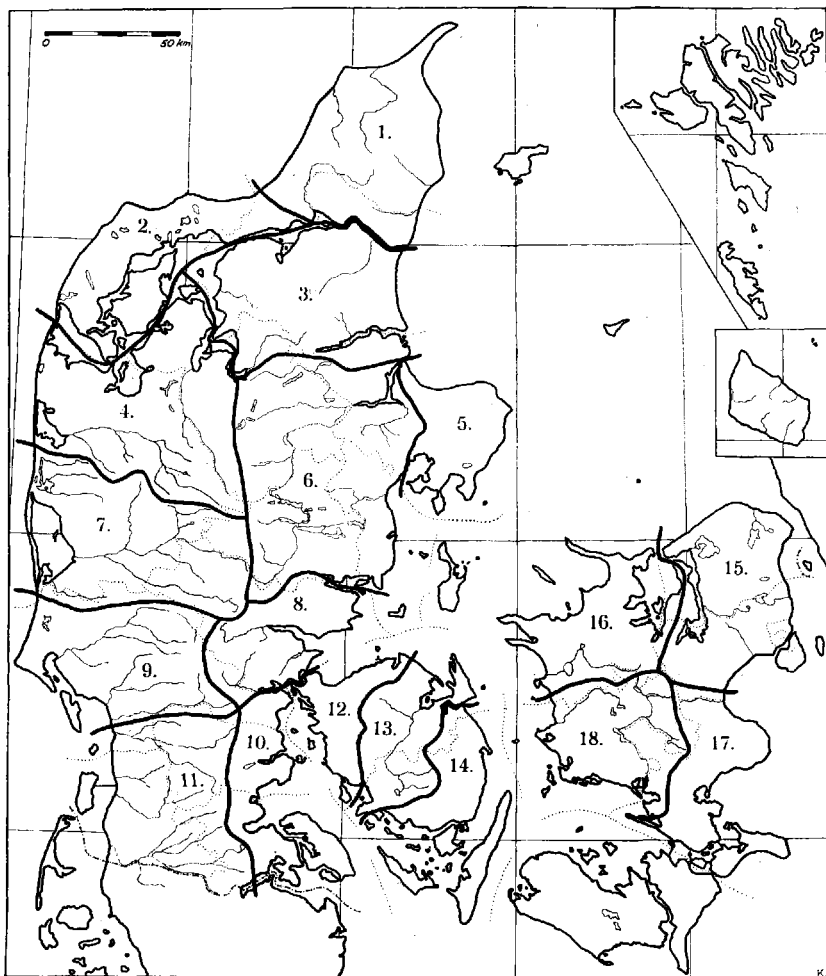
gennemsnitstal, og de fundne magnesiumindhold i afstrømningsvandet er opgivet ved minimums-, maximums- og gennemsnitsværdier. Ud fra sidstnævnte og gennemsnitsafstrømningen beregnes udvasket Mg i kg pr. ha og år.

Tabel 16. Middelværdier for udvaskningen af magnesium fra forskellige områder

Område	Gns.af- strømn. mm	Antal vand- analyser	Mg, mg/liter			Udvasket Mg, kg/ha/år
			min.	max.	gns.	
1. Vendsyssel.....	300	15	3	12	8.0	24
2. Thy.....	400	3	3	6	4.0	16
3. Nordjylland, øst.....	325	7	2	4	3.0	10
4. » , vest.....	275	14	1	5	3.6	10
5. Djursland.....	250	6	3	8	4.5	11
6. Midtjylland, øst.....	350	28	1	9	4.1	14
7. » , vest.....	425	78	1	9	3.5	15
8. Sydjylland, øst.....	350	14	5	7	6.5	23
9. » , vest.....	325	17	2	6	4.0	13
10. Sønderjylland, øst....	350	7	2	10	5.5	19
11. » , vest....	300	49	3	13	6.5	20
12. Vestfyn.....	250	15	2	12	5.8	15
13. Midtfyn.....	280	10	3	12	6.6	19
14. Østfyn.....	190	9	3	11	5.5	11
15. Nordsjælland, øst.....	150	26	4	17	8.2	12
16. » , vest....	200	24	4	12	7.5	15
17. Sydsjælland, øst.....	200	10	4	9	6.6	13
18. » , vest.....	200	74	3	20	8.3	17
Gennemsnit		(406)	(1)	(20)	5.7	15

Den største magnesiumudvaskning er fundet i Vendsyssel, rimeligvis fordi området for en stor del består af marine dannelser. I jorder fra denne del af landet fandtes tillige flere jordprøver med påfaldende høje indhold af syreopløseligt magnesium. Fra den østlige del af Sydjylland foregår ligeledes en stor udvaskning, men som det fremgår af figur 4 findes netop i dette område mange jorder med høje magnesiumtal. Det samme gælder i nogen grad Sønderjyllands østlige del.

I de mere udprægede sandjordsområder andrager den gennemsnitlige udvaskning 10-15 kg magnesium pr. ha årlig, men forskellen mellem de enkelte områder er forbavsende lille. Det er således bemærkelsesværdigt, at der fra et af de magnesiumfattigste om-



Figur 7. Kort over de 16 nævnte områder.

råder (Midtjylland, vest) udvaskes 15 kg Mg pr. ha årlig, men forholdet må i nogen grad tilskrives den store afstrømning (425 mm). På øerne varierer magnesiumudvaskningen kun mellem 11 og 19 kg pr. ha.

Det fundne gennemsnitstal for hele landet (excl. Lolland-Falster og Bornholm) viser, at der hvert år føres ca. 15 kg magnesium fra de øvre jordlag af hver ha ud i havet. Dette tal svarer ret nøje til resultater af en lignende undersøgelse af WIKLANDER (1959) som fandt, at der årlig udvaskes 15.8 kg magnesium pr. ha i gennemsnit fra svenske jorder. JACOB (1955) angiver på basis af forskellige tyske og engelske undersøgelser den gennemsnitlige magnesiumudvaskning til 12-24 kg Mg pr. ha. Selv om man ikke direkte kan sammenligne de udenlandske undersøgelser med de danske, er resultaterne dog altså af samme størrelsesorden.

I lysimeterforsøg ved Askov Forsøgsstation (upublicerede resultater) er der over en periode på 6 år fundet en gennemsnitsudvaskning på 15 kg magnesium pr. ha fra de 9 jorder, som indgår i forsøget. Fra sandjorderne udvaskes fra 5-12 kg og fra lerjorderne 7-36 kg pr. ha. Det må således være berettiget at antage, at de i tabel 16 anførte tal i gennemsnit svarer til de virkelige udvaskningstab. Dog kan der være betydelige afvigelser fra jord til jord, således som det fremgår af resultaterne fra Askov. En del af årsagerne hertil er omtalt side 770-772.

På basis af de i dette afsnit meddelte undersøgelsesresultater kan følgende gennemsnitlige magnesiumbalance opstilles:

		Mg/kg pr. ha og år	
B. Bortførsel med:	1. afgrøder	16	
	2. dræn- og grundvand	15	31
		<hr/>	
A. Tilførsel med:	1. naturlige gødninger	13	
	2. handelsgødninger	1	
	3. grundforbedringsmidler	1	
	4. nedbør og luft	6	21
		<hr/>	
Underskud			10
		<hr/>	

Selv hvor der ikke sker salg af planteavlprodukter, må der altså regnes med et årligt tab på 10 kg magnesium pr. ha i gennemsnit af sædskiftet. Drives der kvægløst landbrug, kan dette tab yder-

ligere forøges med 5-25 kg pr. ha årlig, afhængigt af de afgrøder, der sælges. Da magnesiumstallets enhed svarer til 25 kg Mg pr. ha ville jorden hurtigt blive udtømt for tilgængeligt magnesium, om der ikke, udover det primære hurtigtvirkende ligevægtssystem mellem jordvæske og adsorberet magnesium fandtes en sekundær, langsomt forløbende proces, hvorved magnesium frigøres fra tungere opløselige forbindelser og går over til at blive tilgængeligt for planterne.

I det foregående er der gjort rede for de reserver, der må regnes at stå til rådighed for denne proces. I hedesandjorder er de af en størrelse på ca. 175 kg pr. ha og i de øvrige sandjorder med $TMg < 4$ mellem 200 og 300 kg. Sidstnævnte gruppe udgjorde ca. $\frac{1}{3}$ af samtlige sandjorder ved den systematiske undersøgelse, og på mange af disse avles store udbytter.

Et forsøg på at beregne reservernes varighed støder imidlertid på flere vanskeligheder. For det første er den syreopløselige magnesiumfraktion ikke ganske veldefineret, og for det andet ved vi ikke, med hvilken hastighed frigørelsen fra denne fraktion sker under markforhold. Endelig må vi regne med, at afgrøderne på de fleste jorder også optager magnesium fra jorden under pløjelaget, men dette gælder specielt for de bedre jorder, hvis reserver derved yderligere øges.

Så meget kan dog sluttet, at i alt fald omkring 30 pct. af vore sandjorders magnesiumreserver er så begrænsede, at det ikke kan være tilrådeligt yderligere at forringe disse. Dette gælder for sandjorder med $TMg < 4$, hvor reserverne sædvanligvis ikke overstiger 300 kg magnesium pr. ha; her bør der tilføres lige så meget magnesium som der bortføres, altså ca. 10 kg pr. ha i gennemsnit af sædskiftet, såfremt hele afgrøden fodres op. I modsat fald må der regnes med magnesiummangel som en faktor af virkelig økonomisk betydning indenfor større områder i løbet af et kortere åremål.

Da risikoen for udvaskning af tilført magnesium er stor på sådanne jorder, kan tilførsel af større mængder magnesium på een gang kun tilrådes i de tilfælde, hvor jorden er meget magnesiumfattig, og markforsøg eller iagttagelser har godtgjort, at der er tale om udbytteforringelse. På alle øvrige jorder bør magnesiumgødsning foregå ved tilførsel flere gange i sædskiftet, lettest i

form af magnesiumholdig PK- eller NPK-gødning. Dette medfører tillige den fordel, at magnesiumgødskningen derved automatisk tilpasses efter kaliumgødskningen.

Oversigt

Indholdet af ombytteligt magnesium (TMg) i jord har siden 1955 udelukkende været bestemt efter en kemisk metode, beskrevet af JENSEN og HENRIKSEN (1954). Ved denne metode ekstraheres jorden med 1-normal ammoniumchlorid, og magnesium bestemmes ved kompleksometrisk titrering. Oprindeligt fremgik magnesiumindholdet som differens mellem en totaltitrering af calcium + magnesium og en særskilt titrering af calcium. Denne fremgangsmåde er den enklest mulige men viste sig af forskellige grunde mindre velegnet til rutineanalyser. På basis af beskrevne undersøgelser er metoden ændret, således at magnesium bestemmes direkte efter forudgående fjernelse af calcium med oxalat. Ligeledes er der indført en tilsætning af triethanolamin til maskering af interfererende ioner, samt kaliumferrocyanid til udfældning af mangan. Den således ændrede metode er beskrevet i sin helhed; det fremhæves, at ændringerne er af rent analyseteknisk art og at magnesiumtallets størrelsesorden ikke påvirkes heraf.

Metoden sammenlignedes med den af SCHACHTSCHABEL (1954) beskrevne i et materiale på 318 prøver. Der fandtes en korrelationskoefficient $r = + 0.91$ mellem de to metoders resultater, men efter Schachtschabels metode lavere Mg-indhold, specielt i lerjorder. Forskellen skyldes, at der i sidstnævnte ekstraheres med en svag (0.025-normal) opløsning af CaCl_2 , der kun er istand til at frigøre en del af de ombyttelige magnesiumioner. Schachtschabels metode frembyder ikke afgjorte fordele i sammenligning med den her i landet anvendte.

Der er tidligere givet en foreløbig oversigt over indholdet af ombytteligt magnesium i dyrkede jorder fra 184 lokaliteter. For at få et fyldigere materiale til belysning af magnesiumtilstanden i danske jorder på et tidspunkt, hvor speciel magnesiumgødskning endnu kun er anvendt i ringe omfang, undersøgte prøver fra 2050 lokaliteter. Ved udtagningen blev der tilstræbt at få et virkeligt

gennemsnitsudtryk for magnesiumtilstanden såvel i de forskellige jordtyper som i de forskellige egne af landet.

Gennemsnitsindholdet i de enkelte jordtyper i nærværende undersøgelse viser god overensstemmelse med de to tidligere; et magnesiumtal på ca. 5 må betragtes som middel for sandjord og et tal omkring 9 som middel for lerjord. Humusjordernes magnesiumindhold er gennemgående højt, med middel omkring 15 efter korrektion for rumvægt. Variationerne om de anførte middeltal er dog store; i sandjorderne fra 0.5 til 14.5 og i lerjord fra 2.4 til 36.0.

Ifølge magnesiumforsøg og de specielle undersøgelser i Jylland 1961 og 1962 må magnesiumtal under 3 anses for lave og tal mellem 3 og 5 for ret lave, idet man på sådanne jorder oftest finder visuelle symptomer på magnesiummangel på en eller flere afgrøder og tillige ofte merudbytte for magnesiumtilførsel. På grundlag heraf må 11 pct. af de undersøgte jorder betegnes som magnesiumfattige og 37 pct. som ret magnesiumfattige. Resultaterne lader sig dog ikke direkte omregne i ha landbrugsareal for hele landet, idet der i undersøgelsen indgår relativt færre prøver fra øerne end fra Jylland, hvor jorderne gennemgående er fattigere på magnesium.

Af de enkelte amter er Ringkøbing det magnesiumfattigste og Holbæk det magnesiumrigeste. Variationerne i magnesiumtilstanden afspejler i øvrigt i høj grad jordbundsforholdene, således at amterne på øerne og lerjordsområderne i Jylland alle viser magnesiumtal på gennemsnitligt 7-10, imod gennemsnitstal fra 4.5 til 5.5 i de midt- og vestjyske sandjordsområder. Om den geografiske fordeling af magnesiumtallene må i øvrigt henvises til tabel 7 og figur 1-4.

En sammenstilling af analyser fra magnesiumforsøg viser lavere resultater end de systematisk udtagne prøver, Sjælland dog undtaget. Der har således fundet en vis udvælgelse sted efter jordens magnesiumindhold. Ved iagttagelse af mangelsymptomer på afgrøderne er det muligt at komme endnu et skridt videre i udvælgelsen af magnesiumfattige lokaliteter til markforsøg (figur 5).

Forskellige jordtypers indhold af syreopløselige og totale reserver bestemtes efter to dertil udarbejdede metoder. De syreop-

løselige reserver varierede i 52 prøver af hedesand fra 70 til 330 kg med ca. 175 kg pr. ha som middel. I 123 øvrige undersøgte Jorder fandtes sikker korrelation ($r = + 0.89$) mellem lerindhold og indhold af syreopløseligt magnesium, således at en forøgelse af lerprocenten med 1.0 svarer til en forøgelse af de syreopløselige magnesiumreserver på ca. 140 kg pr. ha. Disse må skønnes at repræsentere de plantefysiologisk betydningsfuldste reserver. Også mellem lerprocent og TMg fandtes en tydelig korrelation ($r = + 0.79$). I 15 jorder varierede de totale magnesiumreserver fra 575 til 9000 kg Mg pr. ha i pløjelagets dybde.

De forskellige faktorer i jordens magnesiumbalance undersøges ligeledes, specielt afgrødernes optagelse og udvaskning fra de øvre jordlag. Balancen slutter med et gennemsnitsunderskud på 10 kg magnesium pr. ha årlig.

På basis af de nævnte undersøgelsesresultater må det konkluderes, at ialtfald sandjorder med $TMg < 4$ har så begrænsede magnesiumreserver, at det ikke kan anses for tilrådeligt vedblivende at forringe disse. På sådanne jorder bør der årlig tilføres den magnesiummængde på ca. 10 kg pr. ha, som er nødvendig til vedligeholdelse af magnesiumtilstanden. I modsat fald må magnesiumproblemet ventes at vokse og blive en faktor af stigende økonomisk betydning i planteavlen.

SUMMARY

On the Magnesium Status of Danish Agricultural Soils and the Magnesium Supply of Crops

A detailed description is given of a modified method for the determination of exchangeable soil magnesium: extraction of the soil with 1-M ammonium chloride and titration with disodium diamino-tetraacetate after removal of calcium ions by precipitation as oxalate, inactivation of aluminium and ferric ions with triethanolamine, and removal of manganous ions by precipitation with potassium ferrocyanide. The results are expressed by the symbol TMg of which the unit is 10 p.p.m. magnesium in air-dry soil corresponding to 25 kg magnesium per hectare of mineral soil to a depth of 20 cm. The method shows a good correlation ($r = + 0.91$) with the calcium chloride extraction method of Schachtschabel which, however, gives considerably lower figures and possesses no definite advantages.

TMg was determined in 2050 soil samples forming a collection that was intended to show a picture as reliable as possible of the magnesium status of different soil types as well as different geographic regions of Denmark. Sandy soils had an average TMg close to 5, with a spread from 0.5 to 14.5; the corresponding figures on loamy soils were an average TMg around 9 and a spread from 2.4 to 36.0. True humus soils were typically rich in magnesium, with an average TMg approx. 15.

Numerous field experiments with magnesium fertilizer and two surveys (1961 and 1962) of magnesium deficiency signs in crops (swedes, mangels and potatoes) showed that TMg-values below 3 indicate a low and values between 3 and 5 a fairly low magnesium status, inasmuch as crops on such soils frequently exhibit visible signs of magnesium deficiency and application of magnesium fertilizers often results in an increased crop yield. According to these criteria 11 pct of the soils examined must be regarded as definitely poor and 37 pct as rather poor in magnesium. This evaluation applies chiefly to the Jutland soils of which samples were relatively numerous. The geographical variation in magnesium content is largely reflected in the distribution of soil types: the islands and the loam soil types of Jutland show average TMg values from 7 to 10, as compared with corresponding figures of 4.5 to 5.5 in the sand soil districts of central and western Jutland.

The distribution of TMg values in various districts of Denmark is shown in Table 7 and Figs. 1-4.

Analyses of soils from field experiments with magnesium fertilizer show lower average TMg values than found among random samples (apart from Sealand). Still lower TMg values were found in samples selected on the basis of deficiency signs in crops. By this criterion it is thus possible to identify areas suitable for magnesium fertilizer experiments.

Reserves of soil magnesium soluble in boiling 1-N nitric acid were determined in 175 soils. Contents ranging from 70 to 330 (average around 175) kg per hectare were found in 52 samples that represented heath sand. The remaining 123 samples showed a close correlation ($r = + 0.89$) between acid-soluble magnesium and percentage of clay particles (< 0.002 mm), an increase of 1.0 pct clay corresponding to an increase of 140 kg/hectare acid-soluble magnesium. Also TMg and clay percentage were significantly correlated ($r = + 0.79$). The content of total magnesium found after hydrofluoric acid destruction of the silicates was determined in 15 soils where it varied from 575 to 9000 kg/hectare. The amounts of magnesium bound in non-exchangeable organic form appeared to be relatively small.

A tentative magnesium balance sheet was constructed on the basis of available data concerning magnesium removal in crops, losses by leaching, return in farmyard manure and addition in current commer-

cial fertilizers. The results suggest an average annual magnesium deficit of 10 kg per hectare in a normal crop rotation even when alle harvested crops are fed to livestock (maximum return in manure); under conditions of »cattle-less farming« the deficit may be increased by as much as 25 kg/hectare.

It seems justified to conclude that at least sand soils with TMg below 4.0 contain reserves of magnesium so limited that it would be inadvisable to draw upon them continually. Such soils should be given annual applications of magnesium fertilizers sufficient to cover the approximate 10 kg/hectare margin of annual magnesium loss, otherwise the magnesium problem must be expected to develop into a factor of major and increasing economic importance in crop production.

LITTERATURHENVISNINGER

- Banewicz, J. J., & Kenner, C. T.*, 1952. – Determination of calcium and magnesium in limestones and dolomites. – *Analytical Chemistry*, 24, 1186–1187.
- Bondorff, K. A.*, 1938. – Forelæsninger over Landbrugets Jorddyrkning, 1. del. – (Kandrup og Wunsch, København).
- Bondorff, K. A.*, 1950. – Om bestemmelse af jordens rumvægt. – *Tidsskrift for Planteavl*, 53, 449–460.
- Cheng, H. H., & Kurtz, L. T.*, 1960. – Elimination of manganese interference in the EDTA titration of exchangeable soil magnesium. – *J. Agr. Food Chem.*, 8, 24–26.
- Christensen, P.*, 1927. – Danske Landbrugsplanters Indhold af Mineralstoffer. – Andelsbogtrykkeriet, Odense.
- Christensen, W.*, 1962. – Den geokemiske udvikling i de øvre jordlag i Danmark. – *Meddelelser fra Dansk Geologisk Forening, København*, 15, 112–122.
- Dorph-Petersen, K.*, 1955. – Magnesiumproblemet for landbrugets planteavl. – *Tidsskrift for Planteavl*, 58, 369–395.
- Gehrke, C. W., Affsprung, H. E., & Lee, Y. C.*, 1954. – A direct disodium dihydrogen ethylenediaminetetraacetate titration procedure for magnesium in limestone. – *Research Bulletin 569, Missouri Agricultural Experiment Station*.
- Hansen, L.*, 1961. – Hydrometermetoden til bestemmelse af jordens tekstur. – *Grundförbättring*, 177–188.
- Harvey, A. E., jr., Komarmy, J. M., & Wyatt, C. M.*, 1953. – Colorimetric determination of magnesium with Eriochrome Black T. – *Analytical Chemistry*, 25, 498–500.
- Henriksen, Aage*, 1960. – Om bestemmelse af calcium, magnesium, kalium og natrium i plantemateriale. – *Tidsskrift for Planteavl*, 64, 530–552.
- Henriksen, Aage, & Olesen, Johs.*, 1961. – Orienterende undersøgelse vedrørende magnesiummangelen og dens udbredelse i Jylland. – 61. beretning om planteavlsarbejdet i Jylland, 617–621.

- Henriksen, Aage*, 1963. – Om magnesiumbinding i jordbunden. – Tidsskrift for Planteavl (i trykken).
- Jacob, A.*, 1955. – Magnesia der fünfte Pflanzenhauptnährstoff. – Ferdinand Enke, Stuttgart.
- Jensen, H. L., & Henriksen, Aage*, 1954. – Microbiological and chemical determination of magnesium in soil. – Acta Agr. Scand., 5, 98–112.
- Jensen, H. L., & Henriksen, Aage*, 1955. – Om magnesiumbestemmelser i dansk jord. – Tidsskrift for Planteavl, 58, 396–420.
- Jensen, J.*, 1962. – Undersøgelser over nedbørens indhold af plantenæringsstoffer. – Ibid., 65, 894–906.
- Kolthoff, I. M., & Sandell, E. B.*, 1943. – Textbook of quantitative inorganic analysis. – The Macmillan Company, New York.
- Lundblad, K.*, 1949. – Experiments on magnesium fertilization. – Kungl. Lantbrukshögskolans Annaler, 16, 568–592.
- Olesen, Johs., & Henriksen, Aage*, 1962. – Undersøgelse vedrørende magnesiummangelen og den udbredelse i Jylland. – 62. beretning om planteavlssarbejdet i Landboforeningerne i Jylland, 584–591.
- Poulsen, E., & Dalbro, S.*, 1962. – Forskellige jordtypers gennemtrængelighed for kalium og magnesium. – Tidsskrift for Planteavl, 66, 50–74.
- Rasmussen, Kj., & Tovborg Jensen, S.*, 1960. – Investigations on potash and potash release in Danish soils. – Kgl. Vetr. Landbohøjsk. Aarsskr., 1960, 88–122.
- Reitemeier, R. F., Holmes, R. S., & Brown, I. C.*, 1948. – Release of non-exchangeable potassium by greenhouse, Neubauer and laboratory methods. – Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 12, 158–162.
- Ritchie, J. A.*, 1955. – Titration of magnesium in presence of aluminium. – The Analyst, 80, 403.
- Schachtschabel, P.*, 1954. – Das pflanzenverfügbare Magnesium des Bodens und seine Bestimmung. – Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenkunde, 67, 9–24.
- Schwarzenbach, G.*, 1955. – Die komplexometrische Titration. Die chemische Analyse. – Ferdinand Enke, Stuttgart.
- Semb, G., & Uhlen, G.*, 1955. – A comparison of different analytical methods for the determination of potassium and phosphorus in soil based on field experiments. – Acta Agr. Scand., 5, 44–68.
- Shapiro, L., & Brannock, W. W.*, 1952. – Rapid analysis of silicate rock. – U.S. Geol. Survey Circ. 165.
- Sluijsmans, C. M. J.*, 1957. – Die Düngewirkung des Magnesiums im Thomasphosphat. – Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenkunde, 79, 23–31.
- Smit, J., & Mulder, E. G.*, 1942. – Magnesium deficiency as the cause of injury in cereals. – Mededel. Landbouwhoogeschool, Verhand. 3, Deel 45, (Wageningen).

- Ståhlberg, S.*, 1960. - Studies on the release of bases from minerals and soils IV. The release of calcium and magnesium by boiling hydrochloric acid. - *Acta Agr. Scand.*, 10, 205-225.
- Svanberg, O.*, 1949. - Mikroelement och några andra sekundära grundämnen i jordbruk och husdjursskötsel. - L. T.'s Förlag, Stockholm.
- 1962. - De svenska skördeprodukternas innehåll av biogena element. - GKS' skriftserie nr. 3, Stockholm.
- Touborg Jensen, S.*, 1936. - Kalkens Omsætninger i Jordbunden, teoretisk og eksperimentelt belyst. - *Tidsskrift for Planteavl*, 41, 571-649.
- Wiklander, L.*, 1959. - Dräneringsvattnets innehåll av näringsämnen. - *Grundförbättring*, 12, 193-210.