

Magnesiumbalancen i danske landbrugsjorder

Ved Aage Henriksen

895. beretning fra Statens Forsøgsvirksomhed i Plantekultur

Nærværende beretning fremkommer som et led i de undersøgelser over jordens magnesiumindhold, der til stadighed udføres ved Statens Planteavlslaboratorium.

Forstanderne ved Statens Forsøgsvirksomhed i Plantekultur

Ved 3-årige udpiningsforsøg i kar er det påvist, at alm. rajgræs kunne optage ikke-ombytteligt magnesium fra 14 jorder af forskellig type, varierende fra dyrket hedesand til ret svær lerjord. Resultaterne (upublicerede) viste tillige, at der er sikker forskel mellem de enkelte jordtypers evne til at frigøre ikke-ombytteligt magnesium. Omregnet til hektarbasis i 20 cm dybde fandtes de gennemsnitlige årlige mængder således til ca. 6 kg for dyrkede hedesandjorder, 14 kg for øvrige sandjorder og 23 kg for lerjorder, dog med aftagende tendens fra 1. til 3. forsøgsår.

Det må understreges, at de fundne mængder ved disse forsøg kun kan betragtes som relative mål for de enkelte jordtypers evne til at frigøre ikke-ombytteligt magnesium, idet de absolutte mængder må påregnes at være mindre under markforhold. Men at der også under markforhold sker en frigørelse af magnesium fra de ikke-ombyttelige reserver kan vises udfra forsøg, hvor der foreligger bestemmelser af Mgt ved såvel anlæg som afslutning samt af afgrødens magnesiumoptagelse. Dette gælder f.eks. flere af græsmarksudvalgets forsøg.

Det er imidlertid klart, at en udpining ikke kan fortsættes i et ubegrænset tidsrum, og at en jords magnesiumtilstand i det lange løb følgelig må blive bestemt af forholdet mellem tilførsel og bortførsel af stoffet. En så udtømmende undersøgelse som muligt af disse to hovedposter og samtlige underposter, som indgår heri, er derfor et nødvendigt led i en samlet vurdering af magnesiumsituationen i landbruget.

Den første vurdering af magnesiumbalancen

i dansk landbrug blev foretaget af Dorph-Petersen (1955) på basis af det indtil da foreliggende analysemateriale. Dette var ret sparsomt, navnlig hvad angår den vigtige post, bortførsel med dræn- og grundvand, og konklusionen måtte derfor blive, at balancen helt ville afhænge af denne ukendte størrelse samt af den ligeledes ukendte faktor, forvitringen, som også var inddraget i opstillingen. Dorph-Petersen sluttede dog, at man ville kunne forvente et underskud i balancen på sandjorder, og dermed en udtømmning af disse jorders indhold af tilgængeligt magnesium.

Den næste magnesiumbalance blev opstillet af Henriksen (1964) på basis af et større analysemateriale, specielt for de bortførte mængder i dræn- og grundvand. Konklusionen af denne undersøgelse blev, at der som gennemsnit for Danmarks landbrugsareal måtte regnes med et årligt underskud på ca. 10 kg magnesium pr. ha. Siden denne beregning blev foretaget, er der yderligere samlet et større analysemateriale, der muliggør en sikrere og mere detaljeret vurdering for visse faktorer vedkommende og dermed en ajourføring af magnesiumbalancen.

Tilførsel af magnesium

Når der ses bort fra magnesiumfrigørelse ved forvitring, der ikke er en indtægt for jorden, kan de forskellige poster opstilles således:

1. Tilførsel med staldgødning og ajle
2. » » handelsgødninger
3. » » grundforbedringsmidler
4. » » såsæd
5. » » nedbør og luft.

1. Tilførsel med staldgødning og ajle: Totalindholdet af magnesium i den producerede staldgødning og ajle lader sig beregne med nogenlunde sikkerhed, idet den vil være bestemt af magnesiumindholdet i Danmarks høstudbytte efter korrektion med følgende vindings- og tabsposter:

- Gevinst ved indkøb af udenlandske fodermidler samt anvendelse af magnesiumholdige mineralstoffer.
- Tab ved salg af vegetabiliske produkter samt anvendt udsæd.
- Tab ved salg af mineralske produkter.
- Tab ved udvaskning i møddingen.

Tabel 1. Årlig magnesiumtilførsel med importerede oliekgager, korn og majs samt magnesiumsalte i mineralstofblandinger

	Mill. kg	% Mg	Mill. kg Mg
Bomuldsfrøkager m.v.	360	0,60	2.160
Solsikkekager m.v.	50	0,42	0.210
Kokoskager m.v.	60	0,32	1.920
Soyabønnekager m.v.	420	0,30	1.260
Jordnødkager m.v.	90	0,34	0.306
Hørfrøkager	25	0,45	0.112
Andre oliekgager	16	0,40 ¹⁾	0.064
Korn	500	0,12	0.600
Majs	150	0,12	0.180
Mineralstofblandinger .. ca. 2,5 ²⁾		ca. 20 ²⁾	0.500
	Ialt		5.584

¹⁾ Anslået indhold

²⁾ Efter indhentede oplysninger fra foderstoffirmaer 1967

a. I tabel 1 er anført en beregning over magnesiumtilførsel med importerede oliekgager, korn og majs, samt med magnesiumsalte i mineralstofblandinger. Oplysningerne om importmængder (gns. for årene 1963-67) stammer dels fra foderstoffirmaer, dels fra den officielle statistik. Ved beregning af de totale indførte magnesiummængder er anvendt middeltal for procentisk magnesiumindhold i de respektive foderemner, beregnede ud fra foreliggende analysedata fra forskellige kilder, f.eks. Nordfeldt og Ruudvere (1961), Wöhlbier (1962) samt egne analyser.

Det fremgår af tabel 1, at de importerede fodermidler samt mineralblandinger yder et ret væsentligt bidrag til foderets, og dermed til staldgødningens magnesiumindhold, nemlig omkring 1,9 kg pr. ha årlig.

b. Salg af vegetabiliske produkter til eksport eller til produktion af fodermidler her i landet udgør et direkte tab af magnesium. Med Landbrugsstatistik 1967 som kilde, for grønmel dog ifølge indhentede oplysninger fra Forskningsinstituttet for Handels- og Industriplanter, Kolding, gældende for året 1966, drejer det sig for de vigtigste produkter om følgende mængder (gns. for årene 1963-67, omregnet til tørstof)

Korn	672 mill. kg	= 0.806 mill. kg Mg
Sukkerroer	600 » »	= 0.720 » » »
Kartofler	145 » »	= 0.174 » » »
Grønmel	60 » »	= 0.096 » » »
Udsæd, korn og kartofler		= 0.316 » » »
Ialt		2.112 mill. kg Mg

Ved beregning af magnesiummængder er anvendt de i tabel 2 anførte middeltal for magnesiumindhold, der er baseret på et stort antal analyser (Henriksen, 1968).

Tabel 2. Middeltal og variationsbredde for indhold af magnesium i forskellige afgrøder

Afgrøde	% Mg i tørstof	
	Gns.	Variation
Kærne	0,12	0,06-0,15
Halm	0,06	0,04-0,12
Bederøer	0,12	0,06-0,22
Kålroer	0,10	0,05-0,18
Bederøetop	0,32	0,10-0,66
Græsafrøder ...	0,16	0,08-0,33

En mindre del af ovennævnte magnesiummængde vender dog tilbage til foderbeholdningen igen i form af forskelligt fabriksaffald. Men et magnesiumtab fra foderbeholdningen på ca. 0.7 kg pr. ha ved salg af vegetabiliske produkter fra landbruget samt fragang til udsæd må dog betragtes som sandsynligt. De øvrige ikke anførte salgsafgrøder er mængdemæs-

sigt set af ringe betydning i landbrugets samlede magnesiumbalance.

c. Tabet ved salg af animalske produkter lader sig omtrentligt beregne. På basis af gennemsnitsproduktionen 1963-67 (Landbrugsstatistik 1967) og indhold af magnesium heri (Jacob 1955) kan husdyrproduktionens magnesiumindhold opgøres således:

5200 mill. kg mælk m. 0.01 pct. Mg = 0.52 mill. kg Mg
450 » » kvæg » 0.04 » » = 0.18 » » »
1000 » » svin » 0.04 » » = 0.40 » » »
Ialt 1.1 mill. kg Mg

Ved ovenstående beregninger er den totale produktion af sødmælk formindsket med det opgivne forbrug til foder. For kvæg er vægten af slagtedyrene beregnet fra kødproduktionen under forudsætning af et slagtesvind på 45 pct. og for svin under forudsætning af 25 pct. slagtesvind, idet de anvendte magnesiumindhold er i pct. af levende vægt. Med tillæg af fjerkræproduktionen, som ikke er medregnet, udgør bortførslen med animalske produkter således gennemsnitligt omkring 0.4 kg Mg pr. ha årlig.

d. Enkelte undersøgelser over bortsivningstab af magnesium fra staldgødningen under opbevaringen i møddingen tyder på, at dette tab er ret ubetydeligt, kun ca. 4 pct. af indholdet (Jensen og Henriksen, 1955). Dette resultat, der stammer fra undersøgelser ved Askov, bør dog næppe tages som repræsentativt; i praksis må der formodentlig regnes med et noget større tab, som dog naturligvis vil variere efter opbevaringstid og -sæson, nedbørsmængde samt møddingens udformning og pleje. Sammen med spild af gødning og bortførsel ved salg af animalske produkter udgør bortsivningen det reelle tab af magnesium ved foderets omsætning.

Ifølge de i tabel 3 anførte beregninger optager afgrøderne 23.44 millioner kg magnesium årlig. Den opfodrede magnesiummængde kan herefter beregnes således:

Afgrødens magnesiumindhold	23.44 mill. kg
Magnesium i importerede fodermidler	
m.v.	5.58 » »
	29.02 » »
Magnesium i afgr. solgt fra landbr. . .	2.11 » »
Foderets magnesiumindhold.	26.91 mill. kg

Indholdet af magnesium i den animalske produktion udgør 1.1 million kg eller ca. 4 pct. af foderets indhold, der er et direkte tab. Til belysning af bortsivningstab i møddinger foreligger ikke yderligere undersøgelsesmateriale specielt for magnesium, men det kan nævnes, at det for fosfor og kalium er fundet at variere fra 5 til 20 pct. Da udvaskningen af magnesium må antages at være af tilsvarende størrelse vil en gennemsnitsprocent på 11 være realitetsbetonet. Når hertil lægges de 4 pct., som indeholdes i den animalske produktion fås en »returprocent« på 85 for foderets magnesiumindhold i staldgødning og ajle.

Staldgødningens og ajlens magnesiumindhold kan herefter beregnes til $26.91 \times 0.85 = 22.87$ millioner kg Mg, eller ca. 7.8 kg pr. ha landbrugsareal i gennemsnit.

2. *Tilførsel med handelsgødninger:* Som anført i en tidligere beretning (Henriksen 1964) yder magnesium som følgestof i handelsgødning kun et beskedent bidrag til jordens magnesiumforsyning, nemlig i gennemsnit ca. 0,7 kg pr. ha landbrugsareal årlig med forbruget i 1961/62 som basis. Selv om der i årene siden er sket visse ændringer, såvel i forbrugets størrelse som forbrugsmønstret, vil dette næppe påvirke ovennævnte tal, idet et stigende forbrug kompenseres af nedgang i indhold af magnesium som følgestof i de anvendte stadig »renere« gødninger.

Forbruget af magnesiumgødninger og af handelsgødninger med tilsætning af magnesium spiller derimod en stadig stigende rolle. Dette fremgår af nedenstående oversigt, udarbejdet på grundlag af gødningsstatistikken samt oplysninger fra Landbrugsministeriets Gødningstilsyn.

	Kg Mg/ha
1963/64.....	ca. 0,2
1964/65.....	1,5
1965/66.....	3,1
1966/67.....	4,3
1967/68.....	3,6
1968/69.....	4,6

I gennemsnit af de sidste 3 år er der således tilført omkring 5 kg Mg pr. ha årlig med handelsgødningerne, hovedsagelig som tilsætning til PK- og NPK-gødningerne.

3. For indhold af magnesium i kalk og mergel foreligger en række nye analysedata (Sørensen og Frederiksen, 1967). Disse svarer imidlertid ret nær til tidligere fundne resultater. Ligeledes er forbruget af CaCO₃ i såvel jordbrugskalk og mergel stort set uændret siden beregninger over tilførslen hermed blev udført af Henriksen (1964) og anslået til ca. 1 kg pr. ha landbrugsareal og år.

4. De med udsæden tilførte magnesiummængder har givetvis stor betydning for den første fase i plantevæksten, men øver kun en ringe indflydelse på landbrugsjordernes magnesiumbalance. Dette gælder i første række for græs- og rodfrugtarealerne, hvor udsædsmængderne kvantitativt er små og iøvrigt af ukendt magnesiumindhold. For korn- og kartoffelarealerne er de anvendte udsædmængder henhv. ca. 180 og 2500 kg, modsvarende 150 og 550 kg tørstof/ha. Med et magnesiumindhold i tørstoffet på 0,12 pct. tilføres der med udsæden af korn 0,18 kg Mg og med læggematerialet af kartofler ca. 0,7 kg Mg/ha. Baseret på et kornareal på 1,6 millioner ha og et kartoffelareal på 50.000 ha udgør udsædens magnesiumindhold 316 tons eller omkring 0,1 kg pr. ha og år i gennemsnit af det samlede landbrugsareal.

5: Tilførsel af magnesium med nedbør og luft er undersøgt af J. Jensen (1962) som fandt, at den samlede tilførsel fra atmosfæren andrager ca. 6 kg Mg pr. ha og år som gennemsnit for landet.

Bortførsel af magnesium

1. Bortførsel af magnesium med afgrøderne er tidligere beregnet til 16 kg pr. ha årlig (Henriksen 1964). Til grund for denne beregning var lagt et opstillet sædskifte med 50 pct. korn, 25 pct. roer og 25 pct. kløvergræs, samt de indtil da foreliggende gennemsnitstal for indhold af magnesium i tørstof af de enkelte afgrøder.

I de senere år er der ved Statens Planteavlslaboratoriums afdeling i Vejle gennemført et meget stort antal bestemmelser af danske landbrugsafgrøders magnesiumindhold. Middeltal og variationsbredder for de hidtil offentliggjorte resultater fra disse undersøgelser er meddelt af Henriksen (1968), og de i tabel 2 angivne tal er et uddrag herfra. Ved sammenligning mellem disse og de tidligere anførte middeltal fremgår kun mindre afvigelser, bortset fra halm.

Mod selve det udbyttmæssige beregningsgrundlag kan der imidlertid rejses indvendinger, idet dette ikke er i overensstemmelse med de gennemsnitlige høstudbytter for landet som helhed, således som de fremgår af Statistisk Departements opgørelser, men er ansat højere for samtlige afgrøder.

Ved en beregning af afgrødernes årlige bortførsel af magnesium fra dansk landbrugsjord, hvis resultater er vist i tabel 3, er anvendt gennemsnit af høstudbyttet fra årene 1963-67 samt de i tabel 2 angivne gennemsnitstal for magnesiumindhold i tørstof. Hermed skulle beregningerne være gennemført på et så realistisk grundlag som muligt, så meget desto mere, som kun bjerget halm og roetop er medtaget ved udbytteopgørelsen.

Ifølge resultaterne i tabel 3 skulle den årlige magnesiumbortførsel med det nuværende udbyttensniveau andrage ca. 23,5 mill. kg, hvoraf ca. 9 mill. kg er optaget i kornafgrøderne, 6,3 mill. kg i roeafgrøderne, ca. 8 mill. kg i græsafgrøder og 0,3 mil. kg. i kartofler. Beregnet pr. ha bliver den gennemsnitlige optagelse ca. 8 kg pr år eller kun godt halvdelen af hvad der fandtes i det opstillede sædskifte ved den tidligere beregning (Henriksen, 1964). Årsagerne til denne drastiske reduktion må søges i den

Tabel 3. Den årlige magnesiumbortførsel med afgrøder, beregnet på grundlag af det gennemsnitlige høstudbytte i årene 1963-67 og det gennemsnitlige procentiske magnesiumindhold i tørstof (tabel 2)

Afgrøde	Areal 1000 ha	Tørstof- udbytte 1000 t	% Mg	Magnesiumopt.	
				1000 t	kg/ha
Kærne	1600	5100	0,12	6,12	3,83
Halm	—	4500	0,06	2,70	1,70
Sukkerr./fabrik	65	600	0,12	0,72	11,08
Fodersukkerroer	165	1350	0,12	1,62	9,82
Roetop	—	880	0,32	2,82	12,26
Kålroer	140	1150	0,10	1,15	8,21
Græsmarksafgrøder	900	5000	0,16	8,00	8,89
Kartofler	50	260	0,12	0,31	6,24
Ialt	2920			23,44	8,0

tidligere omtalte forskel i beregningsgrundlag, såvel med hensyn til udbytte som procentisk magnesiumindhold. Specielt påvirker de to kløvergræsafgrøder resultatet af den tidligere undersøgelse, idet der her var regnet med udbytter på 100 hkg tørstof pr. ha og år og med et magnesiumindhold på 0,25 pct. i tørstoffet. I betragtning af den betydelige variation i det procentiske magnesiumindhold (tabel 2) og den ligeledes betydelige udbyttevariation er resultatet af den tidligere beregning ingenlunde urealistisk, men blot ikke udtryk for gennemsnitsforhold, således som de fremgår af statistikken over høstudbytte.

2. Den gennemsnitlige bortførsel af magnesium med vandløbsvand er tidligere beskrevet (Henriksen, 1964). Som gennemsnit for landet som helhed fandtes et magnesiumtab ved udvaskning på 15 kg Mg pr. ha og år, hvilket er i overensstemmelse med resultater af lysimeterundersøgelser ved Askov (Dam Kofod og Lindhard, 1968). Gennem 9 år, hvor græs-dækket jord fra 9 lokaliteter kun blev gødet med kalksalpeter fandtes en udvaskning på gennemsnitligt 14,5 kg Mg pr. ha og år, med yderpunkterne 4 og 35 kg.

I Sverige har Wiklander (1959) fundet en udvaskning på 15,8 kg Mg pr. ha og år, baseret på undersøgelser af dræn- og vandløbsvand.

I 15-årige lysimeterforsøg ved Limburgerhof (årsnedbør 570 mm) fandt Pfaff (1963) en gennemsnitlig årlig magnesiumudvaskning på 15 kg fra ugødede lerjorder og 14 kg fra ugødede sandjorder.

På grundlag af nedbørs- og fordampningsmålinger ved Jyndeved 1950-60 er den gennemsnitlige afstrømning fra denne jord beregnet til 321 mm pr. år (Knudsen, 1964). Tilsvarende analyser af grundvand fra en boring (5 m dybde) på forsøgsstationens jord viste et indhold på gns. 5,6 mg Mg pr. liter, og samme indhold fandtes i vand fra et åløb, 300 m fra forsøgsstationen. Beregning ud fra disse tal viser en årlig udvaskning fra denne jord på ca. 18 kg Mg pr. ha.

Da en række direkte og indirekte bestemmelser således giver overensstemmende resultater med den i 1964 foretagne udførlige undersøgelse, må det anses for sandsynliggjort, at den gennemsnitlige årlige magnesiumudvaskning andrager ca. 15 kg pr. ha fra Danmarks landbrugsareal.

Ajourført magnesiumbalance

På basis af de meddelte undersøgelsesresultater, såvel i revideret som i direkte refereret form kan følgende gennemsnitlige magnesiumbalance for Danmarks landbrugsareal herefter opstilles:

	Mg, kg/ha og år	
Bortførsel med		
1. Afgrøder	8,0	
2. Dræn- og grundvand	15,0	23,0
Tilførsel med		
1. Staldgødn. og ajle ..	7,8	
2. Handeleggødninger ..	5,0 ¹⁾	
3. Grundforbedrings- midler	1,0	
4. Såsæd	0,1	
5. Nedbør og luft	6,0	19,9
Underskud:		3,1

¹⁾ Gennemsnit for årene 1966/67 til 1968/69, heraf 4,2 kg hidrørende fra direkte magnesiumtilsætning.

Da den i 1964 opstillede magnesiumbalance viste et underskud på gennemsnitligt 10 kg Mg pr. ha og år har den reviderede beregning således resulteret i en væsentlig formindskelse. Dette skyldes i første række den betydelige forøgelse i tilførslen af magnesium med blandingsgødninger, der har fundet sted. Dernæst medregningen af nettotilgangen af magnesium med importerede fodermidler og mineralstoffer, samt formindskelsen af den beregnede bortførsel af magnesium med afgrøderne og det deraf følgende formindskede tab ved omsætningen.

Balanceberegningen, der giver et landsgennemsnit, skulle herefter være ført ajour og udvidet til at omfatte alle relevante vindings- og tabsposter.

Undersøgelser af jordprøver fra fastliggende, langvarige gødningsforsøg

En nærliggende mulighed for en direkte kontrol på den i det foregående beregnede magnesiumbalance består i undersøgelser af jordprøver fra fastliggende markforsøg, udtaget i samme forsøgsled men med stor tidsmæssig afstand. En sådan mulighed byder det ret enestående materiale af jordprøver, som i årenes løb er udtaget i forsøg til sammenligning mellem staldgødning og kunstgødning, beliggende ved fire af statens forsøgsstationer.

Fra fire ud af de fem forsøg, som stadig er bevaret, fandtes prøver, som er udtaget for så mange år tilbage, at man ved sammenligning med nyudtagne prøver fra samme forsøgsled kunne forvente et fald i det totale magnesiumindhold, som med en nogenlunde rimelig sikkerhed lod sig bestemme. Fra hvert af disse forsøg udvalgte to prøvesæt til undersøgelser, nemlig de ældste foreliggende og sidst udtagne prøver fra de ugdede og de kvælstof-kaliumgødede led.

Ved hjælp af et af E. Jensen og Møller Hansen (1961) beskrevet apparatur blev prøvernes ler- og siltfraktion isoleret. Mængden heraf, bestemt ved vejning, er opgivet i tabel 4 som procentisk indhold af ufraktioneret jord. Det totale magnesiumindhold i såvel ufraktionerede jorder som i ler- og siltfraktion blev bestemt atomabsorptiometrisk i opløsning af inddampningsrest efter fuldstændig sønderdeling af prøven med flussyre og afrygning af den dannede kiselsyre. Resultaterne af disse analyser, opgivet som gennemsnit af 2 fællesbestemmelser, er ligeledes vist i tabel 4. Som grundlag for en vurdering af de opgivne gennemsnitsresultaters sikkerhed er endvidere anført differenserne mellem fællesbestemmelser af de totale magnesiumindhold.

Ved sammenligning mellem resultaterne fra de to tidsforskudte prøveudtagninger fremgår, at der kan konstateres en mere eller mindre udpræget nedgang i det totale magnesiumindhold fra den ældste til den seneste prøveudtagning for alle jorder. Også for totalindholdet i ler- og siltfraktion samt Mgt er tendensen tydelig, selv om det må understreges, at såvel den opnåelige prøveudtagnings- som analysenøjagtighed i høj grad begrænser hele undersøgelsens sikkerhed.

Der kan i denne forbindelse peges på tendensen til aftagende lerindhold fra første til sidste prøveudtagning, hvad enten denne nu skyldes, at der er pløjet dybere i løbet af det mellemliggende tidsrum, eller at jorderne lettere dispergeres, når de i en længere årrække har henligget i tørret tilstand. Endvidere, at blot 1 mg Mg pr. 100 g jord svarer til en magne-

Tabel 4. Magnesiumbestemmelser i jordprøver fra langvarige, fastliggende gødningsforsøg ved statens forsøgsstationer. Gennemsnit af 2 fællesanalyser

Lokalitet og forsøgsled	Prøver udt.	%		Mgt	Jord	Total-Mg; mg/100 g			Gns.-tab pr. år kg Mg/ha		
		Ler	Silt			Diff. mell. fællesanal.					
						Ler	Silt	Jord	Ler	Silt	
Askov L.:											
Ugødet	1941	10,3	9,7	2,6	160	796	241	1	25	8	
»	1961	9,6	9,9	3,0	146	766	214	5	18	17	17,5
1 N + 1 K	1941	10,6	10,2	3,3	158	791	250	4	13	4	
»	1961	9,7	9,8	2,2	145	745	223	9	19	11	16,3
Askov S.:											
Ugødet	1945	4,6	3,4	3,7	74	592	249	6	24	5	
»	1961	4,2	3,9	3,0	66	548	260	3	20	7	12,5
1 N + 1 K	1945	4,5	4,6	4,1	76	611	243	5	10	12	
»	1961	4,1	4,5	2,8	66	563	234	6	18	4	15,6
Stuftsgaard:											
Ugødet	1943	4,3	7,0	2,4	53	550	190	5	0	10	
»	1962	4,1	6,9	1,9	48	534	192	4	15	4	6,6
1 N + 1 K	1943	3,9	6,3	3,2	52	511	204	6	18	10	
»	1962	4,0	6,5	1,6	50	494	193	2	12	11	2,6
Lundgaard:											
Ugødet	1930	2,9	4,1	1,8	79	603	204	3	24	12	
»	1963	2,5	4,5	1,4	73	565	192	3	19	8	4,5
1 N + 1 K	1930	2,6	4,8	1,6	78	584	201	2	7	5	
»	1963	2,3	4,7	0,8	70	544	194	5	22	11	6,1

siummængde på ca. 25 kg pr. ha i pløjelaget.

Ikke desto mindre må det være berettiget at fastslå, at resultaterne støtter de i det foregående beskrevne beregninger, der resulterede i en negativ magnesiumbalance. Ligeledes fremgår det med rimelig sikkerhed af undersøgelsen, at de årlige magnesiumtab er større ved såvel Askov ler- og sandmark end ved Studsgaard og Lundgaard. Hvilke årsager der fortrinsvis ligger til grund herfor lader sig imidlertid ikke udrede, idet der f.eks. ikke foreligger bestemmelser af magnesiumbortførsel med afgrøderne eller tilførsel med kalk og handelsgødning for de enkelte forsøgssteder og -led.

Diskussion

Med den anvendte beregningsform, som beskrevet i det foregående, fås som resultat et

landsgennemsnit for dansk landbrugsjords magnesiumbalance. Men det er klart, at der i praksis vil forekomme betydelige afvigelser herfra, såvel i positiv som negativ retning, og ligeledes, at samtlige balanceposter kun med en betydelig grad af usikkerhed lader sig anslå i hvert enkelt konkret tilfælde.

Største usikkerhed knytter der sig til udvaskningen af magnesium fra jorden, der med et gennemsnit på ca. 15 kg pr. ha og år er den betydeligste post i balanceberegningen. Dette tal dækker selvsagt over betydelige variationer, såvel fra jord til jord som fra år til år, idet udvaskningens størrelse afhænger af en lang række forhold, såsom jordens magnesiumtilstand, adsorptions- og vandkapacitet, pH, gødningsintensitet og art samt tidspunkt for udbringning, bevoksning og endelig de klimatiske forhold. Ud fra resultaterne af lysimeterforsø-

gene ved Askov (Dam Køfoed og Lindhard, 1968) kan følgende retningslinier dog angives for jorder uden magnesiumtilførsel, alt i kg Mg pr. ha og år.

Lette sandjorder	4-8
Almindelige »	8-12
Lerjorder	12-35

Ved tilførsel af magnesium med stald- eller handelsgødning vil udvaskningen øges, navnlig for sandjorder.

Der næst spiller driftsformen selvsagt en betydelig rolle, idet husdyrhold på en ejendom normalt medfører opfodring af hele avlen og som oftest tillige et større eller mindre indkøb af magnesium med fodermidler.

Som yderpunkter kan opstilles en magnesiumbalance for et kvægløst landbrug med intensiv korn-, sukkerroe- og græsdyrkning, samt et landbrug med husdyrhold, hvor det hjemmeavlede foder suppleres med indkøbt foder. I begge tilfælde forudsættes en udvaskning på 15 kg Mg pr. ha og anvendelse af handelsgødning uden tilsætning af magnesium.

1. *Landbrug uden kvæghold.* Sædskifte med 60 pct. korn, 20 pct. sukkerroer og 20 pct. græs. Halm og top sælges ligeledes. Udbyttene: Kærne 40 hkg tørstof, græs og sukkerroer 100 hkg tørstof/ha.

Magnesiumoptagelse i afgrøderne, gns.	13	
Bortførsel ved udvaskning	15	28
<hr/>		
Tilførsel med handelsgødning, kalk, såsæd, nedbør og luft.....		8
Underskud, kg Mg/ha		20

2. *Landbrug med kvæghold.* Sædskifte med 50 pct. korn, 25 pct. roer og 25 pct. græs. Udbyttene som i foregående eksempel. Der indkøbes en foder- og mineralstofmængde, svarende til 5 kg Mg pr. ha.

Magnesiumoptagelse i afgrøderne, gns.	15	
Bortførsel ved udvaskning	15	30
<hr/>		
Tilførsel med staldgødning og ajle.....	17	
do. med handelsgødning, kalk, såsæd, nedbør og luft.....	8	25
Underskud, kg Mg/ha		5

Eksemplerne illustrerer kvægholdets betydning for magnesiumbalancen. Men sædskiftet spiller naturligvis tillige en betydelig rolle. Hvis der i eksemplet med landbrug uden kvæghold havde været et sædskifte med 100 pct. korn uden fjernelse af halmen fra marken ville underskuddet være formindsket til 12 kg Mg pr. ha og år under samme forudsætninger.

Det skal tilføjes, at praktisk taget alle dyrkede jorder er i stand til at frigøre større eller mindre mængder magnesium fra de ikke-ombyttelige reserver, generelt des mere jo højere jordens lerindhold er. Men hastigheden, hvorved denne proces foregår, er aftagende ved fortsat udpining af jorden. Specielt på sandjorder og lettere lerjorder er det derfor nødvendigt at erstatte en større eller mindre del af magnesiumunderskuddet gennem magnesiumtilførsel med handelsgødning, ikke alene for at opretholde udbyttene, men også for at opnå et tilstrækkeligt højt magnesiumindhold i afgrøderne til dækning af husdyrenes behov.

Oversigt

Nærværende beretning indeholder en udbygning og ajourføring af den af forfatteren i 1964 opstillede balanceberegning, der resulterede i et gennemsnitligt underskud for landbrugsarealet som helhed på 10 kg magnesium pr. ha og år.

Flere af posterne er overført uændrede herfra; dette gælder således to af de betydningsfulde, nemlig tilførsel af magnesium fra atmosfæren og bortførsel af magnesium med dræn- og grundvand, idet disse to poster må anses for så grundigt belyste, at yderligere undersøgelser ikke kan ændre de fundne værdier i noget væsentligt omfang.

Derimod er selve det udbyttemæssige beregningsgrundlag ændret og bragt i overensstemmelse med arealbenyttelse og høstudbytter for landet som helhed. Endvidere er der i årene siden den foregående balanceberegning udført et meget betydeligt antal magnesiumbestemmelser i afgrøder, hvis resultater har givet anledning til en vis revision af de i den tidligere undersøgelse anvendte gennemsnitsværdier. Endelig er indregnet gevinst ved indkøb af uden-

landske fodermidler og tab ved salg af indenlandske planteavlprodukter til eksport eller til produktion af fødemidler. Herved skulle beregningerne være gennemført på et så udtømmende og realistisk grundlag som muligt for det foreliggende formål, der har været en beregning af magnesiumbalancen for landbrugsarealet som helhed.

Resultatet af den således reviderede og ajourførte beregning viser et magnesiumunderskud på 3,1 kg pr. ha og år, altså en reduktion på 6,9 kg i forhold til resultatet af den tilsvarende beregning i 1964. Hertil skal dog bemærkes, at tilførslen af magnesium med handelsgødninger er øget med ca. 4 kg pr. ha og år siden 1964, på grund af den stærkt stigende anvendelse af gødninger med magnesiumtilsætning.

Det understreges stærkt, at der i praksis vil forekomme betydelige afvigelser fra det beregnede landsgennemsnit. Dette er illustreret med eksempler fra landbrug med og uden husdyrhold; under de givne forudsætninger fandtes magnesiumunderskuddet ved de to driftsformer til henholdsvis 5 og 20 kg Mg pr. ha og år.

Ved undersøgelse af jordprøver fra fastliggende, langvarige gødningsforsøg, udtaget i samme forsøgsled men med en tidsmæssig afstand på 20 til 30 år, er den beregnede, negative magnesiumbalance søgt eksperimentalt bekræftet. I samtlige 8 prøvesæt herfra fandtes en formindskelse i det totale magnesiumindhold, der omregnet til hektarbasis androg mellem 3 og 17 kg Mg pr. år. Det må derfor være berettiget at fastslå, at resultaterne støtter de beskrevne beregninger, der viser en negativ magnesiumbalance. Da formindskelsen i jordens indhold af ombytteligt magnesium kun udgør nogle få procent af formindskelsen i totalindholdet, bekræfter resultaterne ligeledes, at der frigøres magnesium fra de ikke-ombyttelige reserver. Hele undersøgelsens sikkerhed er imidlertid begrænset af den opnåelige prøveudtagnings- og analysenøjagtighed, og man kan derfor ikke betragte resultaterne som værende korrekte udtryk for magnesiumtabets størrelse fra den enkelte lokalitet.

Summary

The magnesium balance in Danish agricultural soils

A balance sheet for the magnesium balance in the agricultural area of Denmark was constructed in 1964, and indicated an annual deficiency of 10 kg Mg per hectare; the present report brings an extension and a revision of this balance. Some of the items in the 1964-balance have been transferred without any alteration, among them two of the most important: addition of magnesium from the atmosphere, and removal in drainage and ground water, which two items may be considered sufficiently well defined and unlikely to have undergone essential change. The basis for the calculation has on the other hand been modified in accordance with the use of the agricultural land and the crop yields for the country as a whole. Moreover there has since 1964 been made a very large number of magnesium determinations in crops, the results of which has entailed a certain revision of the averages values assumed at that time. Finally, gains of magnesium in imported fodder and losses by sale of farm-products for export or food manufacture have been taken into account. With these modifications the calculations should rest upon a basis as exhaustive and realistic as attainable for the present purpose, viz., a revolution of the magnesium balance in the agricultural area as a whole.

Such a calculation, revised and brought up to date, shows a deficit of 3.1 kg Mg per hectare annually, or a reduction by at least two-thirds (6.9 kg) in comparison with the 1964-balance. It must be noticed, however, that the amount of magnesium added in the form of industrial fertilizers has since 1964 increased by roughly 4 kg per hectare annually, owing to a rapidly rising use of Mg-enriched fertilizers.

It must be strongly emphasized that the calculated averages will be subject to considerable individual variations in agricultural practise, as evidenced by examples collected from farms run with and without livestock (and hence without farmyard manure). Under these two systems of management the annual magnesium deficits were 5 and 20 kg per hectare, respectively.

An experimental verification of the calculated negative magnesium balance was sought by analysing soils from permanent fertilizer experiments of a long duration where samples were taken from

the same treatments with time intervals of 20 to 30 years. Results from 8 sets of samples showed decreases in *total* soil magnesium content varying from 3 to 17 kg per hectare annually. It seems justified to assume that these findings support the evidence for a negative magnesium balance. By comparison, the decrease in *exchangeable* magnesium only amount to a few percent of the said total decreases, and the results confirm that magnesium is mobilized from the non-exchangeable reserves. However, the reliability of the whole experimental work is limited by the accuracy of the sampling and the analytical methods, and therefore the results cannot be regarded as correctly expressing the extent of magnesium losses in any individual locality.

Litteratur

- Dam Kofoed, A., og Lindhard, J., 1968.* – Mineralstoffbortførsel fra græsdaekket jord i lysimetre. – Tidsskrift for Planteavl, 72, 417-437.
- Dorph-Petersen, K., 1955.* – Magnesiumproblemet for landbrugets planteavl. – Tidsskrift for Planteavl, 58, 369-395.
- Henriksen, Aage, 1964.* – Om danske landbrugsjorders magnesiumtilstand og afgrødernes magnesiumforsyning. – Tidsskrift for Planteavl, 67, 733-783.
- Henriksen, Aage, 1968.* – Mineralstofindholdet i planter. – Alt det nyeste, 1968-69, 142-153. Landhusholdningsselskabets Forlag, København.
- Jacob, A., 1955.* – Magnesia der fünfte Pflanzehauptnährstoff. – Ferdinand Enke, Stuttgart.
- Jensen, E., og Møller Hansen, H., 1961.* – An elutriator for particle-size fractionations in the sub-sieve range. – Soil Science, 92, 94-99.
- Jensen, H. L., og Henriksen, Aage, 1955.* – Om magnesiumbestemmelser i dansk jord. – Tidsskrift for Planteavl, 58, 396-420.
- Jensen, J., 1962.* – Undersøgelser over nedbørens indhold af plantenæringsstoffer. – Tidsskrift for Planteavl, 65, 894-906.
- Knudsen, H., 1964.* – Fastliggende forsøg med vanding og gødskning. 1950-60. – Tidsskrift for Planteavl, 67, 652-678.
- Landbrugsstatistik 1967.* – Det statistiske Departement, København.
- Nordfeldt, S., og Ruudvere, R., 1961.* – Vitaminer og mineralämnen i husdjurenes utfodring. – L.T.'s Förlag, Halmstad.
- Pfaff, C., 1963.* – Über die Auswaschung von Calcium, Magnesium, Chlorid und Sulfat aus dem Boden. (Lysimeterversuche). – Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau, 117, 117-128.
- Sørensen, S. P., og Frederiksen, J., 1967.* – Kalkmidernes følgestoffer. Hedeselskabets Tidsskrift, nr. 6, 1967, 1-7.
- Wiklander, L., 1959.* – Dräneringsvattnets innehåll av näringsämnen. – Grundförbättring, 12, 193-210.
- Wöhlbier, W., 1960* – Futterwerttabellen der D.L.G. Mineralstoffe. – Arbeiten der D.L.G., Band 62. D.L.G.-Verlage GMBH, Frankfurt.