

# Forskellige jordtypers gennemtrængelighed for kalium og magnesium

Ved ERIK POULSEN og SVEN DALBRO

## 637. beretning fra Statens Forsøgsvirksomhed i Plantekultur

I beretningen sammenlignes forskellige jordtypers gennemtrængelighed for overfladetilført kalium og magnesium under markforhold. Resultaterne herfra er derefter suppleret med laboratorieforsøg.

Markforsøgene blev planlagt af professor *Sven Dalbro*, medens det øvrige forsøgs- og analysearbejde er udført på Blangstedgaard under afdelingsbestyrer *Erik Poulsens* ledelse.

Beretningen er udarbejdet af afdelingsbestyrer *Erik Poulsen* med bistand af havebrugskandidat *Poul Hansen* og landbrugskandidat *Erik Augustinussen*.

*Forstanderne ved Statens Forsøgsvirksomhed i Plantekultur*

## INDHOLDSFORTEGNELSE

Indledning . . . . .	50
Markforsøg, plan og anlæg . . . . .	53
Resultater for kalium . . . . .	54
Resultater for magnesium . . . . .	57
Laboratorieforsøg . . . . .	60
Diskussion . . . . .	68
Oversigt . . . . .	71
Summary . . . . .	72
Litteratur . . . . .	73

## Indledning

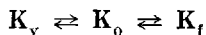
En undersøgelse af **KJELD RASMUSSEN** og **S. TOVBORG JENSEN** (1960) viste, at danske agerbrugsjorder indeholder 1-2 pct. kalium, svarende til 25-50 tons pr. ha i pløjelaget. Hovedparten af denne totale kaliummængde er dog bundet i lermineralernes krystalgitre (gitterbundet kalium) og kan ikke opløses selv af stærk saltsyre. Dette kalium må derfor betragtes som utilgængeligt for planterne,

før yderligere nedbrydning af lermineralerne har fundet sted. Mængden af syreopløseligt kalium (20 pct. HCl) var nøje korreleret med jordens lerindhold og varierede fra 32 pct. af det totale kaliumindhold på marskjord til 4 pct. på mager sandjord.

Mængden af syreopløseligt kalium kan hovedsageligt henføres til tre kategorier: vandopløseligt kalium ( $K_v$ ), ombytteligt kalium ( $K_o$ ) og fixeret kalium ( $K_f$ ). Ved  $K_v$  forstår man den mængde kalium, der er tilstede som fri kaliumion i jordvædsken, og det drejer sig efter ANDERSON m.fl. (1942) om 0,002-0,02 milliekvivalenter K pr. 100 g jord eller omkring 1 pct. af det ombyttelige kalium.  $K_v$  er i ligevægt med den ombyttelige kaliummængde  $K_o$ , fra hvilken den analytisk er vanskelig at skelne og indgår derfor som regel i bestemmelsen af ombyttelig kalium. Det vandopløselige kalium er let tilgængeligt for planterne, men har kvantitativt ikke så stor betydning, fordi koncentrationen er lav.

Det ombyttelige kalium defineres som den kaliummængde, der er absorberet på jordkolloiderne og kan fortrænges af neutral-salte indenfor relativ kort tid (BONDORFF og DAMSGAARD-SØRENSEN, 1937). Den ombyttelige kaliummængde udgør sædvanligvis mindre end 1 pct. af jordens totale kaliumindhold og betragtes som fuldt tilgængeligt for planterne, enten direkte ved kontaktombytning eller indirekte gennem ligevægten mellem  $K_v$  og  $K_o$ .

En del af det til en jord tilførte kalium fastholdes ofte så stærkt, at det ikke umiddelbart kan fortrænges af neutralsalte og kaldes for fixeret kalium ( $K_f$ ). Mængden af fixeret kalium varierer med jordtype, fugtighedsforhold m.m. og er størst på lerbjorder efter gentagne indtøringer, hvor der ofte fixeres 30-40 pct. af det tilførte kalium (DAMSGAARD-SØRENSEN, 1942). En del af det fixerede kalium kan langsomt frigøres igen (defixeres) og WIKLANDER (1954) finder følgende ligevægt mellem de nævnte kaliumfraktioner:



En ændring af den ene form vil således påvirke de to andre former. Tilførsel af kalium vil få processen til at forløbe mod højre, medens udpining af jorden for opløseligt og ombytteligt kalium kan føre til frigørelse af fixeret kalium. Ligeledes kan en

jord, som ikke fixerer ved et lavere kaliumniveau godt fixere ved et højere.

Magnesiums jordbundskemi er ikke nær så godt klarlagt som kaliums, dog kan der henvises til en oversigtsartikel af K. DORPH-PETERSEN (1955). Magnesium optræder ligesom kalium i vandopløselig, ombyttelig og gitterbundet form, hvorimod fixering er sjældent forekommende. Magnesium findes endvidere bundet i organiske forbindelser i planterester, hvorfra det langsomt mineraliseres. Også for magnesium omfatter den almindelige bestemmelse af ombytteligt magnesium den vandopløselige fraktion (H. L. JENSEN og AAGE HENRIKSEN, 1955).

Jordens gennemtrængelighed for kalium og magnesium har bl. a. betydning for afgrøden, hvis aktive rodnet ligger under pløje-laget. Således finder DALBRO (1957), at hovedparten af trævlerødderne hos æbletræer findes i 20-50 cm dybde, når jordbehandlingen består i renholdelse af jorden til sidst i juni, efterfulgt af en dækafgrøde. Er jorden vanskelig gennemtrængelig for kalium, vil dette ophobes i overfladen og kun langsomt og i mindre mængde komme rødderne tilgode. Dette forhold kan muligvis være en forklaring på resultaterne af de langvarige gødningsforsøg med æbletræer på let og svær jord, hvor der opnåedes maksimaludbytte for kaliumtilførsel ved så forskellige kaliumtal som 8 på let jord og mere end 16 på svær jord i 0-30 cm dybde (DULLUM og DALBRO, 1956).

Forsøg med jordens gennemtrængelighed for kalium er her i landet udført af KARSTEN IVERSEN og DORPH-PETERSEN (1945), der i karforsøg finder en meget ringe udvaskning af kalium på lerjord og en større og med tilførslen stigende udvaskning på sand- og mosejorder. Endvidere af BENJAMINSEN (1954), der sammenligner kaliums gennemtrængningsevne på lerjord fra Blangstedgaard og sandjord fra Jyndevad i 20 liters kar, der i en forsøgstid på 82 dage fik ialt 220 mm regn. Medens overfladetilført kalium under disse forsøgsomstændigheder kun kunne påvises i de øverste 7 cm på lerjorden, blev der fundet tilført kalium i hele den 20 cm dybe sandjordssøjle.

For nærmere at undersøge forskellige jordtypers gennemtrængelighed under markforhold for kalium og magnesium blev der i efteråret 1954 anlagt omstående forsøg:

## Markforsøg, plan og anlæg

Forsøget blev anlagt på ubevokset jord efter følgende plan:

- a. Ugødet
- b. 1000 kg 50 pct. kaligødning årlig pr. ha
- c. 2000 kg magnesiumsulfat årlig pr. ha

Der blev anvendt 2 eller 3 fællesparceller a 25 m<sup>2</sup>, og jorden blev i forsøgsperioden holdt fri for plantevækst ved skufning eller ukrudtssprøjtning. Gødningerne blev udbragt hvert år i november-december.

Ved forsøgets anlæggelse i efteråret 1954 blev der før gødningsudbringning udtaget jordprøver af alle parcellerne i dybderne 0-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm og 40-60 cm. Senere blev der udtaget jordprøver i de samme dybder hvert år, forår og efterår, inden gødningsudbringning. Jordprøverne blev sendt til Blangstedgaard, hvor der for hver enkelt parcel og dybde blev udført dobbelt-analyser for T<sub>K</sub> og TMg. Forsøget blev afsluttet med udgangen af 1957.

Forsøget blev gennemført på følgende 6 forsøgsstationer, hvis jordtype er beskrevet i tabel 1 og opført efter stigende absorptionskapacitet T i pløjelaget. (T udtrykt i milliækvivalenter pr. 100 g tørjord og bestemt efter S. TOVBORG JENSEN, 1936).

Tabel 1. Forsøgssteder, jordtyper og andre forsøgsdata

Forsøgssted	Jordtype	T	mg Ca 100 g jord	Rt	Årlig nedbør mm gns. 1955—57
Lundgaard	meget let og tør sandjord med sandunderlag .....	9.9	65	6.10	773
Studsgaard	mager sandjord med stenet sandunderlag .....	13.5	70	5.50	766
Hornum	Sandmuldet jord med sandunderlag .....	14.9	123	6.60	621
Tystofte	lermuldet jord med sandblandet lerunderlag .....	18.6	138	6.70	502
Ødum	lermuldet jord m. sandunderlag	20.0	180	7.33	543
Blangstedgaard	god lermuldet jord m. lerunderlag .....	20.4	176	6.80	562

## Resultater for kalium

Tabel 2 viser  $T_K$  som funktion af kaliumgødskning og jorddybde for hvert forsøgssted og år.

Tabel 2.  $T_K$  som funktion af kaliumgødskning og jorddybde  
Gennemsnit af fællesparceller og af prøver udtaget forår og efterår

Forsøgssted	Forsøgs-		1954	1955	1956	1957
	led	Dybde, cm				
Lundgaard	gens. a og c	0—10	2.6	2.7	2.8	2.5
		10—20	2.8	2.4	2.1	1.7
		20—40	2.0	2.0	1.9	1.3
		40—60	1.9	1.7	1.7	1.0
	b	0—10	3.5	13.9	21.3	21.4
		10—20	4.0	8.8	14.9	16.0
		20—40	2.0	3.0	5.6	11.2
		40—60	1.6	1.7	1.9	5.7
Studsgaard	gens. a og c	0—10	5.9	5.2	3.8	3.3
		10—20	4.1	4.3	2.9	2.5
		20—40	2.5	3.5	2.1	2.1
		40—60	1.7	2.0	1.4	1.9
	b	0—10	5.0	13.2	18.4	24.8
		10—20	4.3	7.5	9.5	15.2
		20—40	2.1	4.4	5.2	8.7
		40—60	1.5	3.8	2.5	5.7
Hornum	gens. a og c	0—10	16.0	11.2	9.5	8.6
		10—20	13.2	12.2	10.5	8.4
		20—40	9.5	9.3	8.6	7.8
		40—60	5.9	6.9	6.4	6.2
	b	0—10	13.9	26.4	27.6	31.2
		10—20	11.2	19.3	20.3	20.7
		20—40	7.8	11.4	11.7	12.5
		40—60	6.6	6.5	8.0	9.5
Tystofte	gens. a og c	0—10	11.7	10.6	9.6	7.8
		10—20	9.6	8.7	8.6	6.8
		20—40	5.0	4.8	4.8	4.3
		40—60	3.3	2.8	3.1	3.5
	b	0—10	13.5	23.3	34.7	26.0
		10—20	12.0	13.3	15.2	14.2
		20—40	4.8	5.6	6.6	5.2
		40—60	3.1	3.1	3.9	3.9

Tabel 2 fortsat.

Forsøgssted	Forsøgs-		1954	1955	1956	1957	
	led	Dybde, cm					
Ødum		0—10	7.9	8.5	8.2	6.8	
	gens.	10—20	6.0	6.9	6.8	5.7	
	a og c	20—40	3.7	4.1	4.0	3.4	
		40—60	2.7	2.7	2.4	2.7	
	b	0—10	9.1	24.8	43.5	40.5	
		10—20	6.8	10.7	14.8	17.9	
		20—40	4.1	5.5	5.8	5.5	
		40—60	2.9	3.8	3.5	3.7	
	Blangstedgaard		0—10	12.9	13.8	12.2	10.8
		gens.	10—20	10.3	10.4	9.9	8.1
a og c		20—40	5.1	4.9	4.8	4.7	
		40—60	3.8	3.1	3.0	3.5	
b		0—10	11.8	25.2	27.4	25.0	
		10—20	9.8	10.8	10.7	10.1	
		20—40	4.8	4.9	4.4	5.2	
		40—60	3.2	3.2	3.8	3.4	

De ikke-kaliungødede forsøgsled viser for alle stationer et fald i  $T_K$  fra efterår 1954 til efterår 1957, mest udpræget for de to øverste jordlag, medens  $T_K$  i 40-60 cm er næsten uændret. Der er dog nogen forskel i størrelsen af dette fald stationerne imellem, hvilket fremgår af tabel 3, kolonne I, der viser årligt fald i  $T_K$  som procent af oprindeligt  $T_K$ .

Tabel 3. I. Årligt fald i  $T_K$  som procent af oprindeligt  $T_K$ .  
 Gensn. af forsøgsled a og c og af tre år. 0 - 60 cm.  
 II. Gensn. årlig forøgelse af  $T_K$  i 0 - 60 cm, omregnet til 0 - 20 cm efter tilførsel af 1000 kg 50 pct. kali.

Forsøgssted	I		II	
	$\Delta T_K$ i pct. a og c	$\Delta T_K$ b	pct. K genfundet af tilført	
Lundgaard. ....	10.6	10.2	96	
Studsgaard. ....	7.6	9.4	89	
Hornum. ....	8.5	9.7	92	
Tystofte. ....	6.6	4.0	38	
Ødum. ....	2.6	8.8	78	
Blangstedgaard. ....	3.5	3.2	30	

Tabel 3, kolonne I, viser som ventet det største fald i  $T_K$  for de tre sandjorder, hvilket sandsynligvis skyldes udvaskning af kalium.  $T_K$  aftager også på lerjorderne i de ikke kaliumgødede parceller, og navnlig på Tystofte. Foruden udvaskning er fixering af kalium sikkert en medvirkende årsag til faldet i  $T_K$  på lerjorderne.

Tabel 2 viser næsten alle steder en stigning i  $T_K$  efter tilførsel af 1000 kg 50 pct. kali, men stigningen varierer betydeligt med år og forsøgssted. Gennemgående er stigningen størst det første år og mindst i 1956-57, hvor der for lerjorderne endog sker et fald i  $T_K$ . Som gennemsnit af de tre forsøgsår er forøgelsen i  $T_K$  for tilførsel af 1000 kg 50 pct. kali vist i tabel 3, kolonne II. For at få den af tilførslen betingede stigning frem, er tallene beregnet efter korrektion for fald i de ikke kaliumgødede parceller. Det fremgår af tabel 3, at stigningen varierer fra 10,2 på Lundgaard til 3,2 på Blangstedgaard. 1000 kg 50 pct. kali bør teoretisk give en forøgelse i  $T_K$  på 10,6 når jordvægten i 0-20 cm regnes til 2,5 mill. kg, og på sandjorderne genfindes således ca. 90 pct. af det tilførte, på Ødum ca. 80 pct. og på Tystofte og Blangstedgaard kun mellem 30 og 40 pct. Da udvaskning af kalium er mindre på lerjorder end sandjorder (IVERSEN og DORPH-PETERSEN, 1945), må den lave procent genfundet kalium på Tystofte og Blangstedgaard hovedsagelig skyldes fixering.

Det tilførte kalium forårsager – foruden en stigning i  $T_K$  i det øverste jordlag – også en stigning i dybere jordlag. Forøgelsen ses af tabel 2 at variere med forsøgssted og år, og i tabel 4 er forsøgsstederne sammenlignet som gennemsnit af 3 år efter korrektion for bevægelsen af  $T_K$  i de tilsvarende dybder i de ikke kaliumgødede forsøgsled.

Tabel 4.  $\Delta T_K$  som funktion af jorddybde efter tilførsel af 1000 kg 50 pct. kali pr. ha. Gens. af 3 år.

Dybde, cm	Lundgaard	Studs-gaard	Hor-num	Tys-tofte	Ødum	Blangsted-gaard
0—10 . . . . .	6.0	7.5	8.8	5.8	10.9	5.1
10—20 . . . . .	4.4	4.1	4.8	1.7	3.8	0.8
20—40 . . . . .	3.3	2.3	2.2	0.3	0.6	0.2
40—60 . . . . .	1.7	1.3	0.9	0.2	0.3	0

Betragtes tilvæksten i  $T_K$  for jordlagene 10-60 cm, viser tabel 4 en betydelig forskel stationerne imellem. Lundgaard er mest gennemtrængelig for kalium efterfulgt af Studsgaard og Hornum, medens Ødum er vanskeligere gennemtrængelig end sandjordene, men betydelig lettere gennemtrængelig end Tystofte og Blangstedgaard. Forøgelsen af  $T_K$  i overfladen er afhængig af den pågældende jords gennemtrængelighed for kalium, jo mindre gennemtrængelig, des større ophobning, og dette forhold fremgår ligeledes af tabel 4, fra Lundgaard med  $\Delta T_K$  6,0 over Studsgaard og Hornum til Ødum med  $\Delta T_K$  10,9, medens Tystofte og Blangstedgaard falder uden for, sandsynligvis på grund af fixering. Da fixering hovedsagelig sker under indtørring af jorden, og kaligødningen er udbragt i november-december, hvor jorden i en efterfølgende lang periode er konstant fugtig, er der ingen grund til at antage, at en senere fixering påvirker resultaterne for Tystofte og Blangstedgaard i 10-60 cm nævneværdigt, og resultaterne i tabel 4, 10-60 cm må derfor betragtes som et tilnærmet udtryk for reelle forskelle i gennemtrængelighed.

## Resultater for magnesium

Tabel 5 viser resultaterne med magnesium for de enkelte forsøgssteder og år.

Tabel 5. TMg som funktion af magnesiumtilførsel og jorddybde.

Gennemsnit af fællesparceller og af prøver udtaget forår og efterår.

Forsøgssted	Forsøgs-		1954	1955	1956	1957
	led	Dybde, cm				
Lundgaard	gens. a og b	0—10	1.4	1.5	1.9	1.1
		10—20	1.6	1.4	1.4	0.6
		20—40	1.5	1.5	1.4	0.6
		40—60	0.9	0.9	0.9	0.2
	c	0—10	1.4	9.0	14.9	14.4
		10—20	1.4	5.8	9.7	10.6
		20—40	0.9	1.3	4.9	5.8
		40—60	0.9	0.7	2.1	2.2



Forsøgssted	Forsøgs-		1954	1955	1956	1957
	led	Dybde, cm				
Studsgaard	gens. a og b	0—10	3.0	3.5	3.0	2.6
		10—20	2.7	2.7	2.5	2.0
		20—40	1.3	1.9	1.3	0.7
		40—60	0.6	0.9	0.4	0.3
	c	0—10	3.2	11.0	13.4	15.5
		10—20	2.6	5.8	6.5	10.4
		20—40	1.2	2.9	3.0	4.3
		40—60	0.4	1.0	1.1	1.6
Hornum	gens. a og b	0—10	4.1	3.5	3.6	4.0
		10—20	3.5	4.2	3.7	3.4
		20—40	1.7	3.0	2.2	1.4
		40—60	1.0	1.5	1.0	0.6
	c	0—10	5.3	15.4	21.0	23.3
		10—20	4.4	10.4	10.9	13.0
		20—40	2.6	5.0	5.3	7.4
		40—60	0.7	2.2	1.9	3.3
Tystofte	gens. a og b	0—10	7.0	7.4	6.0	6.2
		10—20	7.5	7.5	6.4	6.4
		20—40	6.9	7.5	6.5	6.7
		40—60	7.8	7.7	6.9	7.0
	c	0—10	8.0	15.6	24.1	25.4
		10—20	8.1	12.2	14.5	15.0
		20—40	7.5	8.9	9.6	9.1
		40—60	7.7	8.5	8.6	8.2
Ødum	gens. a og b	0—10	4.5	4.5	3.8	3.3
		10—20	4.4	4.4	3.6	3.0
		20—40	3.2	3.2	3.1	2.3
		40—60	2.6	2.9	2.6	2.1
	c	0—10	3.9	17.9	23.1	24.1
		10—20	4.0	7.9	9.4	10.6
		20—40	2.8	4.5	4.8	4.4
		40—60	2.6	3.3	4.0	3.3
Blangstedgaard	gens. a og b	0—10	7.2	7.7	6.5	6.4
		10—20	7.6	8.2	6.8	6.1
		20—40	8.6	9.7	7.9	8.0
		40—60	9.8	11.2	10.1	8.9
	c	0—10	7.2	16.4	20.0	25.2
		10—20	7.1	9.9	9.4	11.6
		20—40	8.3	10.3	9.4	9.9
		40—60	9.8	11.3	10.3	10.1

Forsøgsleddene, der ikke er tilført magnesium, viser en nedgang i TMg i forsøgsperioden. Denne nedgang er mest udpræget de sidste år og fremgår som gennemsnit af de tre forsøgsår af tabel 6, kolonne I.

Tabel 6. I Årligt fald i TMg som procent af oprindeligt TMg. Gens. af forsøgsled a og b og af 3 år.

II Gensn. årligt forøgelse af TMg i 0-60 cm omregnet til 0-20 cm efter tilførsel af 2000 kg magnesiumsulfat.

Forsøgssted	I	II	pct. Mg genfundet af tilført
	$\Delta$ TMg i pct. a og b	$\Delta$ TMg c	
Lundgaard.....	17.9	6.4	81
Studsgaard.....	9.5	5.6	71
Hornum.....	3.1	7.3	92
Tystofte.....	3.4	5.5	70
Ødum.....	9.3	6.1	77
Blangstedgaard.....	3.5	5.3	67

Bortset fra Lundgaard med et fald i TMg på 18 pct., der sikkert må tages med et vist forbehold, da de oprindelige TMg-værdier er meget små, og målingerne derfor relativt mere usikre, synes der ikke i tabel 6, kolonne I, at forekomme så klar en forskel mellem lerjorder og sandjorder, som tilfældet var for kalium. Nedgangen i TMg synes særlig lille på Hornum, muligvis på grund af denne jords forholdsvis høje humusindhold, som er påvist af DULLUM og DALBRO (1956).

Det fremgår af tabel 5, at der alle steder sker en forøgelse af jordens ombyttelige magnesiumindhold efter tilførsel af 2000 kg magnesiumsulfat, og ligesom for kalium synes forøgelsen at være størst det første år og mindst det sidste år. Omregnet til pløje-laget 0-20 cm skal 2000 kg magnesiumsulfat teoretisk give en forøgelse i TMg på 7,9. Tabel 6, kolonne II, viser, at den gennemsnitlige årlige forøgelse efter korrektion for fald i ikke-magnesiumgødede parceller ligger imellem 5,3 på Blangstedgaard og 7,3 på Hornum, d. v. s. der genfindes fra 67 til 92 pct. af den tilførte mængde.

Forøgelsen af TMg i dybere jordlag fremgår af tabel 7 efter korrektion for stigning eller fald i de tilsvarende dybder af de ikke-magnesiumgødede forsøgsled.

Tabel 7.  $\Delta$ TMg som funktion af jorddybde efter tilførsel af 2000 kg magnesiumsulfat pr. ha. Gens. af 3 år.

Dybde cm	Lund- gaard	Studs- gaard	Hornum	Tystofte	Ødum	Blangsted- gaard
0-10....	4.4	4.2	6.0	6.1	7.1	6.3
10-20....	3.4	2.8	2.9	2.7	2.7	2.0
20-40....	1.9	1.6	1.7	0.6	0.8	0.7
40-60....	0.6	0.5	1.1	0.5	0.4	0.4

Tabel 7 viser, at sandjorderne er lettere gennemtrængelig for magnesium end lerjorderne, men forskellen synes mindre end for kalium, hvilket også fremgår af tabel 8.

Tabel 8. Procent af tilført kalium og magnesium genfundet i 10-60 cm dybde.

Forsøgssted	pct. af tilført K i 10-60 cm	pct. af tilført Mg i 10-60 cm
Lundgaard.....	68	53
Studsgaard.....	53	44
Hornum.....	52	54
Tystofte.....	13	31
Ødum.....	26	32
Blangstedgaard.....	6	27

Tabel 8 viser, at gennemtrængningsevnen af kalium og magnesium synes at være næsten lige stor på sandjord, medens gennemtrængeligheden af magnesium er mindre på lerjord, men her betydelig større end for kalium, og dette forhold er mest udpræget for Tystofte og Blangstedgaard.

### Laboratorieforsøg

Selvom tabellerne 4 og 7 giver et tilnærmet mål for gennemtrængeligheden af kalium og magnesium under almindelige mark-

forhold, er der flere faktorer (se diskussionen), som vanskeliggør en mere nøjagtig sammenligning af de forskellige jordtyper.

For at eliminere en del af disse usikkerhedsmomenter i bedømmelsen af jordtypernes gennemtrængelighed, er der derfor foretaget nogle forsøg med jordsøjler fra de i markforsøget anvendte jordtyper.

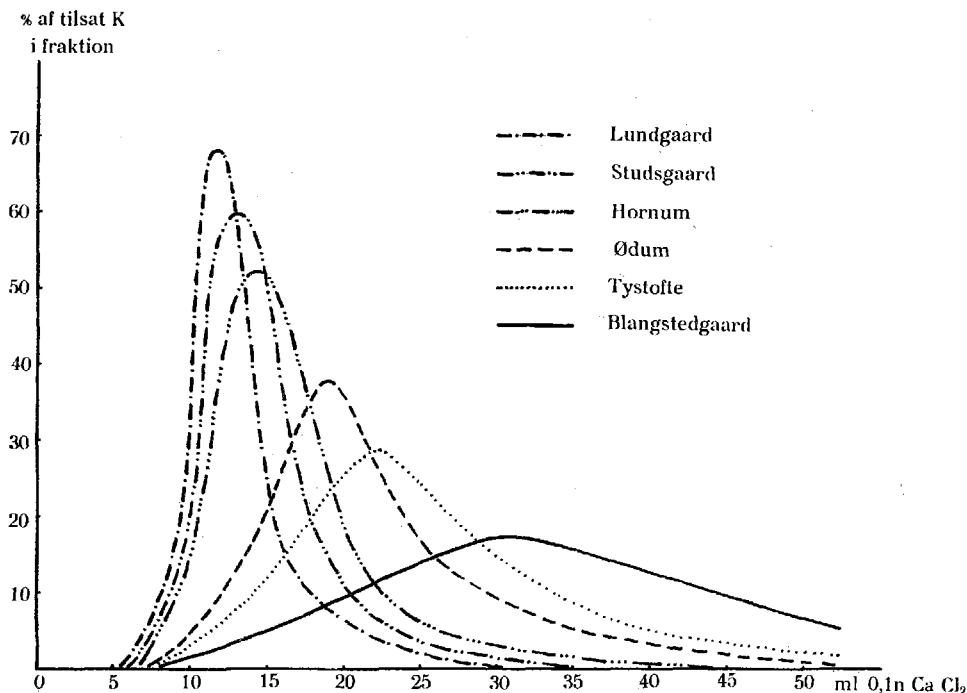
#### FORTRÆNGNING AF K OG Mg FRA JORDSØJLER MED Ca

*Princip og teknik:* På en syntetisk kationbytter, sat op som kolonne i et lodret glasrør, kan man sammenligne forskellige kationers indbyrdes adsorptionsstyrke. Som et praktisk eksempel kan tages Na og K. En kationbytter gennemsvives langsomt af saltsyre, til saltsyren går igennem med uforandret koncentration som bevis på, at hele kolonnen er på brintform. Derpå afsættes øverst på kolonnen en i forhold til bytterens kapacitet lille mængde Na og K, hvorefter der fortrænges med en svag saltsyre. De tilførte brintioner vil nu fortrænge natrium- og kaliumioner, der langsomt vil vandre nedad i kolonnen. Opsamles vædsken fra kolonnens bund i små portioner og analyseres for Na og K findes, at natrium fortrænges først og altså fastholdes svagere til ionbyttaren end kalium (SAMUELSEN, 1952).

På tilsvarende måde kan forskellige kationbytters (jordtyper) indbyrdes adsorbtionsevne sammenlignes for en bestemt kation. Dette gælder strengt taget kun for ionbyttersøjler med samme ombytningskapacitet, men for at få betingelser, der svarer så nær som muligt til de tidligere omtalte markforsøg, anvendes samme vægtmængde jord. Fremgangsmåden er følgende: Af de i markforsøgene anvendte jordtyper afvejes 10 g lufttørret og sigtet (2 mm) jord, der blandes med 20 g glødet, syrevasket og sigtet (50-100 mesh) sand. Blandingen hældes på almindelig 50 ml burette med lidt glasuld under og over jordsøjlen. Derefter gennemsvives kolonnen langsomt med 1 n  $\text{CaCl}_2$  til alt ombytteligt kalium er fjernet fra jorden. Overskud af Ca fjernes med destilleret vand, hvorpå der på kolonnens top afsættes 0,05 milliækvivalenter K i 0,5 ml. Derpå ledes langsomt (6-7 dråber pr. minut) 0,1 n  $\text{CaCl}_2$  gennem jordsøjlen, og der opsamles ved hjælp af en fraktionskollektor portioner på 5 ml til analysering

for K. Når jord søjlen engang er fugtet, må vædsken aldrig i brugen synke under søjlens overflade, hvorved der dannes luftkanaler.

Resultaterne for kalium fremgår af figur 1, hvor abscissen angiver ml 0,1 n  $\text{CaCl}_2$  opsamlet fra kolonnen (i 5 ml fraktioner), medens ordinaten viser procent af tilsat kalium, der kommer ud i første, anden og følgende fraktioner. For alle jordtyper genfindes tilsat kalium med meget nær hundrede procent.

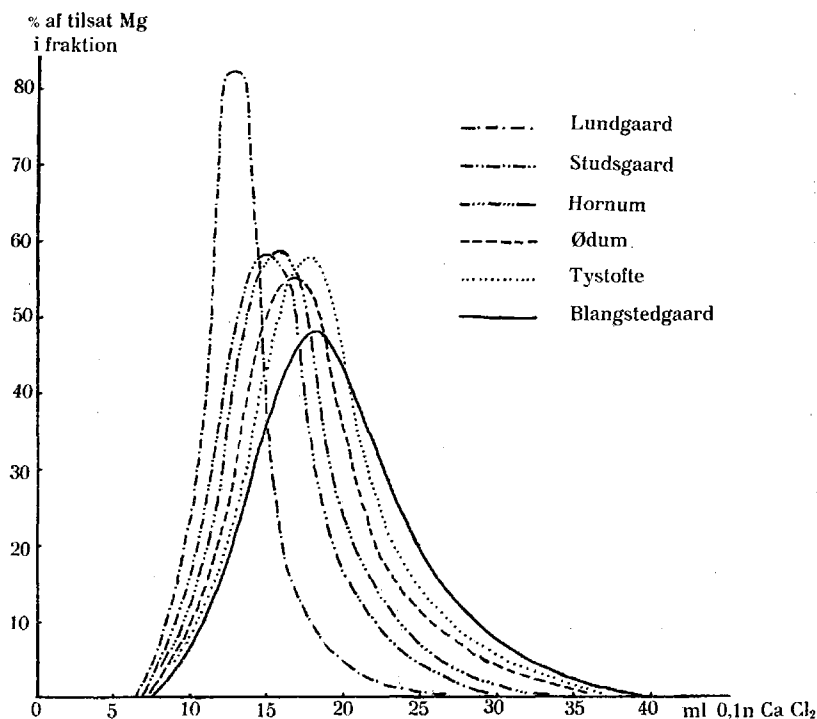


Figur 1. Fortrængning af 0,05 m. æ. overfladetilført kalium fra forskellige jorder med 0,1 n  $\text{CaCl}_2$ . Gens. af to søjler pr. jordtype.

Figur 1 viser en betydelig forskel imellem jordtyperne, når overfladetilført kalium fortrænges under ens betingelser. Sandjorderne viser høje, smalle kurver med ringe forskelle i toppunktens absciseværdier, medens lerjorderne fremtræder med lavere og bredere kurver i rækkefølgen Ødum, Tystofte, Blangsted-

gaard. Navnlig sidstnævnte afviger fra de øvrige. Høje, smalle kurver betyder ringe fastholdelse af den pågældende ion til ionbyttermaterialet (SAMUELSON, 1956), medens f.eks. kurven fra Blangstedgaard viser, at på denne jord er en mindre del af kalium løst bundet, medens hovedparten af det tilførte kalium fastholdes stærkere til kolloiderne end på de andre jorder.

Forsøget gentages under samme betingelser med magnesium. Samme jord-sandblanding vaskes fri for magnesium med 1 n  $\text{CaCl}_2$ , overskud af Ca fjernes med destilleret vand, og øverst i jordsøjlerne afsættes 0,05 milliækvivalenter Mg, som fortrænges med 0,1 n  $\text{CaCl}_2$  og opsamles i fraktioner på 5 ml med en gennemløbshastighed på 6-7 dråber pr. minut. Resultaterne ses af figur 2.

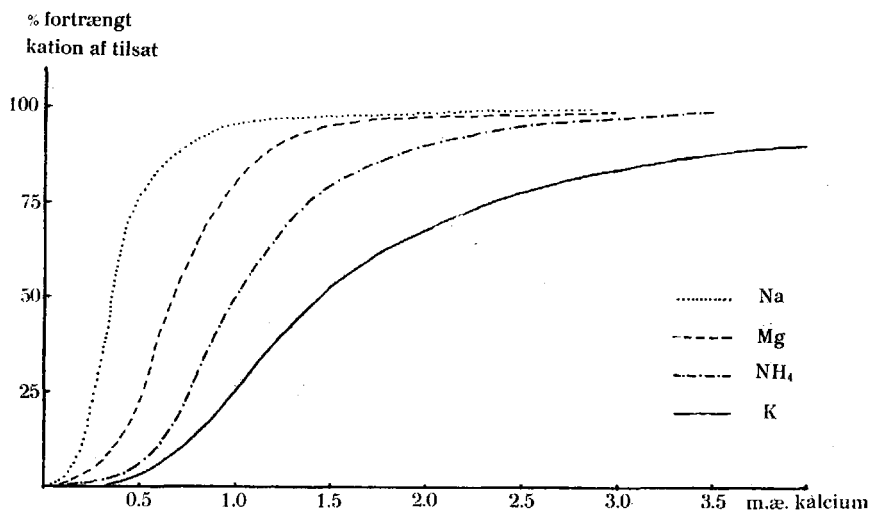


Figur 2. Fortrængning af 0,05 m. æ. overfladetilført magnesium fra forskellige jorder med 0,1 n  $\text{CaCl}_2$ . Gens. af to søjler pr. jordtype.

Figur 2 viser en væsentlig mindre variation i jordtypernes fastholdelse af Mg end figur 1 viste for kalium. I figur 2 er der kun forholdsvis små forskelle i toppunkternes abscisseværdier, men rækkefølgen jorderne imellem er den samme som i fig. 1

En lidt ændret metodik til at sammenligne jordtypernes bindingsevne overfor forskellige kationer kan opnås ved at opstille summationskurver for fortrængte kationer som ordinat mod summen af fortrængende kation (kationer) som abscisse.

Dette er vist for Tystofte i figur 3, hvor 10 g jord + 20 g sand på sædvanlig måde er vasket fri for Na,  $\text{NH}_4$ , Mg og K med 1 n  $\text{CaCl}_2$ , hvorefter der på jordsøjlels top først er afsat 0,05 milliækvivalenter (m. æ.) natrium, som fortrænges med 0,1 n  $\text{CaCl}_2$ , opsamles i fraktioner og analyseres for natrium og calcium. Derpå afsættes 0,05 m.æ. ammonium til fortrængning, opsamling og analysering, hvorefter samme mængde magnesium og kalium behandles tilsvarende.



Figur 3. 0,05 m. æ. af henholdsvis Na,  $\text{NH}_4$ , Mg og K fortrængt enkeltvis fra jordsøjle (Tystofte) med 0,1 n  $\text{CaCl}_2$ .

Som sammenligningsgrundlag kan anvendes det antal milliækvivalenter calcium, der medgår til fortrængning af halvdelen af en tilsat kation, den såkaldte  $f_{1/2}$ -værdi (SAMUELSON, 1952). Figur 3

viser, at der under de nævnte betingelser på jordsøjlen fra Tystofte medgår 0,350 m. æ. Ca til fortrængning af 0,025 m. æ. Na, og henholdsvis 0,670, 1,000 og 1,450 m.æ. Ca til fortrængning af samme mængder Mg, NH<sub>4</sub> og K.

Tabel 9 giver med samme fremgangsmåde f<sub>1/2</sub>-værdier for 5 af de tidligere omtalte jordtyper.

Tabel 9. 0,05 m. æ. af henholdsvis K, Na, NH<sub>4</sub> og Mg fortrængt enkeltvis fra jordsøjle med 0,1 n CaCl<sub>2</sub>. Tallene angiver m. æ. Ca (f<sub>1/2</sub>-værdien) brugt til fortrængning af halvdelen af de tilsatte kationer.

Forsøgssted	K	Na	NH <sub>4</sub>	Mg
Lundgaard.....	0.290	0.140	0.240	0.305
Hornum.....	0.475	0.090	0.430	0.530
Ødum.....	1.040	0.365	0.625	0.585
Tystofte.....	1.450	0.350	1.000	0.670
Blangstedgaard.....	2.550	0.210	1.295	0.760

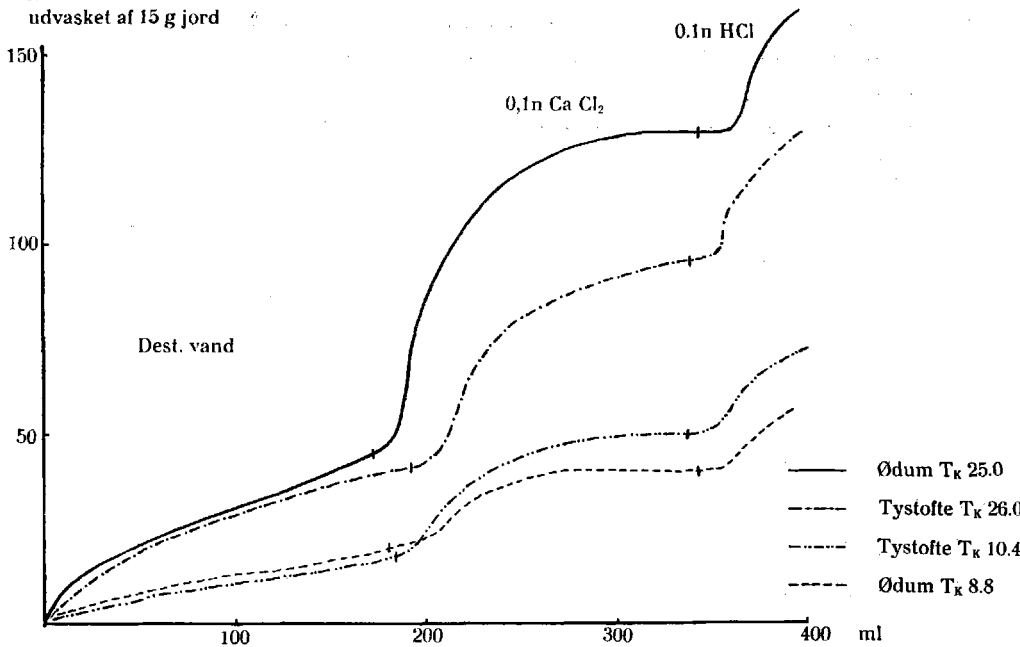
Tabel 9 viser, at kalium og ammonium fortrænges lettest på Lundgaard og vanskeligst på Blangstedgaard. Af de fire undersøgte kationer er natrium den, der adsorberer mindst på alle jordtyper, medens kalium fastholdes stærkere end de andre kationer på lerjordene. Magnesium viser i forhold til kalium en stærkere binding på Ødum end på Tystofte og Blangstedgaard.

#### KONTINUERLIG UDVASKNING AF JORDSØJLER MED H<sub>2</sub>O, CaCl<sub>2</sub> og HCl

Medens jordtypernes indbyrdes gennemtrængelighed for kalium og magnesium, som funktion af jordernes ionbytningsegenskaber, bedst undersøges ved førnævnte undersøgelsesmetodik, kan der også fås oplysninger i tilknytning til markforsøgene gennem en simpel udvaskning af jordtyperne i foreliggende tilstand. Dette er her gjort med 15 g jord + 30 g sand sat på søjle og først udvasket med destilleret vand, efterfulgt af 0,1 n CaCl<sub>2</sub> og tilsidst med 0,1 n HCl. Gennemløbshastighed 6-7 dråber pr. minut og opsamling i 5 ml fraktioner. Figur 4 viser resultaterne for kalium med højt og lavt kaliumtal i jordprøver fra Tystofte og Ødum.



Mikroækvivalenter K  
udvasket af 15 g jord

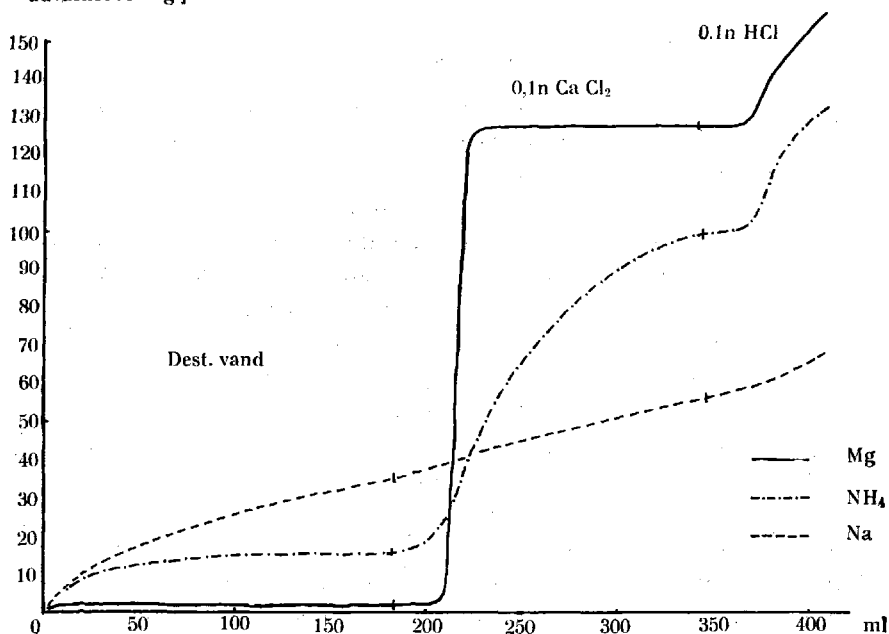


Figur 4. Kontinuerlig udvaskning af kalium fra jordsøjler med højt og lavt kaliumtal

Figur 4 viser klart, at der med samme mængde destilleret vand kan udvaskes mere kalium fra en jord med højt kaliumtal end fra en jord med lavt kaliumtal. For alle fire prøver er udvaskningen stigende med vandmængden, uden særlig tendens til et niveau. Efter ca. 180 ml destilleret vand skiftes til 0,1 n CaCl<sub>2</sub> og der ses straks en betydelig stigning i kurverne som tegn på, at kalcium fortrænger kalium. Fortrængningen sker dog langsomt, og først efter anvendelsen af ca. 150 ml 0,1 CaCl<sub>2</sub> synes der at være tegn på et niveau for de høje kaliumtal, medens dette indtræder tidligere for de lave kaliumtal. Efter tilsætning af 0,1 n HCl sker en ny stærk stigning i kurverne som tegn på, at brintioner fortrænger kalium, som ikke kunne fortrænges af calcium i samme koncentration. Trods samme høje kaliumtal synes fortrængningen at foregå lettere på Ødum end på Tystofte (T<sub>K</sub> 25 svarer i 15 g jord til 150 mikroækvivalenter ombytteligt kalium).

Udvaskningen af  $\text{NH}_4$ , Na og Mg fra en af de ovennævnte jordsøjler (Tystofte  $T_K$  26,0) fremgår af figur 5.

Mikroækvivalenter kation  
udvasket af 15 g jord



Figur 5. Udvaskning af  $\text{NH}_4$ , Na og Mg fra den i figur 4 viste søjle fra Tystofte ( $T_K$  26,0).

Kurven i figur 5 for ammonium svarer ret nøje til kurven ( $T_K = 26,0$ ) i figur 4 for kalium. Dog ser den vandfortrængelige fraktion for ammonium ud til at være væsentlig mindre end for kalium, trods det forhold, at efter fortrængningen med 170 ml 0,1 n  $\text{CaCl}_2$  er der fortrængt samme ækvivalenkmængder K og  $\text{NH}_4$ .

Natrium viser en næsten retlinet forløbende udvaskning, enten der udvaskes med vand,  $\text{CaCl}_2$  eller HCl. Hovedparten af det ombyttelige natrium vil således kunne udvaskes med vand.

Magnesium viser i figur 5 en fra de øvrige kationer afvigende kurve. Magnesium udvaskes ikke af vand, hvorimod tilsætning af 0,1 n  $\text{CaCl}_2$  næsten øjeblikkelig fortrænger alt »ombytteligt« magnesium til et vandret plateau. Tilsætning af 0,1 n HCl for-

trænger yderligere noget magnesium, men efter en skrå kurve som for kalium. Det i figur 5 viste kurveforløb for udvaskning af magnesium på Tystofte genfindes også for de øvrige i beretningen omtalte jordtyper.

## Diskussion

Jordens gennemtrængelighed for kalium og magnesium er bestemt af en række faktorer, hvoraf de vigtigste skal omtales i relation til de opnåede resultater.

En dominerende faktor er jordens *ombytningskapacitet*. Andre forhold lige er jordens gennemtrængelighed for kationer omvendt proportional med ombytningskapaciteten, og tabel 8 viser klart, at sandjorderne med den mindre ombytningskapacitet er lettere gennemtrængelig for kalium og magnesium end lerjorderne. For magnesium synes forskellen i gennemtrængelighed i sandjord og lerjord at svare nogenlunde til forskelle i ombytningskapacitet, medens gennemtrængeligheden af kalium på Tystofte og navnlig på Blangstedgaard (tabel 8 og figur 1) er langt mindre end forventet efter ombytningskapaciteten.

Årsagen til de tre lerjorders betydelige forskel i gennemtrængelighed for kalium skal sikkert søges i forskellig *mineralogisk sammensætning*. A. UNMACK (1949) viser, at Kollerupleret ved Hadsten (Ødum) overvejende består af montmorillonit, iblandet lidt kaolinit og muskovit, medens Lillebæltsleret hovedsagelig består af illit. Lerjorderne på Blangstedgaard og Tystofte består sandsynligvis overvejende af illit, hvilket den stærke kaliumfixering (se tabel 3, kolonne II) på disse jorder også tyder på.

Montmorillonit og illit afviger stærkt fra hinanden i selektiviteten overfor forskellige kationer. SCHEFFER og SCHACHTSCHABEL (1960) viser, at medens montmorillonit fastholder kalcium og magnesium stærkere end kalium, er det omvendte tilfældet med illit, der fastholder kalium betydelig stærkere end kalcium og magnesium. Forskelle i mineralogisk sammensætning vil derfor først og fremmest influere på gennemtrængelighed for kalium og i væsentlig mindre omfang omfatte magnesium, hvilket er i overensstemmelse med resultaterne i figur 1 og 2 og tabel 8.

At markforsøgene er anlagt på forsøgssteder med varierende

*begyndelsesniveau af  $T_K$  og  $TMg$*  kan i nogen grad influere på resultaterne i tabel 8. Figur 4 viser tydeligt, at et højere  $T_K$  giver en større vandopløselig fraktion end et lavere  $T_K$ . Tilførsel af 1.000 kg 50 pct. kali må derfor andre forhold lige forventes at give den største forøgelse i dybden på jorden med det højeste  $T_K$ . Samme forhold vil sikkert kun i mindre grad gælde magnesium, da den vandopløselige fraktion her syntes ubetydelig (figur 5). Under markforhold synes denne hypotese dog ikke at holde, idet tabellerne 2 og 5 for de fleste jordtyper viser størst gennemtrængelighed det første forsøgsår, hvor  $T_K$  og  $TMg$  er lavest.

Forskelle i jordtypernes *humusindhold* vil også kunne påvirke gennemtrængeligheden for kalium og magnesium. Stigende humusindhold vil forøge gennemtrængeligheden af kalium og mindske gennemtrængeligheden af magnesium, da sidstnævnte bindes stærkere til humuskolloiderne end kalium. Forskellene er dog næppe så store i de afprøvede jordtyper, at dette forhold vil få større indflydelse.

Forskelle i jordtypernes *relative kationbelægning* ved markforsøgets anlæg vil også kunne influere. Tænker man sig samme jord, enten helt mættet med løst bundet natrium eller helt mættet med meget stærkt bundet aluminium, vil overfladetilført kalium i første tilfælde let fortrænge natrium i overfladen og derefter ikke vandre nævneværdigt nedad, da det udbyttede natrium vanskeligt kan genfortrænge kalium. I det andet tilfælde vil tilført kalium ikke kunne fortrænge aluminium af betydning og derfor let trænge i dybden. I laboratorieforsøgene (figur 1, 2, 3 og tabel 9) er dette forhold elimineret, idet alle jordtyper først er mættet med calcium, der i de fleste danske jorder er den dominerende kation, og calcium er også i alle tilfælde brugt til fortrængning.

Gennemtrængeligheden for kalium og magnesium må i markforsøgene have været påvirket af forskelle i *nedbørsmængder* og vandets *gennemstrømningshastighed* i jorden. Figur 4 og 5 tyder på, at dette i langt højere grad gælder kalium end magnesium, men derudover må virkningen være ret kompliceret. Gennemtrængeligheden vil nok i nogen grad være proportional med nedbørsmængde og gennemstrømningshastighed, men tænkes jorden vandfyldt i længere tid, vil jordvædsken fortyndes, og derved vil calcium og magnesium få større affinitet til lerkolloiderne, me-

dens kalium i højere grad vil overgå til vandopløselig form. (F. E. BEAR, 1958). For at afprøve jordtyperne under ens betingelser er alle laboratorieforsøg derfor gennemført med den samme gennemstrømningshastighed.

Tabel 2 viser, at en tilførsel på 1000 kg 50 pct. kali gennemgående giver den største forøgelse af  $T_K$  i 0-60 cm jorddybde det første år og den mindste forøgelse det tredje år. Dette forhold er mest udpræget på lerjorden og har sikkert sin forklaring i den i indledningen nævnte ligevægt mellem vandopløseligt, ombytteligt og fixeret kalium. På sandjorderne viser tabel 2 også samme tendens, selv om den er mindre udpræget. Her vil der dog næppe være tale om fixering, men måske om en fastlægning af kalium. der i styrke ligger imellem ombytteligt og fixeret kalium.

For magnesium (tabel 5) synes samme tendens at gøre sig gældende, og muligvis er der tale om en tilsvarende ligevægt som nævnt for kalium. Dog regner man vel ikke med en egentlig fixering af magnesium, men måske kan der være tale om en tungere ombyttelig tilstand. En klarlæggelse af disse forhold er dog uden for denne beretnings formål.

Den stærke *kaliumfixering*, der fremgår af tabel 3, kolonne II, for Tystofte og Blangstedgaard og i mindre omfang for Ødum, må i nogen grad influere på jordens gennemtrængelighed for kalium under markforhold. Jo større fixering, desto mindre del af tilført kalium deltager i ombytningsprocesserne og formindsker dermed gennemtrængeligheden. Denne virkning må dog nedsættes betydeligt af det forhold, at kaliumgødningen er tilført i november-december, med en ret vandfyldt jord i en lang efterfølgende periode, hvor nedvaskningen af kalium kan forgå nogenlunde uhindret af fixering. Først ved indtørring af overfladelaget om foråret sker hovedparten af fixeringen afhængig af mineralogisk sammensætning. Illit viser nogen fixering i våd tilstand og meget kraftig ved indtørring, medens montmorillonit fixerer kalium i betydeligt mindre omfang og kun ved stærk indtørring (SCHEFFER og SCHACHTSCHABEL, 1960).

Laboratorieforsøgene er gennemført under betingelser (konstant vandmætning), hvor fixeringen næsten er elimineret, og her genfindes da også 95-100 pct. af det tilførte kalium på alle jordtyper.

Forsøgene med kontinuert udvaskning af Na, NH<sub>4</sub>, K og Mg fra jordsøjler med destilleret vand efterfulgt af 0,1 n CaCl<sub>2</sub> og 0,1 n HCl viser betydelige forskelle i disse kationers bindingsforhold. Årsagen hertil er disse ioners forskellige hydratisering og det derfor afhængige Zeta-potential (SCHEFFER og SCHACHTSCHABEL, 1960).

## OVERSIGT

Forskellige danske jordtypers gennemtrængelighed for overfladetilført kalium og magnesium er afprøvet i markforsøg og suppleret med laboratorieundersøgelser. Jordtyperne er beskrevet i tabel 1 og opført efter stigende ombytningskapacitet.

Markforsøgene består i sammenligning af ugødede parceller med parceller, der i tre på hinanden følgende år er gødet med henholdsvis 1000 kg 50 pct. kali pr. ha og 2000 kg magnesiumsulfat pr. ha. Parcellerne er holdt fri for plantevækst. Der er udtaget jordprøver før forsøgets anlæg og derefter to gange hvert år i forskellig dybde til analysering af T<sub>K</sub> og TMg.

Førøgelsen af T<sub>K</sub> og TMg i dybere jordlag er udtryk for gennemtrængeligheden og fremgår af tabellerne 4 og 7, medens tabel 8 viser, hvor stor en del af det tilførte kalium og magnesium, der genfindes i 10-60 cm jorddybde. De nævnte tabeller viser, at gennemtrængeligheden af kalium og magnesium er næsten lige stor på de tre sandjorder og betydelig større end på lerjorderne. Medens gennemtrængning af magnesium på sandjorder og lerjorder tilnærmet svarer til forskelle i ombytningskapacitet (omvendt proportionalitet), viser de tre lerjorder meget store indhyrdes forskelle i gennemtrængelighed for kalium, selvom ombytningskapaciteterne er næsten lige store. Gennemtrængeligheden for kalium er størst på Ødum, betydelig mindre på Tystofte og meget mindre på Blangstedgaard.

En række faktorer, der omtales i diskussionen, kan dog vanskeliggøre en mere nøjagtig sammenligning jordtyperne imellem. Der er derfor gennemført nogle laboratorieforsøg med disse jordtyper under mere kontrollerede betingelser. Jord-sandblandinger er sat i søjler med bibeholdelse af forskelle i ombytningskapacitet, hvorefter gennemtrængeligheden af kalium og magnesium er undersøgt overfor og med samme kation (Ca), med samme gen-

nemstrømningshastighed og med eliminering af faktorer som fixering og forskelle i oprindeligt niveau af  $T_K$  og TMg.

Resultaterne herfra fremgår af figurerne 1, 2 og 3 samt tabel 9 og viser igen, at lerjorderne varierer langt mere indbyrdes i gennemtrængelighed for kalium end for magnesium. Forklaringen herpå skal sikkert søges i forskellig mineralogisk sammensætning, idet leret på Ødum overvejende består af montmorillonit, medens lerjorderne fra Tystofte og Blangstedgaard sandsynligvis hovedsagelig består af illit.

Forfatterne bringer hermed Carlsbergfondets direktion en hjertelig tak for bevilling til en fraktionskollektor, der har betydet en stor lettelse af analysearbejdet i laboratorieforsøgene.

#### SUMMARY

##### *The penetrability of potassium and magnesium in some Danish soils*

Investigations of the penetrability of soils to potassium and magnesium were carried out both under field conditions and in soil columns. Three sandy soils: Lundgaard (9,8), Studsgaard (13,5), Hornum (14,9) and three loamy soils: Tystofte (18,6), Ødum (20,0), Blangstedgaard (20,4) were used in the experiments. (The numbers in brackets are total exchange capacities in meq. per 100 g dry soil, see table 1).

The field experiments compared unfertilized plots (a), with plots fertilized with 1000 kgs 50 per cent KCl per year per hectare (b), and with plots supplied with 2000 kgs  $MgSO_4 \cdot 7 H_2O$  per year per hectare (c). During the experimental period of 3 years, the soil surface in the plots was kept free of any vegetation and soil samples were taken two times each year in different soil depths and analysed for  $T_K$  and TMg (see below).

The increase of  $T_K$  and TMg as a function of soil depth afford a measure of the penetration of K and Mg and are shown in table 4 and 7. The percentages of added K and Mg found in 10-60 cm soil depth are shown in table 8.

The results in these tables indicate an equal penetrability of K and Mg in sandy soils. In loamy soils both K and Mg penetrate more slowly than in sandy soils, but while the lowering in penetrability of magnesium correspond to an increase in exchange capacity, there are great differences in penetrability of potassium on the three loamy soils, in spite of nearly the same exchange capacities.

The comparison of the penetrability in these different soils under field conditions is complicated by many factors such as unequal original levels of  $T_K$  and TMg, differences in precipitation, fixation, relative distribution of other cations on soil colloids etc.

In order to eliminate most of these factors, equal amounts of the different soil types were set up as vertical soil columns, washed free of K with 1 n  $CaCl_2$ , excess Ca was washed out with distilled water and 0,05 meq K were placed on the top of the soil column. This potassium was then replaced with 0,1 n  $CaCl_2$ , collected in fractions and analysed for K. Magnesium was treated in exactly the same manner and the results are shown in figures 1 and 2, respectively.

Under these more uniform conditions the figures show nearly the same picture as found in the field experiments. The penetrability of magnesium shows an inverse proportionality to the total soil exchange capacity and the same relationships is found for potassium on the three sandy soils and Ødum loam, while the penetrability of potassium is much lower on Tystofte and especially on Blangstedgaard loam.

The reason for this is probably differences in the clay minerals. The soil from Ødum is known to be a montmorillonite clay, while the soils from Tystofte and Blangstedgaard are assumed to be illite clays. The strong fixation of potassium found on Tystofte and Blangstedgaard (table 3) corresponds with these hypotheses. Illite is known to bind potassium very firmly, while the differences in binding energies for magnesium between illite and montmorillonite are less pronounced.

Potash value,  $T_K$  is meq K per 2.5 kg air-dry soil.

Magnesium value, TMg is exchangeable magnesium soluble in *n*-ammonium acetate, expressed as milligrams Mg per 100 g air-dry soil.

#### LITTERATUR

- Anderson, M. S., M. G. Keyes and G. W. Cramer, 1942. U.S.D.A. Tech. Bull. 813
- Bear, F. E., 1958. Chemistry of the soil. Reinhold Publishing Corporation.
- Benjaminsen, J., 1954. Undersøgelser over udvaskningen af fosforsyre og kalium i forskellige jordtyper. Tidsskrift for Planteavl 57, 99-107.
- Bondorff, K. A. og P. Damsgaard-Sørensen, 1937. Kationombytning i Jorden II. Tidsskrift for Planteavl 42, 285-298.
- Dalbro, S., 1957. Jordbundsanalyser i frugtplantager. Tidsskrift for Planteavl 61, 445-473.
- Damsgaard-Sørensen, P., 1942. Fastlægning af Kalium og Fosforsyre. Nordisk Jordbrugsforskning, hefte 1-2, 116-124.
- Dorph-Petersen, K., 1955. Magnesiumproblemet for landbrugets planteavl. Tidsskrift for Planteavl 58, 369-395.
- Dullum, N. og S. Dalbro, 1956. Gødningsforsøg med æbletræer. Tidsskrift for Planteavl 60, 369-485.



- Iversen, K. og K. Dorph-Petersen*, 1945. Udvaskning af Fosforsyre og Kali. Tidsskrift for Planteavl 50, 106-125.
- Jensen, H. L. og Aage Henriksen*, 1955. Om magnesiumbestemmelser i dansk jord. Tidsskrift for Planteavl 58, 396-420.
- Rasmussen, K. og S. Touborg Jensen*, 1960. Investigations on potash and potash release in Danish soils. Landbohøjskolens Årsskrift, 88-122.
- Samuelson, O.* 1952. Ion Exchangers in Analytical Chemistry. Almqvist og Wiksells forlag, Stockholm.
- Scheffer, F. und P. Schachtschabel*, 1960. Lehrbuch der Agrikulturrekemie und Bodenkunde.
- Touborg Jensen, S.*, 1936. Kalkens Omsætninger i Jordbunden. Tidsskrift for Planteavl 41, 571-649.
- Unmack, A.* 1949. X-ray investigation of some Danish clays. II. Montmorillonitic clays. Kgl. Veterinær- og Landbohøjskoles Årsskrift, 1949, 192-204.
- Wiklander, L.*, 1954. Forms of potassium in the soil. Potassium Symposium. International Potash Institute, Zürich.