

## Undersøgelser over udvaskningen af fosforsyre og kalium i forskellige jordtyper.

Af Johs. Benjaminsen.

Gennem et stort antal undersøgelser i forskellige lande har man fundet, at fosforsyre og kalium normalt er meget lidt bevægelige i jorden. Markforsøg her i landet viser, at forårs- og efterårsudbringning af superfosfat omtrent giver samme virkning. For kaligødningens vedkommende antages i almindelighed, at man uden fare for udvaskningstab kan udbringe denne om efteråret på lerjord, medens der på sand- og humusjord kan være fare for udvaskning i vinterens løb.

For at undersøge fosforsyrens og kaliumets bevægelighed i jordbunden, blev der i efteråret 1952 på Statens Planteavlslaboratorium anstillet et mindre karforsøg for at få belyst spørgsmålet lidt nærmere. Karrene, der blev benyttet, er 40 cm høje og med en indvendig diameter på 20 cm. Bunden er urglasformet med den konvekse side nedad. I midten af bunden er et lille hul, over hvilket der blev lagt et trådnæt. Karrene blev før forsøget parafinerede indvendig.

Der blev i forsøget benyttet to jordtyper, dels en humusblandet sandjord fra forsøgsstationen ved St. Jyndeved, dels en svær lerjord fra Blangstedgaard. Under jordlaget i karrene blev lagt 9 kg rent, udvasket strandsand. Mellem jord- og sandlag var lagt et fintmasket trådnæt for at undgå sammenblanding af jord og sand ved den senere prøveudtagning. Sandlagets tykkelse var 18 cm. Forsøgsjorden i karrene havde en højde af 20 cm, og på grundlag af rumvægt og vandindhold i forbindelse med karrenes rumfang beregnedes, at der af Jyndevedjorden i hvert kar var 10,2 kg og af Blangstedgaardjorden 9,0 kg lufttørret jord, når jorden i karrene var i »naturlig« lejrning, d.v.s. havde sat sig.

Den 22. august 1952 blev gødningen udstrøet på jorden i karrene efter følgende plan:

Forsøgs- led	g superf. pr. kar	mg PO <sub>4</sub> pr. kar	kg 18 % supf. pr. ha	g KCl pr. kar	mæg K pr. kar	kg 40 % kali pr. ha
a	0	0	0	0	0	0
b	0.728	175	250	0.388	5.33	200
c	1.456	350	500	0.795	10.67	400
d	2.913	700	1000	1.193	16.00	600

Hvert forsøgsled omfattede 3 fælleskar. Udstrøningen skete ved hjælp af en alm. saltbøsse, der tillod en meget fin fordeling af gødningen. Efter en let nedrivning med en lille rive og douchning med 100 ml dest. vand for at dæmpe støvet, henstilledes karrene den 22. august 1952 i voliére, hvor de uden plantevækst henstod indtil 12. november 1952, da prøver udtoges til analyse-ring for henholdsvis fosforsyre og kali.

I forsøgstiden blev karrene kun vandet af den naturlige nedbør, der i tidsrummet 22. august til 12. november 1952 beløb sig til ialt 220 mm regn, nogenlunde jævnt fordelt på ialt 44 af forsøgstidens 82 dage.

Udtagningen af jordprøverne til analyse foregik på følgende måde. Det 20 cm tykke jordlag i hvert kar blev inddelt i 4 lag à 5 cm (0—5, 5—10, 10—15 og 15—20 cm, regnet fra oven). Af hvert lag blev der udtaget prøver til kali- og fosforsyrebestemmelse, og desuden blev der udtaget en gennemsnitsprøve af hele jordmængden og af sandet i karrene.

Analyseringen blev udført efter de på laboratoriet sædvanligt anvendte metoder til kali- og fosforsyrebestemmelse i jord, d. v. s. efter Damsgaard-Sørensens metode til bestemmelse af kalium og Bondorff's metode til bestemmelse af fosfat.

I tabel 1 er opført resultaterne af fosforsyrebestemmelsen i hele jorddybden, 0—20 cm. Udfra tallene i kolonne 3 er tallene i kolonnerne 4 og 8 beregnet. Disse angiver den »maksimale« stigning i fosforsyretallene, som de i kolonne 2 angivne mængder kan frembringe.

Tabel 1. Fosforsyrebestemmelse i forsøgsjorden 0-20 cm.

For- søgs- led	Tilført g supf. pr. kar	mg PO <sub>4</sub> pr. kar	Blangstedgaard				Jynde vad			
			Δ Ft bereg- net	Ft bereg- net	Ft fundet	Δ Ft fundet	Δ Ft bereg- net	Ft bereg- net	Ft fundet	Δ Ft fundet
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ao										
a	0	0		(7.97)	7.97			(4.85)	4.85	
b	0.728	175	0.18	8.15	8.13	0.16	0.16	5.01	5.05	0.20
c	1.456	350	0.36	8.33	8.33	0.36	0.32	5.17	5.25	0.40
d	2.913	700	0.72	8.69	8.63	0.66	0.64	5.49	5.53	0.66

En stigning i fosforsyretallet på 1 enhed svarer ved svovlsyre metoden til 4,283 mg PO<sub>4</sub> pr. 40 g tør jord. I hvert kar er der af tør jord fra Blangstedgaard og Jynde vad henholdsvis 9,0 og 10,2 kg. Den teoretiske stigning i Ft ved tilførsel af 175 mg PO<sub>4</sub> pr. kar fås da ved hjælp af følgende 2 ligninger:

$$\text{Blangstedgaard: Ft} = \frac{175 \cdot 40}{9000 \cdot 4,283} = 0,18$$

$$\text{Jynde vad: Ft} = \frac{175 \cdot 40}{10200 \cdot 4,283} = 0,16$$

Ved at sammenholde kolonnerne 4 og 8 med henholdsvis 7 og 11 ses, at de fundne og de beregnede stigninger af fosforsyretallene, når analyseusikkerheden tages i betragtning, stemmer særdeles godt overens. Hele den tilførte fosforsyremængde genfindes ved ekstraktion med 0,2 n H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, et resultat, man sikkert vil komme til ved omhyggelige undersøgelser af lignende art for de fleste danske jordtypers vedkommende.

I tabel 2 er opført analyseresultaterne fra fosforsyrebestemmelsen af de forskellige jordlag. Det fremgår af tabellen og af figur 1, hvor resultaterne er afbildet grafisk, at man kun i de øverste jordlag finder en forøgelse af fosforsyretallet. I tabellens 2 sidste kolonner er anført de beregnede fosforsyretal i det øverste 0-5 cm jordlag, d.v.s. de fosforsyretal, man kunne forvente, hvis hele den tilførte fosforsyremængde fandtes i svovlsyreopløse-

Tabel 2. Svovlsyreopløselig  $PO_4$  i de forskellige jordlag udtrykt i Ft.

Forsøgs- led	Blangstedgaard				Jynde vad				Blang- sted- gaard	Jynde- vad
	0—5 cm	5—10 cm	10—15 cm	15—20 cm	0—5 cm	5—10 cm	10—15 cm	15—20 cm	0—5 bereg- net	0—5 bereg- net
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
a	7.95	8.00	8.00	8.00	4.75	4.90	4.90	4.80	7.97	4.85
b	8.75	7.90	7.90	8.10	5.25	5.10	4.90	4.90	8.69	5.49
c	9.20	7.90	7.85	8.00	5.85	4.70	4.70	4.85	9.41	6.13
d	10.60	7.95	8.00	8.00	6.70	5.00	4.90	4.85	10.86	7.41

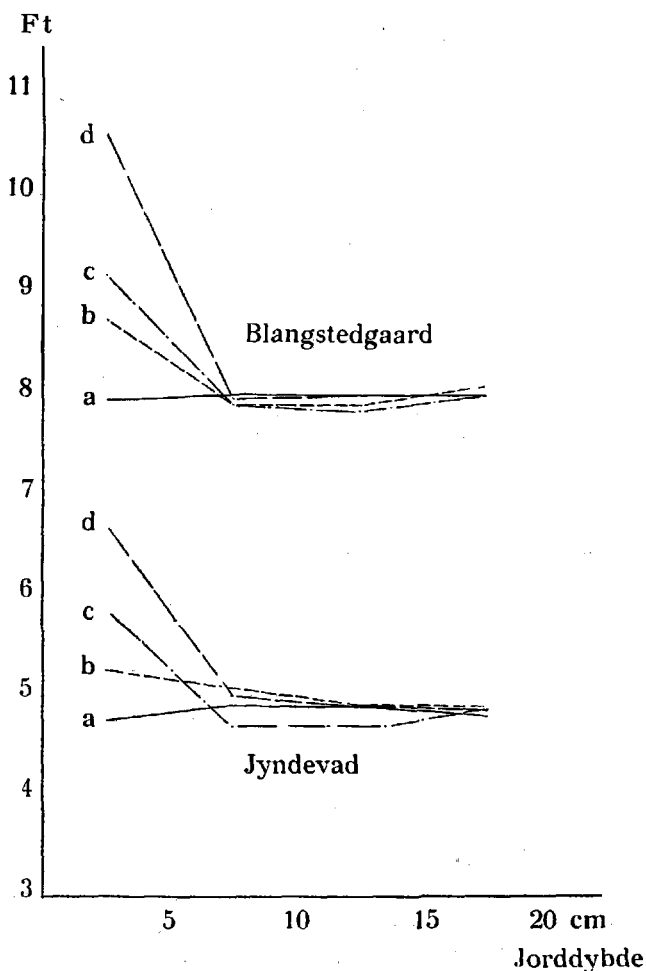
lig form i de øverste 0—5 cm. For Blangstedgaardjordens vedkommende findes en ganske god overensstemmelse mellem de fundne og de beregnede værdier (kolonnerne 2 og 10), medens man ved sammenligning af de fundne og de beregnede værdier af Ft for Jynde vad jordens vedkommende finder de beregnede værdier væsentligt højere end de fundne; — så høje, at forskellen ikke kan forklares ved analyseusikkerhed. Da hele den tilsatte fosformængde ifølge tabel 1 gen fandtes i Jynde vad jorden, kan forskellen kun forklares ved, at noget af fosforsyren er trængt ned i de underliggende jordlag. En nøjere betragtning af kolonne 7 kunne tyde på, at noget gen findes i det næstøverste lag 5—10 cm, men længere nede end 10 cm, kan der absolut ingen

Tabel 3. Ombyttelig kalium i forsøgsjorden 0—20 cm.

For- søgs- led	Tilført g KCl pr. kar	Tilført mæq K pr. kar	Blangstedgaard					Jynde vad					
			$\Delta T_{Kb}$ bereg- net	$T_K$ be- reg- net	$T_K$ fun- det	$\Delta T_K$ fun- det	$\Delta T_{Kf} \cdot 100$	$\Delta T_{Kb}$ bereg- net	$T_K$ be- reg- net	$T_K$ fun- det	$\Delta T_K$ fun- det	$\Delta T_{Kf} \cdot 100$	
			4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
a <sub>0</sub>	0		0	(101)	10.1				0	5.0	6.1		
a	0.398	5.88	1.5	11.6	10.8	0.7	47	1.3	6.3	6.1	1.1	85	
b	0.795	10.67	3.0	13.1	11.5	1.4	47	2.6	7.6	6.8	1.8	69	
c	1.193	16.00	4.5	14.6	12.4	2.3	51	3.9	8.3	7.5	2.5	64	

forøgelse i Ft påvises. Da de fleste danske jorder i type vil ligge mellem Jyndevedjord (sandjord) og Blangstedgaardjord (sværlerjord) tør man formentlig slutte, at fosforsyrebevægelse i jordbunden væsentlig vil være af mekanisk art, og at en bortførelse med det nedsivende regnvand kan betragtes som betydningsløs.

I tabel 3 er opført resultaterne af kaliumanalyserne for hele forsøgsjorden i karrene. Man ser, at der ved gødskning med kaligødning fås en stigning i kaliumtallet, men stigningen er meget



Figur 1. Svovlsyreopløselig fosfat i forskellige jordlag.

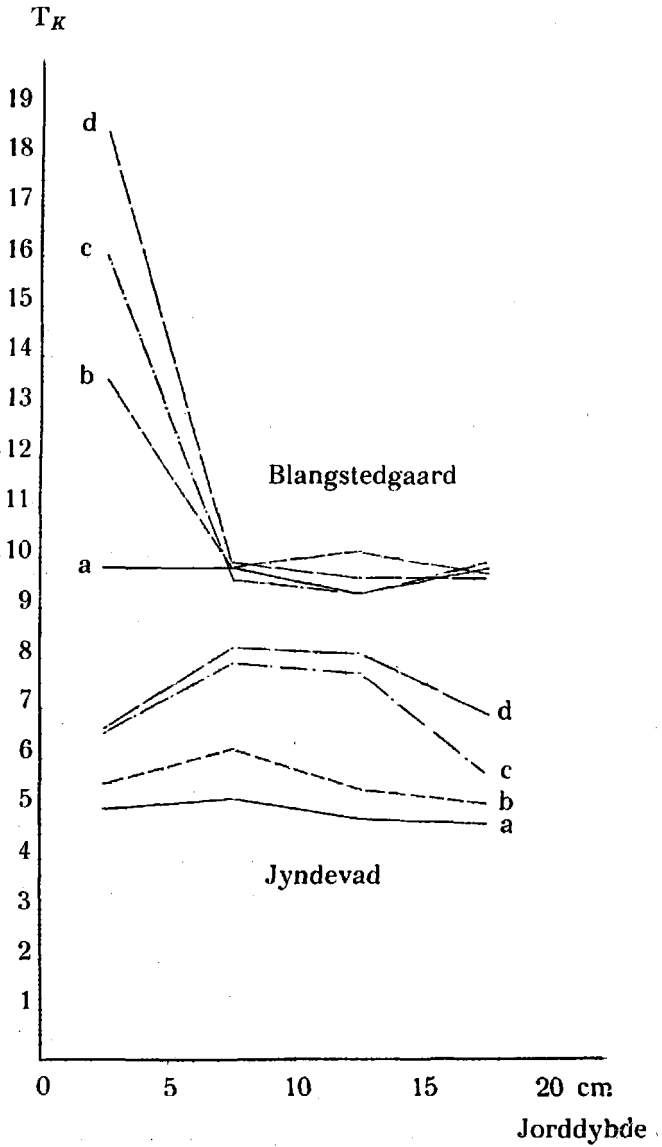
mindre end den, man teoretisk kunne vente, hvis der intet Ud-  
vaskningstab finder sted og alt det ombyttelige kalium før gødsk-  
ningen + det ved gødskning tilførte kalium genfindes i ombyttelig  
form. Af kolonnerne 8 og 13, hvor forholdet mellem de fundne  
og beregnede tilvækster i kaliumtallene, udtrykt i procent, er opført,  
fremgår, at man for Blangstedgaardjordens vedkommende kun  
genfinder halvdelen af det tilførte kalium i ombyttelig form,  
medens man for Jyndevedjordens vedkommende finder fra ca.  
60 til 80 pct. af det tilførte kalium. Søger man nu en forklaring  
på, hvor det resterende kalium er blevet af, er det naturligt at  
spørge, om der finder et udvaskningstab sted. Nu var karkon-  
struktionen sådan, at en opsamling af gennemsivningsvandet  
ikke var mulig, men af  $T_K$  for  $a_0$  i tabellen fremgår dog, at der  
for Jyndevedjordens vedkommende må have fundet en ned- og  
udvaskning sted i forsøgsperioden. Sammenligner man nemlig  
 $T_{Ka_0}$  6,1 ( $T_K$  før forsøgets anlæggelse) med  $T_{Ka} = 5,0$  ( $T_K$  i de  
ugødede kar) ses, at der i forsøgsperioden har fundet en betydelig  
sænkning af  $T_K$  sted, en sænkning, der ikke i den udpræget lette  
sandjord fra Jyndeved kan forklares ved en så stærk fastlægning  
af kalium, at det ikke ombyttes ved den anvendte analysemetode.

At der har fundet et udvaskningstab sted i Jyndevedjorden  
fremgår også tydeligt af kaliumanalyser i underlagssandet. Re-  
sultaterne heraf er opført i tabel 4.

Tabel 4. Analyseresultaterne fra underlagssandet  $T_K$ .

Forsøgsled	$a_0$	a	b	c	d
Blangstedgaard.....	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
Jyndeved.....	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7

I den svære lerjord fra Blangstedgaard finder der derimod  
ingen kaliudvaskning sted, og den store forskel mellem de be-  
regnede og de fundne  $T_K$  tilvækster må derfor forklares ved en  
så stærk fastlægning af det tilførte kalium, at det ikke kan på-  
vises ved den anvendte analysemetode.



Figur 2. Ombytligt kalium i forskellige jordlag.

Tabel 5. Ombyttelig kalium i de forskellige jordlag udtrykt ved  $T_K$ .

Forsøgs- led	Blangstedgaard				Jynde- vad				Blang- sted- gaard	Jynde- vad
	0—5 cm	5—10 cm	10—15 cm	15—20 cm	0—5 cm	5—10 cm	10—15 cm	15—20 cm	0—5 cm bereg- n.	0—5 cm bereg- n.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
a	9.8	9.8	9.8	9.8	5.0	5.2	4.8	4.7	9.8	5.0
b	13.6	9.8	10.1	9.7	5.5	6.2	5.4	5.1	13.6	9.4
c	16.1	9.6	9.3	9.9	6.5	7.9	7.7	5.7	15.4	12.2
d	18.6	9.9	9.6	9.6	6.8	8.2	8.1	6.9	19.0	15.0

I tabel 5 er opført resultaterne af kaliumbestemmelserne i de forskellige jordlag. Af tabellen og af figur 2, hvor resultaterne er grafisk afbillede, fremgår tydeligt, at det tilførte kalium på lerjorden bliver, hvor det placeres, medens der i sandjorden sker en nedvandring af den udbragte kaligødning; man finder her ikke de største kaliumtal i det øverste, men i det næstøverste jordlag og ved at betragte kurvernes endepunkter, ser man, at der stadig finder udvaskning sted i sandjorden, medens dette ikke er tilfældet i lerjorden, hvor kaliumtallet i det underste jordlag, 15—20 cm, er upåvirket af det tilførte kalium. Medens afvigelserne mellem de beregnede og de fundne  $\Delta T_K$  værdier for sandjordens vedkommende ifølge ovenstående er resultatet af en udvaskningsproces, må differencerne for lerjordens vedkommende forklares ved, at en del af det tilførte kalium går over i en ikke ombyttelig tilstand. Den del af det tilførte kalium, der er ombytteligt findes i de øverste 0—5 cm jord. Dette fremgår klart af kolonne 2 i tabel 5. Ud fra de fundne  $\Delta T_K$  værdier i tabel 3 (kolonnerne 7 og 12) er tallene i kolonnerne 10 og 11 i tabel 5 beregnede under forudsætning af, at hele den tilførte kaliummængde er koncentreret i de øverste 0—5 cm, og en sammenligning af 2. og 10. kolonne viser en ganske god overensstemmelse mellem de fundne og de beregnede værdier.

I hvilken form det ikke-ombyttelige kalium tilbageholdes i jorden, kan man med vor nuværende viden intet afgjort sige om; det viser sig at differenserne mellem de beregnede og de



eksperimentelt fundne  $T_K$  værdier på sandjorder, humusjorder og lette lerjorder som regel er ganske små, medens de, når det drejer sig om svære lerjorder, kan opnå betydelige værdier. Nogle forskere, f. eks. Volk, angiver udfældningsprocesser, dannelsen af kaliglimmerkrystaller, som væsentlig årsag til forholdet, men denne forklaring må dog under de forhold, som hersker i jordoverfladen, betragtes som ret problematisk. En endnu mere sandsynlig forklaring er at angive, at  $K^+$  ved ionombytningsprocesser trænger så langt ind i jordkolloidernes (krystalloidernes) krystalgitre, at de ikke deltager i de udvekslingsprocesser, der finder sted, når jord behandles efter Damsgaard-Sørensens metode. Spørgsmålet om ombyttelig og ikke-ombyttelig kalium må derfor ændres til et spørgsmål om mere eller mindre let-ombytteligt kalium. Men lader man analysemetoden definere, hvad der skal kaldes ombytteligt, kan man, som gjort i denne artikel og som det almindeligvis gøres, stadigvæk operere med de sproglige udtryk ombytteligt og ikke-ombytteligt, blot man holder sig de ovenfor gjorte bemærkninger for øje. Der rejser sig nu det spørgsmål, om det kalium, der efter den anvendte analysemetode og efter sædvanlig sprogbrug betegnes ikke-ombytteligt, må betragtes som værdiløst eller af væsentligt ringere værdi for planternes ernæring end det ombyttelige. Om dette ved man ikke meget i øjeblikket, men det kan forudsiges, at de problemer, der herved rejser sig, er uhyre komplicerede. For det første vil det sikkert variere fra planteart til planteart, og for det andet spiller jordbunds- og klimaforhold sikkert en meget stor rolle. En metode, ved hvilken man under alle forhold utvetydigt kan angive jordens indhold af kalium, der tilgængeligt for planterne på forhånd må anses for uopnåeligt; men ved at arbejde med de problemer, der knytter sig til overgangen fra den »ombyttelige« til den »ikke-ombyttelige« tilstand ligger det sikkert inden for mulighedernes grænse at udvikle og forbedre analysemetoderne, således at man under veldefinerede forhold i fuldt omfang kan udnytte bestemmelsen af det ombyttelige kalium som grundlag for gødsningen.