

## Mineralstofbortførsel fra græsdækket jord i lysimeter efter tilførsel af mejerispildevand

*The effect of dairy waste water on percolation of nutrients in grass covered lysimeters*

Frede Jensen

### Resumé

For at undersøge tilførsel af varierede mængder mejerispildevands indflydelse på udvaskning af mineralstoffer, gennemførtes i årene 1970 til 1978 lysimeterforsøg ved Jyndeved. Forsøget blev gennemført i to forsøgsperioder. Der blev i første periode givet fra 120 til 600 mm pr. år, hvor forsøgsjorden var hedeslettesand. I anden forsøgsperiode blev anvendt dels hedeslettesand og dels morænesand. Der blev tildelt fra 180 til 540 mm pr. år. Udbytte steg med stigende spildevandsmængde. Drænvandsmængden var større, hvor der blev givet 40 mm pr. gang, end ved 20 mm pr. gang ved samme antal mm pr. år. Ligeledes var drænvandsmængden større fra hedeslettesand end fra morænesand.

Kvælstofudvaskningen steg med stigende spildevandstilførsel fra 1,4 til 16,2 g pr. m<sup>2</sup> i begge forsøgsperioder.

Analyser af iltforbrug i drænvand viste lave værdier. Det kan deraf konkluderes, at der ikke er passeret uomsat organisk materiale til dræn.

**Nøgleord:** Mineralstofbortførsel, lysimeter, mejerispildevand, græs.

### Summary

In order to examine the effect of varying amounts of dairy waste water on the loss of nutrients, lysimeter experiments were carried out during the period 1970 to 1978 at the Research Station, St. Jyndeved.

The experiments were carried out during two periods. In the first period 120 to 600 mm of waste water was supplied. The experiment soil was coarse sand. In the second period the experiment soils were coarse sand and moraine sand, 180 to 540 mm of waste water were supplied each year.

The yield increased with increased amounts of waste water. 40 mm of waste water at each supply caused more drain water than 20 mm, the total amounts were equal. Most drain water occurred from coarse sand.

The loss of nitrogen increased with increased supply of waste water. The yearly loss of nitrogen ranged from 1,4 to 16,2 g per m<sup>2</sup> during both experimental periods. The oxygen consumption of drain water was low. From this it is possible to conclude that no organic matter has passed through to the drain.

**Key words:** Washing out of nutrients, lysimeter, dairy waste water, grass.

## Indledning

En del mejerier har valgt at udbringe spildevand på landbrugsarealer fremfor tilslutning til rensningsanlæg, hvilket miljøbeskyttelsesloven åbner mulighed for. Til belysning af spildevandets indflydelse på mineralstofudvaskning til dræn eller dybereliggende jordlag, gennemførtes der i årene 1970–78 lysimeterforsøg med varierende mængder mejerispildevand. Der blev anvendt spildevand fra Broderup Andelsmejeri, der har smørproduktion og en mindre konsummælksproduktion.

Markforsøg til belysning af varierede mængder spildevands indflydelse på udbyttet er omtalt af Jensen (1981). Af tidligere undersøgelser over mineralstofudvaskning kan nævnes, at der ved Askov er gennemført undersøgelser over mineralstofudvaskning fra græsdaekket jord i lysimeter efter tilførsel af kalksalpeter (Kofod & Lindhard, 1968). Fra Statens Marskforsøg, Højer er undersøgt mineralstofbortførsel med drænvand på forskellige lokaliteter (Hansen & Pedersen, 1975). Ligeledes er der fra Højer undersøgt mineralstofudvaskning til dybereliggende jordlag under rodzonen (Bennetzen, 1978).

## Metodik

Lysimeterkarrene er anbragt i to rækker med midtergang (kælder) imellem. Karrene er bygget af beton, de er kvadratiske,  $1 \times 1$  m, og dybden er 1,5 m. Bunden skræner fra de to af siderne mod midten, hvor der er lavet en rille, der passede til, at et 10 cm beviklet plasticdrænrør kunne sænkes halvvejs ned i rillen, fig. 1 A. Plasticdrænrøret har svagt fald mod karvæg til midtergang, hvor det er forbundet med et galvaniseret jernrør af samme dimension. Dette er ført gennem karvæggen til midtergang, hvor opsamling af drænvand fandt sted.

Forsøgsjorden var hedeslettesand fra Jynde vad. Jorden blev nedlagt med samme lagdeling som i marken, og der er tilstræbt samme tæthed. Lagenes tykkelse og teksturanalyser fremgår af tabel 1. I den omvendt tagformede del af bunden blev der lagt udvasket grus.

I 1973 var enkelte kar i et parallelforsøg ikke helt vandtætte. Forsøgsjorden blev derfor taget

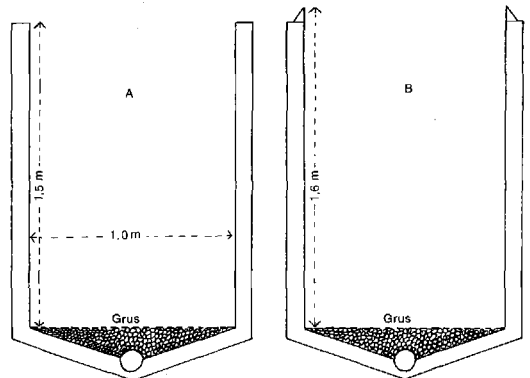


Fig. 1. Tværnsnit af lysimeterkar.  
Cross section of lysimeter.

op, og karrene blev behandlet med U.P.C. mur-tætningsmiddel. Samtidig blev karkanten foroven ændret, idet der blev påstøbt en kant på 10 cm, som vist i fig. 1 B. Denne ændring blev foretaget for at hindre, at nedbør på den 20 cm brede karkant løb ned i selve lysimetret. Kardybden blev herved forøget med 10 cm. Ved ilægning af ny jord, blev der anvendt jordtyper, hedeslette-sand og en morænesandjord. Teksturen af jordtyperne ses i tabel 1, der også viser lagdelingen og ombytningskapaciteten. Det skal bemærkes, at humusbestemmelsen er lavet som glødetab.

Spildevandsopsamlingen på mejeriet blev foretaget i mejeriets driftstid fra kl. 6 til 14. Gennemsnit af analyser på prøver udtaget ved hver udbringning viste en sammensætning som vist i tabel 2.

De samme analyser blev udført i drænvand, men med et mindre antal BIs analyser.

Analysearbejdet blev udført ved Centralanalytisk Afdeling, Vejle og Jynde vad forsøgsstation.

Spildevandet blev tilført fordelt over året. Vandingen gennemførtes i 1970–73 med vandkande, vandet tilførtes å 4–5 gange med ca.  $\frac{1}{2}$  times mellemrum. I 1974–78 blev spildevandet tilført med et vandingsanlæg, der gav den ønskede vandmængde i løbet af ca.  $1\frac{1}{2}$  time.

Drænvandsmængden kontrolleredes ved vejning. Ved hver vejning opsamledes 100 ml pr. kg vand, som blev analyseret, når der var opsamlet ca. 5 l af analyseprøven.

**Tabel 1. Teksturanalyser og ombytningskapacitet**  
*Texture and cation exchange capacity*

Dybde Depth cm	Ler Clay	Silt Silt	Finsand Fine sand	1969 Hedeslettesand, Jyndeved				mækv. ombyttelig/100 g jord						
				Grovsand Coarse sand	Humus Humus	RT	Sym- bol**	OK*	H	K	Na	Ca	Mg	
0-30	2,4	2,4	20,7	71,9	2,6	5,7	GR.S.							
30-90	2,3	1,5	15,2	79,2	1,7	5,7	»							
90-150	1,7	1,2	13,2	83,3	0,7	5,6	»							
				1974 Hedeslettesand, Jyndeved										
0-33	3,0	2,9	19,3	72,2	2,6	6,1	GR.S.	8,48	4,80	0,05	0,04	3,44	0,15	
33-66	3,0	2,6	16,2	76,1	2,2	5,8	»	10,63	8,60	0,04	0,03	1,85	0,11	
66-110	3,1	2,2	10,9	83,0	0,8	5,9	»	5,24	4,75	0,04	0,02	0,40	0,03	
110-160	4,4	2,8	8,3	85,4	0,4	5,6	»	3,05	2,80	0,03	0,01	0,20	0,01	
				1974 Morænesand, Frøslev										
0-43	4,4	5,0	27,4	59,9	3,3	7,2	GR.S.	11,05	2,90	0,11	0,06	7,83	0,15	
43-85	5,4	7,6	36,8	48,1	2,1	6,6	GR.L.S.	7,87	3,60	0,11	0,04	4,04	0,08	
85-120	8,1	7,6	37,5	46,5	0,8	6,5	»	4,39	2,60	0,05	0,03	1,67	0,04	
120-160	5,2	3,7	29,5	60,5	1,2	6,2	»	6,28	3,10	0,08	0,09	2,89	0,12	

\* = ombytningskapacitet

\*\* = jordklassificeringens jordtypebetegnelse

**Tabel 2. Gennemsnitlig kemisk indhold af mejerispildevand**

*Chemical composition of dairy waste water*

		total N mg/l	
Ph	7,9		31,67
tørstof g/l	0,83	NO <sub>3</sub> -N »	8,29
aske g/l	0,73	NH <sub>4</sub> -N »	5,57
BI <sub>5</sub> *mg O <sub>2</sub> /l	415	P »	9,09
KIF** mg O <sub>2</sub> /l	180	K »	23,75
		Mg »	3,38

\* Biokemisk iltforbrug i 5 døgn

\*\* Iltforbrug med kaliumpermanganat

**Forsøgsplan 1970-73**

Led	A: 20 mm pr. gang		
	mm spildevand pr. år	Antal tilførsler pr. år	Interval i dage mellem tilførsel
1	120	6	60
2	240	12	30
3	360	18	20
4	480	24	15
5	600	30	12
B: 40 mm pr. gang			
1	120	3	120
2	240	6	60
3	360	9	40
4	480	12	30
5	600	15	24

De 40 mm er givet à 2 × 20 mm i to på hinanden følgende dage. I A og B blev anvendt samme jordtype. Der var et kar pr. led.

## Forsøgsplan 1974-78

### I Hedeslettesand

### II Morænesand

#### 1. Ugødet

#### 2. 1 kunstgødning

#### 3. 180 mm spildevand/år à 6 gange 30 mm

#### 4. 360 mm spildevand/år à 12 gange 30 mm

#### 5. 540 mm spildevand/år à 18 gange 30 mm

1 kunstgødning = gennemsnit 27,5 g N, 4,3 g P,

18,8 g K og 1,1 g Mg (se tabel 7)

Der var et kar pr. led.

Afgrøden var i 1970-72 kløvergræs, i 1973 rug, der ikke er medtaget i opgørelsen, da opsamlingsperioden for gennemsnivningsvand mangler.

I 1975 var afgrøden byg + græs, 1976 og 1977 græs, 1978, hvor der ikke blev vandet med spildevand, var afgrøden sildige kartofler.

### Udbytter

Udbytterne er opgivet i g tørstof pr. m<sup>2</sup> pr. år. Udbyttetallene 1970-72 ses af tabel 3.

**Tabel 3.** Udbytte af græs i g tørstof pr. m<sup>2</sup> 1970-72  
*Yield of grass in dry matter g per m<sup>2</sup> 1970-72*

År/mm spildevand	A. 20 mm pr. gang				
	120	240	360	480	600
1970	461,6	403,1	415,2	541,9	436,1
1971	394,4	483,0	641,8	704,5	808,6
1972	287,7	334,6	400,5	551,6	487,0
Gns.	381,2	406,9	485,9	599,3	577,2
LSD	157,3				

År/mm spildevand	B. 40 mm pr. gang				
	120	240	360	480	600
1970	495,3	480,7	564,6	462,4	523,4
1971	364,9	477,4	619,9	682,4	843,2
1972	316,8	283,6	402,3	372,3	508,5
Gns.	392,3	413,9	529,0	505,7	625,0
LSD	172,9				

I afdeling A med mange og små tilførsler, steg gennemsnitsudbyttet med stigende tilførsel indtil 480 mm pr. år.

I afdeling B med dobbelte vandmængder og vandingsintervaller, steg gennemsnitsudbyttet indtil 600 mm pr. år.

**Tabel 4.** Udbytte af græs i g tørstof pr. m<sup>2</sup> 1975-78  
*Yield of grass in dry matter, g per m<sup>2</sup> 1975-78*

År/kunstg. mm spildevand	I Hedeslettesand				
	0	1 kunstgødning	180	360	540
1975	318,1	470,5	485,6	549,6	591,0
1976	185,6	443,1	316,2	377,3	480,9
1977	163,4	890,1	267,9	409,2	351,4
gns.	222,4	601,2	356,6	445,4	474,4
kart. 1978	809	1127	907	1039	1023
LSD 1975-77	277,5				

År/kunstgd. mm spildevand	II Morænesand				
	0	1 kunstgødning	180	360	540
1975	318,8	560,1	387,5	569,7	621,2
1976	255,0	579,9	424,1	564,2	672,1
1977	230,1	1037,4	443,4	548,2	715,4
gns.	268,0	725,8	418,3	560,7	669,6
kart. 1978	946	1526	1261	1322	1524
LSD 1975-77	233,6				

I tabel 4 er vist udbytte og merudbytte i g tørstof pr. m<sup>2</sup> for årene 1975-77.

Af tabellens gennemsnitstal ses, at udbyttet har været størst efter 1 kunstgødning, samt at udbyttet gennemsnitlig har været stigende med stigende spildevandsmængder. Størst har stigningen været i II, morænesandjord.

I 1978 blev der målt eftervirkning i kartofler. Der blev stadig tilført 1 kunstgødning, men ingen spildevand.

Udbytterne var her stigende med stigende spildevandstilførsel årene forud.

### Vand- og mineralstofbalance

#### Vandbalance

Tabel 5 er opstillet efter vandbalanceligningen:  $N + T \div A = E_a$ , hvor N = nedbør, T = tilført med spildevand, A = afstrømning og  $E_a$  = aktuel fordampning. Tallene er angivet i l pr. m<sup>2</sup> = mm.

I perioden 1970/71 til 72/73 er afstrømningen fra dræn stor, medens rest til fordampning er lav. Dette kan formentlig skyldes, at der er løbet ekstra nedbør fra den flade karkant ned i lysimetret, derved er tilførsel med nedbør større end nedbørstallene angiver. Dette bevirker, at afstrøm-

**Tabel 5. Vandbalance, l pr. m<sup>2</sup>**  
*Water balance, l per m<sup>2</sup>*

		A. 20 mm spildevand pr. gang 20 mm waste water each time				
1970/71–72/73 gns. average						
Spildevand tilført	120	240	360	480	600	
Nedbør	767	767	767	767	767	
Drænvand	760	850	907	997	1101	
Rest til aktuel fordampning	127	157	220	250	266	
		B. 40 mm spildevand pr. gang 40 mm waste water each time				
1975/76–77/78 gns. average						
Spildevand tilført	120	240	360	480	600	
Nedbør	767	767	767	767	767	
Drænvand	804	861	913	1125	1203	
Rest til aktuel fordampning	83	146	214	122	164	
		I Hedeslettesand				
1975/76–77/78 gns. average						
Tilført spildevand	0	0	180	360	540	
Nedbør	725	725	725	725	725	
Drænvand	487	377	496	528	635	
Rest til aktuel fordampning	238	384	409	557	630	
		II Morænesand				
1975/76–77/78 gns. average						
Tilført spildevand	0	0	180	360	540	
Nedbør	725	725	725	725	725	
Drænvand	381	324	419	491	573	
Rest til aktuel fordampning	344	401	486	594	692	

ningen bliver større, differencen = rest til aktuel fordampning bliver mindre.

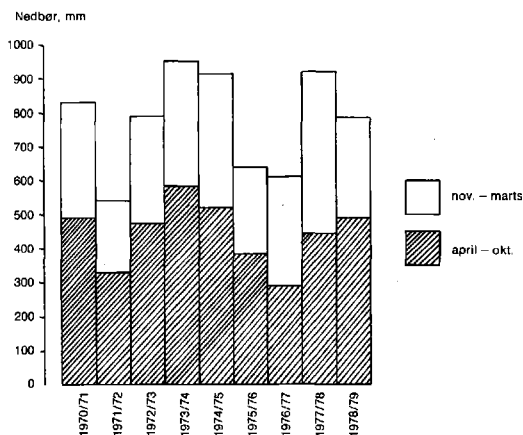
Af tabellen fremgår, at 20 mm spildevand pr. gang, har givet mindre afstrømning end 40 mm pr. gang.

I perioden 1975/76 til 77/78 blev der anvendt to jordtyper, hedeslettesand og morænesand. Afstrømningen var mindre fra morænesand end fra hedeslettesand. Dette kan dels forklares ved en større vandholdende evne i morænesand, og dels en større planteproduktion og dermed større vandforbrug.

Årsnedbøren, delt i vækstsæsonen fra 1. april til 31. oktober og for resten af året er vist i fig. 2. Det ses, at nedbøren i vækstsæsonen har varieret fra 293 mm til 586 mm, på årsbasis fra 573 til 956 mm.

#### Mineralstofbalance

I tabel 6 er vist tilført og bortført N, P, K og Mg gennemsnit samt maximum og minimum 1970/71



**Fig. 2. Nedbør i forsøgsperioden.**  
*Precipitation during the experiment period.*

til 72/73 i g pr. m<sup>2</sup>. Gennemsnitstallene for tilført er inklusive tilført med nedbør, der i nævnte periode var 1,24 g N, 0,25 g K og 0,30 g Mg pr. m<sup>2</sup>/år (Jørgensen, 1979).

**Tabel 6.** Tilført N, P, K og Mg med spildevand og nedbør samt bortførelse med drænvand og afgrøder, gns. 1970/71–1972/73 g pr. m<sup>2</sup>  
*N, P, K and Mg supplied with waste water and precipitation and the amounts in drain water and crops 1970/71–1972/73 g per m<sup>2</sup>*

mm spildevand År/Tilført	120				240				360				480				600			
	N	P	K	Mg	N	P	K	Mg	N	P	K	Mg	N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
	<b>A. 20 mm pr. gang</b>																			
Gns.	5,29	1,45	3,52	0,82	8,72	2,90	6,81	1,27	12,26	4,22	9,94	1,68	16,26	5,54	12,91	2,09	19,96	6,68	15,77	2,45
Maximum	6,04	1,91	3,93	0,87	10,06	4,07	7,21	1,28	13,67	5,71	10,29	1,71	18,23	7,61	13,21	2,17	22,43	8,93	16,41	2,54
Minimum	4,02	1,16	3,26	0,80	6,44	2,28	6,54	1,25	9,98	3,56	9,38	1,64	12,90	4,48	12,30	1,97	16,44	5,44	15,38	2,31
	<b>Bortført med drænvand</b>																			
Gns.	4,74	–	10,15	0,84	4,92	–	8,58	1,01	5,55	–	9,85	1,00	7,75	–	9,33	1,07	9,33	–	10,63	1,23
Maximum	5,32	–	11,91	0,92	5,34	–	9,62	1,17	6,26	–	11,40	1,15	10,31	–	10,16	1,21	14,00	–	11,87	1,38
Minimum	4,07	–	8,75	0,76	4,61	–	7,26	0,85	4,79	–	7,91	0,77	5,02	–	8,00	0,82	4,94	–	8,75	0,98
	<b>Bortført med afgrøden</b>																			
Gns.	7,50	1,22	5,67	0,58	8,86	1,55	6,94	0,74	11,25	1,95	9,08	0,90	13,77	2,33	9,93	1,12	14,93	2,25	9,96	1,11
Maximum	9,36	1,36	7,39	0,68	11,66	1,69	9,13	0,85	14,75	2,24	12,78	1,12	16,37	2,49	13,16	1,27	21,87	2,70	14,49	1,46
Minimum	6,41	1,03	4,76	0,47	7,31	1,27	5,55	0,65	8,51	1,37	6,17	0,78	12,20	2,11	8,11	0,86	10,55	1,74	6,65	0,86
	<b>Bortført i alt</b>																			
Gns.	12,24	1,22	15,82	1,42	13,78	1,55	15,52	1,75	16,80	1,95	18,93	1,90	21,52	2,33	19,26	2,19	24,26	2,25	20,59	2,34
	<b>B. 40 mm pr. gang. tilført</b>																			
Gns.	5,46	1,10	3,75	0,84	9,42	2,86	6,88	1,31	12,94	3,98	9,51	1,69	16,10	5,81	13,37	2,21	19,61	6,53	16,15	2,55
Maximum	7,23	1,18	4,51	0,86	10,92	3,82	7,51	1,39	16,03	5,34	10,51	1,77	18,96	8,14	14,07	2,31	22,91	8,46	16,51	2,58
Minimum	3,62	1,00	2,98	0,81	7,02	2,32	6,55	1,17	9,14	3,08	7,70	1,57	11,36	4,56	12,86	2,09	15,84	5,20	15,90	2,51
	<b>Bortført med drænvand</b>																			
Gns.	5,21	–	12,90	0,84	6,00	–	12,25	1,37	6,96	–	14,07	0,98	11,38	–	13,83	1,21	14,37	–	13,50	1,41
Maximum	7,06	–	17,03	1,29	7,48	–	15,43	2,03	9,33	–	19,64	1,62	12,46	–	16,37	1,95	16,16	–	17,94	2,41
Minimum	3,53	–	10,03	0,61	3,96	–	10,35	0,75	3,64	–	10,25	0,61	10,30	–	9,76	0,75	12,10	–	9,26	0,72
	<b>Bortført med afgrøder</b>																			
Gns.	7,59	1,20	5,76	0,56	9,28	1,50	6,98	0,68	10,52	1,60	7,66	0,75	12,24	1,63	7,48	0,81	14,23	2,00	9,54	1,01
Maximum	9,31	1,27	6,39	0,62	12,23	1,81	8,83	0,83	16,25	2,23	11,31	1,12	18,35	2,18	11,25	1,17	22,19	2,68	14,93	1,40
Minimum	6,05	1,07	4,73	0,47	6,29	1,06	5,84	0,56	7,18	1,16	4,03	0,42	9,18	1,25	4,66	0,53	9,90	1,66	5,38	0,57
	<b>Bortført i alt</b>																			
Gns.	12,80	1,20	18,66	1,40	15,28	1,50	19,23	2,05	17,48	1,60	21,73	1,73	23,62	1,63	21,31	2,02	28,60	2,00	23,04	2,42

Tilførslerne i de enkelte forsøgsled stammer ikke fra samme dags afhentning på mejeriet. Med de varierende analysetal vil der derfor ikke være proportionalitet mellem vand og mineralstofftilførsel.

Med stigende spildevandsmængde har kvælstofftilførslen gennemsnitlig varieret fra 4,0 til 22,4 g pr. m<sup>2</sup>.

Bortførsel fra dræn og med afgrøder stiger med stigende tilførsel. Fra dræn er variationen fra 4,1 til 16,2 g pr. m<sup>2</sup>. Fra afgrøder 7,5 til 14,9 g pr. m<sup>2</sup>.

**Tabel 6a.** Kvælstofbortførsel med drænvand og afgrøder i % af tilført, gns. 1970/71-72/73  
*Leaching of nitrate with drainage water and crops, per cent of supply, average 1970/71-72/73*

	Spildevand, mm				
	120	240	360	480	600
	20 mm pr. gang				
Drænvand	90	56	45	48	47
Afgrøde	142	102	92	85	75
I alt	232	158	137	133	122
	40 mm pr. gang				
Drænvand	95	64	54	71	73
Afgrøde	139	99	81	76	73
I alt	234	163	135	147	146

I tabel 6a er vist kvælstofbortførsel med drænvand og afgrøder i % af tilført. Ved 20 mm pr. gang er bortført i % af tilført aftagende med stigende tilførsel. Ved 40 mm pr. gang er procenten aftagende til 360 mm spildevand, og derefter stigende. Bortførsel med afgrøder i % af tilført, er i begge afdelinger aftagende med stigende tilførsel. Procenterne for bortførsel i alt viser, at bortførslen har været større end tilførsel.

Af fosfor har tilførslerne i gennemsnit varieret fra ca. 1,5 g til 6,7 g pr. m<sup>2</sup>. Bortførsel af fosfor med drænvand har været minimal. Da flere af analyseresultaterne har været <0,01 mg pr. l, har det ikke været muligt at foretage nogen beregning på bortførsel med vand. Bortførsel med afgrøder har, med en enkelt undtagelse, været mindre end tilførslen.

Kaliumtilførslen har varieret fra 3,5 til 16 g pr. m<sup>2</sup>. Bortførslen med drænvand har været højere

end tilførslen ved de lave spildevandsmængder, og lidt lavere end tilførslen ved de høje spildevandsmængder. Det samme gør sig gældende for bortførsel med afgrøder. Den samlede bortførsel af kalium ligger for alle led over tilførslen.

Magnesiummængderne er små, både for tilførsel og bortførsel. Generelt kan siges, at den samlede bortførsel lå over tilførslen.

Tilførsel og bortførsel af mineralstoffer for perioden 1974/75 til 1977/78 er vist i tabel 7. I forsøgsplanen er medtaget et ugødet led og et led med kunstgødning. De tildelte mængder af kunstgødning fremgår af tabellen. Som omtalt under metodik, blev karrene i denne forsøgsperiode ændret, så der var bedre kontrol med nedbøren.

Med spildevandet tilførtes gennemsnitlig fra 7,8 til 21,3 g kvælstof pr. m<sup>2</sup>. Bortførsel af kvælstof med drænvand har været større fra hedeslettesand, end fra morænesand. Det var derimod omvendt ved bortførsel med afgrøder. Bortførsel med drænvand og afgrøder var stigende med stigende spildevandstilførsel.

Den samlede bortførsel med dræn + afgrøder var højere fra morænesand end fra hedeslettesand. Med undtagelse for 1 kunstgødning, var den samlede bortførsel større end tilførslen for begge jordtyper.

Af fosfor blev med spildevandet gennemsnitlig tilført fra 2,0 til 5,2 g pr. m<sup>2</sup>. Der var ingen bortførsel med drænvand. Med afgrøden bortførtes mindre end der tilførtes.

Tilførslen af kalium med spildevandet varierede gennemsnitlig fra 3,9 til 12,2 g pr. m<sup>2</sup>. Med drænvandet bortførtes større mængder kalium fra hedeslettesand end fra morænesand.

Fra hedeslettesand er bortførslen med drænvand ved 180 mm spildevand større end tilførslen, fra morænesand er tallene for bortførsel små.

Bortførsel af kalium med afgrøder har været stigende med stigende udbytte, bortførsel i alt med drænvand og afgrøder var større end tilførslen.

I tabel 7 er vist meroptagelsesprocenter for begge jordtyper, dvs. meroptaget i forhold til ugødet i % af tilført. Meroptagelsesprocenten for kvælstof fra spildevand var på hedeslettesand ved 180 og 360 mm af omtrent samme størrelse, som

**Tabel 7.** Tilført N, P, K og Mg med nedbør og spildevand eller kunstgødning, bortførelse med drænvand og afgrøder 1974/75–1977/78  
g pr. m<sup>2</sup>  
N, P, K and Mg supplied with precipitation, waste water or fertilizer compared to the amount in drain water and crops  
1974/75–1977/78 g per m<sup>2</sup>

Tilført	(Tilført med nedbør)				I kunstgødning				180 mm spildevand				360 mm spildevand				540 mm spildevand			
	Ugødet, uvandet				N	P	K	Mg	N	P	K	Mg	N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
I Hedeslettesand (tilført i alt)																				
Gns.	1,59	–	0,34	0,42	29,09	4,26	19,13	1,57	7,78	1,72	3,94	1,01	14,06	3,07	7,96	1,56	21,34	4,69	12,24	2,14
Maximum	1,93	–	0,44	0,54	46,93	4,80	25,64	1,88	10,16	2,00	4,36	1,18	19,96	3,68	9,40	1,68	28,65	5,21	13,61	2,35
Minimum	1,41	–	0,28	0,26	12,41	3,44	8,56	1,29	5,85	1,56	3,43	0,82	9,20	2,58	6,25	1,49	16,85	4,02	9,58	1,90
Bortført med drænvand																				
Gns.	2,59	–	6,20	0,62	3,58	–	7,14	1,49	4,76	–	6,96	0,69	6,82	–	6,53	0,54	10,84	–	7,32	0,55
Maximum	3,57	–	7,81	1,04	7,34	–	8,32	2,44	6,52	–	10,44	1,06	8,51	–	11,26	1,12	14,38	–	13,15	1,19
Minimum	1,62	–	4,16	0,38	1,62	–	4,32	0,44	2,22	–	5,02	0,51	2,03	–	3,68	0,29	5,07	–	3,73	0,25
Bortført med afgrøder																				
Gns.	4,34	1,01	5,96	0,40	12,84	2,07	16,88	0,92	6,14	1,30	7,89	0,52	8,20	1,65	9,85	0,71	8,20	1,73	10,74	0,67
Maximum	6,25	2,02	12,21	0,64	25,18	2,83	27,48	1,51	6,84	2,12	13,86	0,77	8,98	2,39	15,92	0,98	9,15	2,56	15,45	0,87
Minimum	3,33	0,66	3,56	0,29	8,63	1,13	6,25	0,40	5,18	0,99	5,08	0,40	6,73	1,20	7,09	0,51	6,48	1,27	6,45	0,51
Bortført i alt																				
	6,93	1,01	12,16	1,02	16,42	2,07	24,02	2,41	10,90	1,30	14,85	1,21	15,02	1,65	16,38	1,25	19,04	1,73	18,06	1,22
Meroptagelsesprocent																				
					32	24	58	46	29	17	54	21	31	21	51	27	20	15	40	15
II Morænesand (tilført se I). Bortført med drænvand																				
Gns.	1,67	–	0,96	1,03	2,41	–	1,01	1,39	2,69	–	0,94	1,15	4,25	–	1,11	1,30	6,35	–	1,10	1,48
Maximum	2,09	–	1,18	1,68	5,21	–	1,31	1,63	4,54	–	1,22	1,83	7,26	–	1,26	2,09	10,47	–	1,36	2,70
Minimum	1,13	–	0,63	0,66	0,78	–	0,73	0,85	1,44	–	0,64	0,87	1,07	–	0,85	0,55	3,18	–	0,75	0,56
Bortført med afgrøder																				
Gns.	6,00	1,45	9,65	0,49	15,20	2,50	22,34	1,05	9,07	2,05	11,75	0,71	10,96	2,48	15,57	0,94	13,40	2,95	17,58	1,11
Maximum	8,62	2,96	18,38	0,93	27,06	4,00	34,75	1,53	10,77	3,63	20,84	1,19	11,59	3,54	20,90	1,16	14,96	4,05	23,02	1,28
Minimum	4,24	0,89	5,96	0,33	10,19	1,27	9,75	0,50	8,34	1,21	6,65	0,42	10,04	1,75	12,77	0,74	12,17	1,93	13,45	0,79
Bortført i alt																				
	7,67	1,45	10,61	1,52	17,61	2,50	23,35	2,44	11,76	2,05	12,69	1,86	15,21	2,48	16,68	2,24	19,75	2,95	18,68	2,59
Meroptagelsesprocent																				
					34	25	68	50	50	35	58	38	39	34	78	38	37	32	67	35



fra kunstgødning. Ved tilførsel af 540 mm var den væsentlig lavere. På morænesand lå meroptagelsesprocenten for spildevandsleddene højere end de, der havde fået kunstgødning.

For fosfor var meroptagelsesprocenten lavere fra spildevand end fra kunstgødning på hedeslettesand, men højere på morænesand.

Med undtagelse af 360 mm på morænesand, var kaliumudnyttelsen bedst i kunstgødning, hvilket formentlig skyldes mangel på kvælstof i de spildevandsgødede led. For magnesium var meroptagelsesprocenten lavest på hedeslettesand, og for begge jordtyper lavere fra spildevand end fra kunstgødning. For de med spildevandet tilførte næringsstoffer gælder generelt, at meroptagelsesprocenterne er aftagende med stigende spildevandstilførsel.

I fig. 3 er vist den gennemsnitlige koncentration af kvælstof i mg pr. l i drænvand, ved tilførsel af stigende mængde spildevand (1974/75-77/78). Udgangspunktet er 0 spildevand og 0 gødning. Til højre i fig. 3, og i de følgende 3 figurer er vist de samme værdier i søjler for 1 kunstgødning. Det ses, at koncentrationen stiger med stigende spildevandstilførsel, desuden viser figuren, at den er højere i drænvand fra hedslettesand end fra morænesand.

Fig. 4 viser gennemsnitlig årlig bortførsel af kvælstof med drænvand angivet i g N pr. m<sup>2</sup>. Det

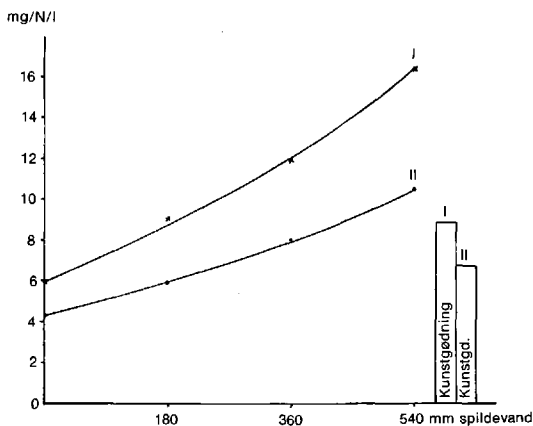


Fig. 3. mg N/l gns. 1974/75-77/78.  
mg N/l of drain water 1974/75-77/78.  
I = hedslettesand, II = morænesand.

ses af figuren, at bortførsel med drænvand stiger med stigende spildevandstilførsel. Bortførsel fra 1 kunstgødning er lidt højere, end hvor der ikke er tilført spildevand eller kunstgødning. Forskellen mellem jordtyperne kan skyldes, at udbyttet og dermed også kvælstofbortførsel med afgrøden har været størst fra morænesand. Desuden kan der også være tale om, at morænesand har en større evne til at tilbageholde næringsstoffer.

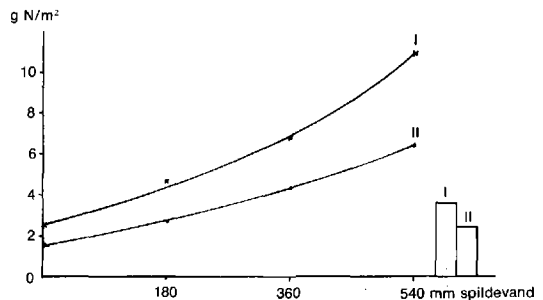


Fig. 4. g N/m<sup>2</sup> gns. 1974/75-77/78.  
N in drain water, g/m<sup>2</sup>, 1974/75-77/78.  
I = hedslettesand, II = morænesand.

I fig. 5 er vist den gennemsnitlige koncentration af kalium i drænvand opgivet i mg K pr. l (1974/75-77/78). Koncentrationen falder med stigende spildevandstilførsel, hvilket kan skyldes en stigende fortynding af jordvandet. Faldet er størst

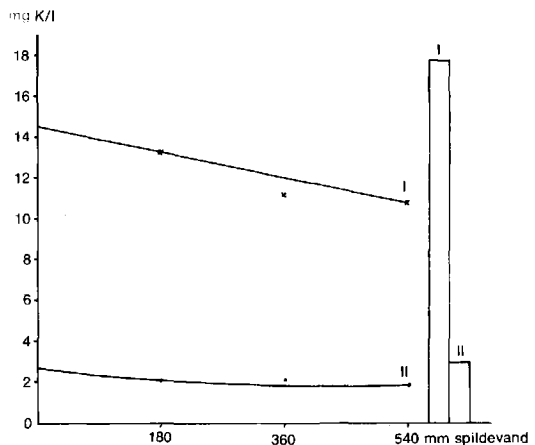


Fig. 5. mg K/l gns. 1974/75-77/78.  
K in drain water, mg/l, 1974/75-77/78.  
I = hedslettesand, II = morænesand.

i den grovkornede jordtype. Af søjlerne for 1 kunstgødning ses, at koncentrationen her er højere end for spildevand.

Totalbortførsel af kalium med drænvand, målt i g K pr. m<sup>2</sup> ses i fig. 6. Der er en svag stigning i bortførslen med stigende spildevandsmængder. Bortførsel fra 1 kunstgødning ligger omtrent på samme niveau som bortførsel med spildevand. Den store forskel mellem jordtyperne skyldes dels en større bortførsel med afgrøder fra morænesandjord, og dels en lidt større adsorptionskapacitet for kalium, som vist i tabel 1.

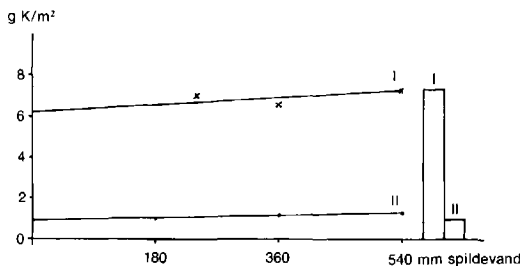


Fig. 6. Bortført med dræn g K/m<sup>2</sup> gns. 1974/75-77/78.  
K in drain water, g/m<sup>2</sup> 1974/75-77/78.  
I = hedeslettesand, II = morænesand.

For at få et indtryk af drænvandets indhold af organisk stof, blev der i forsøgsperioden gennemført iltforbrugsbestemmelser. Bestemmelserne blev gennemført dels efter kaliumpermanganatmetoden, der er en kemisk metode, dels efter BI<sub>5</sub>-metoden, hvor der foregår en mineralisering af den pågældende vandprøves organiske bestanddele under aerobe forhold. Processen løber over 5 døgn. Da BI<sub>5</sub> er meget arbejdskrævende, er analyserne kun gennemført i afdelingen

med hedeslettesand, der havde det største iltforbrug med kaliumpermanganat, og her kun i forsøgsleddene uden spildevand, og med 360 mm spildevand. Tabel 8 viser gennemsnit i årene 1974-78.

Af tabel 8 ses, at der er stigende tendens for kaliumpermanganattallene med stigende spildevandstilførsel. De lave værdier for BI<sub>5</sub> analyser tyder derimod ikke på, at der er passeret uomsat organisk stof til dræn.

#### Mineralstofindhold i jord

I tabel 9 er vist indhold af N, P, K og Mg ved forsøgets slutning i % af indhold ved forsøgets start.

Analyserne for kvælstof er bestemt som total-N. P, K og Mg er bestemt som Ft, Kt og Mgt, dvs., at det er den mængde, som er tilgængelig for planterne, der er bestemt for de 3 mineralstoffer. Der kan i forsøgsperioden dels ske en frigørelse eller en binding af mineralstofferne.

Kvælstofindholdet i jord faldt i forsøgsperioden, uanset om der var tilført mere, end der var bortført. Dette kan skyldes denitrifikation. For de andre mineralstoffer er der ret god overensstemmelse med, at tallene er stigende, hvor der er tilført mere, end der er bortført, og faldende hvor bortførsel har været større end tilførsel.

#### Diskussion

For udvaskning af mineralstoffer er det især kvælstofudvaskningen der har interesse. Kvælstofudvaskningen har i perioden 1974/75 til 1977/78 ved spildevandstilførsel varieret fra 1,4 til 14,4 g pr. m<sup>2</sup>. I samme periode har den gennemsnitlige årlige koncentration varieret fra 4,5 til

Tabel 8. Iltforbrug med KMnO<sub>4</sub> og efter BI<sub>5</sub>, gns. 1974-78  
Oxygen demand with KMnO<sub>4</sub> and by the BI<sub>5</sub> method average 1974-78

	o	kunstgødning	180 mm spildevand	360 mm spildevand	540 mm spildevand
I Hedeslettesand					
KMnO <sub>4</sub>	11,3	9,1	16,8	27,6	31,7
BI <sub>5</sub>	1			2	
II Morænesand					
KMnO <sub>4</sub>	3,7	3,9	4,5	7,0	8,8

**Tabel 9.** Mineralstofindhold i jord ved optagning i % af indhold ved nedlægning*Nutrient content of the soil after the experiment period in per cent of the content at establishment of the experiments*

	A				B			
	N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
Uvandet, ugødet . . . . .	76	111	81	82	83	136	113	95
1 kunstgødning . . . . .	77	120	76	88	82	142	102	107
180 mm spildevand . . . . .	79	112	69	88	84	141	101	93
360 mm spildevand . . . . .	75	105	62	100	82	140	93	95
540 mm spildevand . . . . .	71	107	60	103	80	141	83	95

27,1 mg N pr. l. Tallene er total-N, heraf har  $\text{NH}_4\text{-N}$  ligget fra 0–0,2 mg pr. l.

Til sammenligning med andre undersøgelser, hvor der er målt mineralstofudvaskning kan nævnes, at der på Askov forsøgsstation i årene 1954 til 1964 blev målt mineralstofforførsel fra græsdækket jord i lysimetre, med forskellige jodtyper (Kofoed & Lindhard, 1968).

Kvælstofildelingen varierede fra 4,9 til 32,1 g pr.  $\text{m}^2$  pr. år. I en jord fra Jynde vad var kvælstofudvaskningen fra 0,1 til 10,1 g pr.  $\text{m}^2$ . Den gennemsnitlige koncentration i mg N pr. l varierede fra 0,24 til 21,86. For de mere lerholdige jorder, var de tilsvarende tal væsentlig mindre. Det blev iagttaget, at lave udbytter gav stor udvaskning og omvendt.

Bennetzen (1978) undersøgte kvælstofudvaskning til dybereliggende jordlag under rodzonen. Undersøgelserne blev gennemført i årene 1974/75–1976/77 på sandjord ved Jynde vad og lerjord ved Åbenrå. Ved Jynde vad blev undersøgelsen gennemført på et uvandet og på et vandet areal. På græsdækket jord varierede kvælstofudvaskningen for uvandet fra 3,0 til 14,8 g N pr.  $\text{m}^2$ , for vandet fra 2,0 til 2,9 g N pr.  $\text{m}^2$ . På lerjorden ved Åbenrå, hvor afgrøden var korn, var de tilsvarende variationer 2,6 til 4,0 g N pr.  $\text{m}^2$  (uvandet).

I drænvandsundersøgelser 1971–74 (Hansen & Pedersen, 1975) er undersøgt mineralstofindhold i drænvand på forskellige lokaliteter. Middelkoncentrationen 1971–74 af  $\text{NO}_3\text{-N}$  har på lokaliteterne varieret fra 12,1 til 25,6 mg pr. l  $\text{NO}_3\text{-N}$ . Middelkoncentrationer i spildevandsforsøget fremgår af fig. 3. Disse værdier ligger på niveau med det, der er fundet i drænvandsforsøgene.

I vejledende udledergrænseværdier til recipienter (Miljøstyrelsen, 1974) er angivet følgende grænseværdier:  $\text{BI}_5$  20 mg ilt pr. l,  $\text{NH}_3 + \text{NH}_4\text{-N}$  2 mg pr. l og total P 1 mg pr. l. Der er ikke opgivet grænseværdier for  $\text{NO}_3\text{-N}$  eller total-N.

Udvaskningens størrelse er afhængig af flere faktorer f.eks. gødningsintensitet, nedbørsmængder, høstudbyttets størrelse samt et gunstigt forhold mellem næringsstofferne til den pågældende afgrøde.

Markforsøg med mejerispildevand har vist, at der er tendens til stigende reaktionstal ved udbringning af stigende mængder mejerispildevand. For at undgå de mangelsygdomme, der ofte optræder ved høje reaktionstal, bør der ved udsprøjtning på landbrugsarealer, ikke udbringes mere end 360 mm pr. år (Jensen, 1981).

### Konklusion

Ved tilførsel af varierede mængder mejerispildevand til græsdækket jord i lysimetre, er udvaskningen af mineralstoffer steget med stigende tilførsel. Udvaskningen har været større fra den grovkornede hedeslettesand end fra morænesand.

Mineralstofudvaskningen har ligget på niveau med, hvad der er fundet i andre forsøg og undersøgelser.

De lave  $\text{BI}_5$  værdier viser, at der ikke er passeret omsat organisk materiale til dræn.

Stigende mængder spildevand har vist tendens til at give stigende reaktionstal. For at undgå de gener høje reaktionstal kan medføre, bør mængderne ved udsprøjtning på landbrugsarealer, ikke overstige 360 mm pr. år.

## Litteratur

- Bennetzen, F.* (1978): Vandbalance og kvælstofbalance ved optimal planteproduktion (3). Tidsskr. Planteavl 82, 191-219.
- Hansen, L. & Pedersen, E. Frimodt* (1975): Drænvandsundersøgelser 1971-74. Tidsskr. Planteavl 79, 670-688.
- Jensen, F.* (1981): Mejerispildevand til landbrugsafgrøder på sandjord. Tidsskr. Planteavl 85, 159-170.

- Jørgensen, V.* (1979): Luftens og nedbørens kemiske sammensætning i danske landområder. Tidsskr. Planteavl 82, 633-656.
- Kofoed, A. Dam & Lindhard, J.* (1968): Mineralstofbortførelse fra græsdækket jord i lysimetre. Tidsskr. Planteavl 72, 417-437.
- Miljøstyrelsen* (1974): Vejledende bestemmelser for udledning af spildevand. Vejledning nr. 6.

Manuskript modtaget den 2. december 1981