

12 APR 1999



**Tap av næringsstoff ved bruk
av husdyr- og mineralgjødsel
på morenejord og sandjord:**

Undersøkelser i Særheimlysimetret 1992-1997

Hugh Riley, Per Olav Westbye
og Jan Kvamme

Grønn forskning 10/99

GRØNN FORSKNING



Norsk institutt for planteforskning
The Norwegian Crop Research Institute

**Tap av næringsstoff ved bruk
av husdyr- og mineralgjødning
på morenejord og sandjord:**

Undersøkelser i Særheimlysimetret 1992-1997

**Hugh Riley, Per Olav Westbye
og Jan Kvamme**

Grønn forskning 10/99

ISBN 82-479-0128-5

ISSN 0809-1757

Pris: NOK 100.-

For bestilling kontakt:

*Planteforsk avd. Kise
2350 Nes på Hedmark*



Norsk institutt for planteforskning
Apelsvoll forskingscenter
avd. Kise

Tap av næringsstoff ved bruk av husdyrgjødsel og mineralgjødsel på morenejord og sandjord: Undersøkelser i Særheimlysimeteret 1992-97

Nutrient losses from morainic loam and sandy soils with the use of cattle slurry and mineral fertilizer: Lysimeter studies in southwestern Norway 1992-97

HUGH RILEY¹, PER OLAV WESTBYE² og JAN KVAMME²

¹ Planteforsk Apelsvoll forskingsenter avd. Kise, 2350 Nes på Hedmark

² Planteforsk Særheim forskingsenter, 4062 Klepp

Abstract

*A lysimeter with eight 10 x 4 m cells was constructed at Særheim Research Centre in SW Norway in 1990. Six cells were filled with silty sand of morainic origin and two with medium sand of sedimentary origin, both from the locality. The original soil layering was maintained although the soil structure was disturbed. A cereal crop was grown in 1991 to stabilise the soil. Thereafter a grass ley was undersown in barley, and three fertilizer treatments were imposed on the morainic soil (mineral fertilizer only, cattle slurry only and a combination of cattle slurry in spring and mineral fertilizer after the first cut). The latter treatment was also given on the medium sand. Approximately the same total amounts of nutrients were applied to all plots in most years. These treatments were given until 1996, and in 1997 a uniform amount of mineral fertilizer was applied to all plots. Yield levels were similar on all plots with silty sand, but 15% lower on plots with medium sand. Runoff water and concentrations of N, P, K and S were measured monthly. Annual runoff and nutrient losses were closely related to the level of precipitation. Average losses of N and P were far greater from the medium sand than from the silty sand (57 and 19 kg N/ha, 570 and 43g P/ha, respectively, with comparable fertilization). Losses were slightly higher (9 kg N/ha and 20 g P/ha) with cattle slurry alone than with mineral fertilizer alone. K-losses were little affected by either soil type or fertilizer treatment. S-losses were affected by the amount of S applied in fertilizer, with losses from 15 kg S/ha with cattle slurry alone to 58 kg S/ha with mineral fertilizer alone on the silty sand. The S-loss from medium sand was 15 kg/ha greater than from the silty sand plots with the same fertilizer treatment. **Key words** : cattle slurry, drainage, grass ley, lysimeter, mineral fertilizer, nutrient leaching, soil type*

Innledning

Jordbrukets betydning for forurensning av ferskvann er blitt sterkt fokusert i Norge det siste tiåret. På sørvestlandet henger miljøbelastningen sammen med en kombinasjon av høy husdyrtetthet og stor utbredelse av lett-permeable jordarter med lav vannlagringsevne.

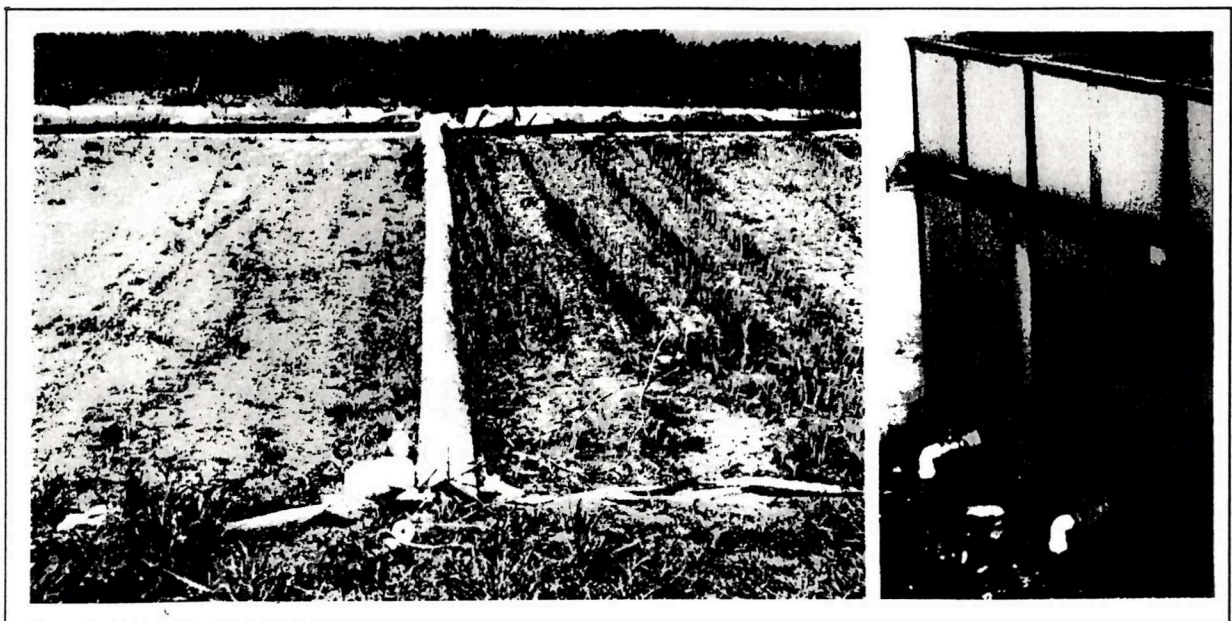
Økt veiledning og informasjon om f.eks. riktige gjødslingstidspunkt og gjødselmengder kan synes å ha ført til en reduksjon i konsentrasjonen av nitrat og fosfat som er målt i Timebekken på Jæren (Øyen og Westbye 1994). Denne undersøkelsen ga ikke klare årsaks-sammenhenger for en slik utvikling. I andre landsdeler er lysimeterforsøk blitt brukt for å sammenligne betydningen av faktorer som driftsform og gjødslingsstyrke (Eltun 1994, Eltun et al. 1998) eller pløyetid og tidspunktet for spredning av husdyrgjødsel (Myhr et al. 1996, Oskarsen et al. 1996).

Med økonomisk støtte fra Klepp lutingslag ble det vinteren 1990/91 bygget et lysimeter-anlegg på Særheim med åtte celler (ruter), hvorav seks ble fylt med morenejord fra Særheim og to med sandjord fra Voll. Anlegget har gitt mulighet for måling av overflateavrenning og grøftevann fra hver rute. Denne rapporten omhandler undersøkelser utført i anlegget i tidsrommet 1992-97, da bruk av hhv. husdyrgjødsel og mineralgjødsel ble sammenlignet i eng.

Materiale og metoder

Lysimeteranlegget

Vinteren 1990/91 ble jorda fjernet ned til 1 m dybde fra et areal på 10 x 32 m. Matjord og undergrunnsjord ble skilt. Arealet ble delt i åtte 10 x 4 m ruter, adskilt i bunn og på alle sider med et dobbelt lag med plastfolie. Et 75 mm drensør av plast ble lagt i midten av hver rute for å samle sigevann. Dette ble samlet i store plastkar (ett kar pr. rute) som stod i et halveis nedgravd hus i hellende terreng et stykke unna feltet (figur 1). Jorda som var blitt fjernet (morenejord) ble fylt tilbake sjiktvis i seks av anleggets celler, mens de to resterende ble fylt med sandjord (figur 2). Overflaten på rutene ble formet med en svak helling mot den ene langsiden av feltet, og en 4 m plastrenne ble plassert i enden av hver rute for å samle eventuell overflateavrenning. Dette vannet ble målt separat fra sigevannet.



Figur 1. Bildene viser to av lysimeterrutene våren 1992 (morene til høyre, sand til venstre), og to av plastkarene som ble brukt til å samle avrenningsvann

Figure 1. Pictures showing two lysimeter cells in spring 1992 (Right: loamy soil, Left: sand) and two of the containers used to collect drainage and surface runoff water

Rute nr. 1	Rute nr. 2	Rute nr. 3	Rute nr. 4	Rute nr. 5	Rute nr. 6	Rute nr. 7	Rute nr. 8
S	M	M	M	M	M	M	S
A	O	O	O	O	O	O	A
N	R	R	R	R	R	R	N
D	E	E	E	E	E	E	D
	N	N	N	N	N	N	
	E	E	E	E	E	E	
Ledd nr. 4	Ledd nr. 2	Ledd nr. 3	Ledd nr. 1	Ledd nr. 3	Ledd nr. 2	Ledd nr. 1	Ledd nr. 4

Figur 2. Plan av lysimeteranlegget med rutefordeling mellom sandjord og morenejord og oversikt over plassering av forsøkleddene

Figure 2. Distribution within the lysimeter of cells containing sandy soil or morainic loam soil and of the various fertilizer treatments

Jordbeskrivelse

Jordteksturen ble bestemt i fire dybder ned til 80 cm på to steder på hver rute. Det var svært liten variasjon mellom ruter med samme jordart, og middelverdiene for disse er vist i tabell 1. Sandjorda betegnes som *mellomsand* og morenejorda som *siltig mellomsand*. Begge jordarter er leirfattige. Sandjorda er uten stein, mens morenejorda inneholder en ukjent mengde stein.

Tabell 1. Kornstørrelsesfordeling i ulike dybder av de to jordartene i lysimeteret

Table 1. Soil particle size distribution at various depths in the two soil types in the lysimeter

	Grovsand <i>Størrelse: 600-2000</i>	Mellomsand <i>200-600</i>	Finsand <i>60-200</i>	Grovsilt <i>20-60</i>	Mellomsilt <i>6-20</i>	Finsilt <i>2-6</i>	Leire <i>< 2 µm</i>
Sandjord: Sandy soil							
0-20 cm	2	52	41	1	1	1	2
20-40 cm	2	51	42	1	1	1	2
40-60 cm	2	60	34	1	1	1	1
60-80 cm	2	60	35	1	0	1	1
Morenejord: Loam soil							
0-20 cm	6	20	37	20	10	2	5
20-40 cm	7	20	37	20	10	2	4
40-60 cm	9	21	33	20	11	3	3
60-80 cm	9	20	33	21	12	3	2

Jordas kjemiske tilstand ble analysert rutevis i tre dybder (0-25, 25-40 og 40-60 cm) om høsten i 1991. Middelverdier for hver jordart er gitt i tabell 2. Sandjorda var rik på tilgjengelig fosfor, særlig i toppsjiktet, men fattig på kalium, særlig i undergrunnen. Morenejorda var fosforfattig i alle sjikt, og hadde et middels kaliuminnhold. Kalsiuminnholdet var relativt lavt på begge jordartene, men pH-nivået var tilfredsstillende i alle sjikt. Moldinnholdet var relativt høyt i toppsjiktet på sandjorda, men lavt i undergrunnen. På morenejorda var det lavt i alle sjikt ifølge analysene av organisk-C, men disse stemte imidlertid dårlig med de opprinnelige glødetapstallene. Nye glødetapsmålinger ble gjort våren 1992, og disse viste et relativt høyt nivå i toppsjiktet også på morenejorda.

Tabell 2. Kjemiske analyser høsten 1991 i ulike dybder av de to jordartene i lysimeteret

Table 2. Analyses in autumn 1991 of soil pH, AL-available nutrients, organic C, total N and ignition loss at various depths in the two soils in the lysimeter

	pH i vann	P-AL mg/100g	K-AL mg/100g	Mg-AL mg/100g	Ca-AL mg/100g	Org.- C %	Tot.-N %	¹ Gløde- tap %
Sandjord: Sandy soil								
0-25 cm	6,1	26,6	4,4	13,9	99,2	3,2	0,27	7,4
25-40 cm	6,2	19,9	1,5	11,6	72,4	2,4	0,17	5,6
40-60 cm	6,2	7,9	1,0	5,5	33,5	0,9	0,09	2,2
Morenejord: Loam soil								
0-25 cm	6,2	4,8	13,4	8,7	83,7	1,5	0,17	5,7
25-40 cm	6,2	4,9	10,6	9,5	84,3	1,6	0,18	5,1
40-60 cm	6,3	4,3	10,8	8,0	69,6	1,4	0,15	2,1

¹ Målt våren 1992 i sylinderprøver

Halvannet år etter at lysimeteret ble fylt (forsommeren 1992) ble det tatt ut uforstyrrede sylinderprøver til bedømmelse av jordas porestørrelsefordeling, vannlagringsevne og ledningsevne for luft og vann. På dette tidspunktet hadde jorda trolig satt seg tilstrekkelig til at det var blitt etablert en stabil jordstruktur. Det ble tatt sjiktvis prøver med 10 cm intervall ned til 60 cm på sandjordsrutene, og ned til 40 cm på morenejordsrutene (på sistnevnte ruter ble uttak fra 40-60 cm forhindret av stein).

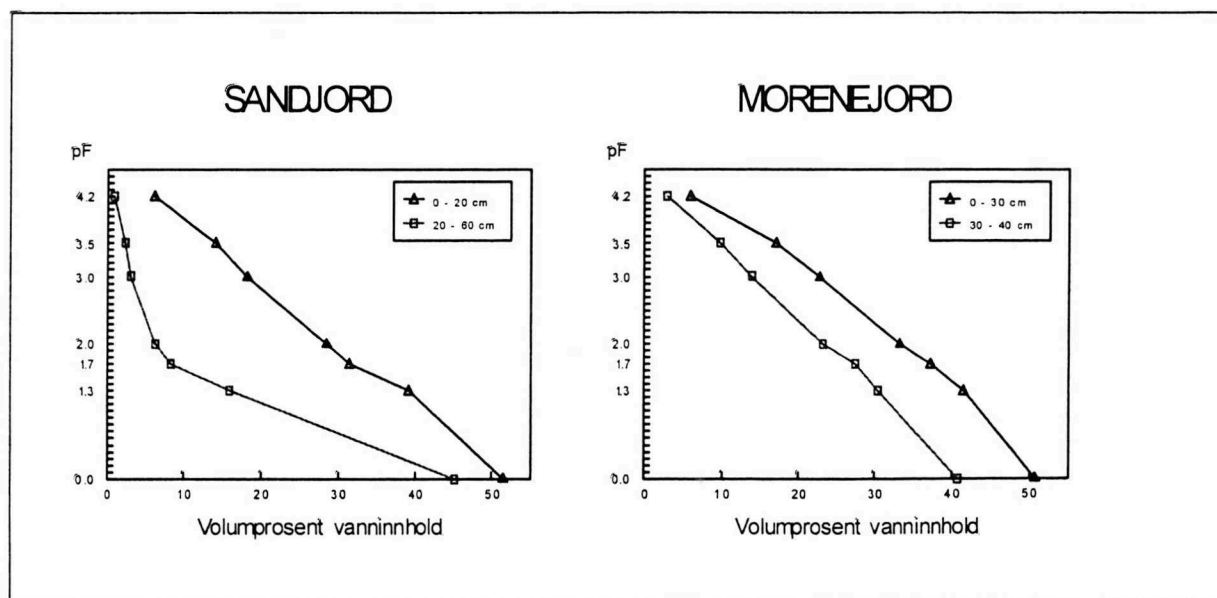
Det var klare forskjeller i fysiske egenskaper mellom jordartene, men relativt liten variasjon innen samme jordart. Sjiktvis middelverdier for vannlagring, luftinnhold, luftpermeabilitet og vannledningsevne er gitt i tabell 3 og jordas vannkarakteristikk er vist i figur 3.

Jordartene hadde tilnærmet likt porevolum og nesten samme vannlagringsevne i det øvre sjiktet, men sandjorda var mye mer tørkesvak i undergrunnen enn var morenejorda, og hadde betydelig høyere luftpermeabilitet og vannledningsevne. Den har derfor stor utvaskingsrisiko.

Tabell 3. Middelverdier for diverse jordfysiske egenskaper i ulike dybder i lysimeteret

Table 3. Mean values of soil bulk density, total porosity, air capacity, available and non-available moisture capacities, air permeability and saturated hydraulic conductivity

	Jord- tetthet g/cm ³	Pore- volum %	Luft- kapasitet %	Lett nytt- bart vann %	Tyngre nytt- bart vann %	Ikke nytt- bart vann %	Luft- perm. μm ²	Vann- ledning cm/time
Sandjord: Sandy soil								
0-20 cm	1,28	51,5	23,0	10,3	12,1	6,1	7,1	3,8
20-40 cm	1,49	44,9	38,3	3,4	2,4	0,8	31,4	26,1
40-60 cm	1,48	45,3	39,6	3,0	2,3	0,8	33,3	28,2
Morenejord: Loam soil								
0-20 cm	1,27	51,9	18,5	10,6	16,8	6,0	10,8	7,1
20-30 cm	1,34	49,6	16,5	10,5	16,8	5,8	5,8	3,7
30-40 cm	1,60	40,7	17,6	9,3	11,0	2,9	5,1	2,8



Figur 3. Vannkarakteristikker (pF kurver) for matjord og undergrunn i lysimeteret

Figure 3. The soil moisture characteristics (pF curves) of topsoil and subsoil in the lysimeter

Forsøksplan

Sommeren 1991 ble det dyrket bygg med samme gjødsling (48 kg/daa 12-2-12) på alle ruter. Dette ble høstet som helsæd 2. september og rutene lå ubehandlet inntil pløying 8. april 1992. Våren 1992 ble det sådd en engblanding ('Grindstad' timotei og 'Salten' engsvingel). Det ble sådd dekkvekst av 'Ida' bygg på begge sandjordsruter og på halvparten av morenejordsrutene. Tre forsøksledd med ulik bruk av handels- og husdyrgjødsel ble etablert på morenejorda og ett av disse leddene (ledd 3) ble også anvendt på sandjordsrutene (benevnt som «ledd 4»).

Ledd 1: Bare handelsgjødsl (fullgjødsl fordelt med 60% om våren og 40% etter 1. slått)
Treatment 1: Compound NPK-fertilizer only (60% in spring and 40% after the first cut)

Ledd 2: Bare husdyrgjødsl (bløtgjødsl fra storfe med samme fordeling som ledd 1)
Treatment 2: Cattle slurry only (with the same relative distribution as treatment 1)

Ledd 3/4: Husdyrgjødsl om våren og handelsgjødsl etter 1. slått
Treatment 3/4: Cattle slurry in spring and compound NPK-fertilizer after the first cut

I etableringsåret ble ledd 1 gjødsl med hhv. 8 og 15 kg N/daa i 13-3-15 fullgjødsl om våren på rutene uten/med dekkvekst, mens på ledd 2-4 ble 3 tonn bløtgjødsl nedmoldet om våren og hhv. 2,2 og 7,8 kg N/daa i kalksalpeter ble brukt på ruter uten/med dekkvekst. Alle ruter ble tilleggsgjødsl med 2,7 kg N/daa i kalksalpeter 21. august.

I tidsrommet 1993-96 ble ledd 1 gjødsl med hhv. 12 og 8 kg N/daa i kalksalpeter om våren og etter 1. slått, og med tilsammen 4,8 kg P/daa i superfosfat og 21 kg K/daa i kaliumklorid. På ledd 2-4 ble det brukt 4 tonn/daa bløtgjødsl om våren. Etter 1. slått ble ledd 2 tilført 2 tonn /daa, mens ledd 3-4 fikk samme gjødsling som ledd 1 da. I 1997 ble alle rutene gjødsl likt, med 8 og 5,4 kg N/daa i 18-3-15 fullgjødsl hhv. om våren og etter 1. slått.

Analysene av husdyrgjødsla i årene 1993-96 er gitt i tabell 4. Omkring 60% av nitrogenet var som regel til stede i uorganisk form, noe som er normalt for denne typen av husdyrgjødsl (Lunnan 1996). Konsentrasjonen av nitrogenet var lavere i 1993 enn ellers.

Det ble ikke foretatt analyse av svovelinnholdet i husdyrgjødsla.

Tabell 4. Analyser av husdyrgjødsl brukt på ledd 2, 3 og 4 i lysimeteret i årene 1993-96
Table 4. Analyses of cattle slurry used for treatments 2, 3 & 4 in the lysimeter in 1993-96

År	Tidspunkt	Tørrst. %	Tot-N %	NH ₄ -N %	P g/kg	Mg g/kg	Ca g/kg	K g/kg
1993	om våren	7,3	0,26	0,11	0,56	0,43	0,79	2,31
1993	etter 1. slått	4,6	0,27	0,16	0,44	0,33	0,73	3,98
1994	om våren	8,6	0,33	0,18	0,70	0,50	0,90	3,50
1994	etter 1. slått	5,1	0,39	0,27	0,40	0,30	0,70	5,60
1995	om våren	4,5	0,34	0,24	0,30	0,30	0,70	5,00
1995	etter 1. slått	5,7	0,33	0,19	0,50	0,30	0,90	4,20
1996	om våren	4,9	0,36	0,24	0,40	0,30	0,70	4,40
1996	etter 1. slått	4,3	0,33	0,23	0,30	0,30	0,60	3,80

De totale mengdene av næringsstoffer som ble tilført på hvert ledd, inklusive handelsgjødsl, er vist i tabell 5. Da analyser av husdyrgjødsla manglet for 1992, ble middelveidier fra de andre årene brukt for å estimere tilførselen da. Tabellen viser middelveidier for N-mengdene brukt på ruter med/uten dekkvekst i 1992. Det var tilnærmet, men ikke nøyaktig den samme, totale næringsforsyning på alle ledd i de fleste tilfellene.

Tabell 5. Totale mengder næringsstoffer tilført på ulike ledd i lysimetret i årene 1992-96
Table 5. Total quantities of nutrients applied with different treatments in the lysimeter in the years 1992-96. All quantities are in kg/decare

År	Ledd 1 Trt. 1			Ledd 2 Trt. 2			Ledd 3 og 4 Trts. 3 & 4		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
1992	14,2	1,92	9,6	17,6	1,35	12,3	17,6/20,3	1,35	12,3
1993	20,0	4,80	21,0	15,8	3,12	17,2	18,2	3,84	16,2
1994	20,0	4,80	21,0	21,0	3,60	25,2	21,0	4,40	21,0
1995	20,0	4,80	21,0	20,2	2,20	28,4	21,4	2,80	27,0
1996	20,0	4,80	21,0	21,0	1,80	25,2	22,2	2,80	24,6
1997	13,4	1,23	11,2	13,4	1,23	11,2	13,4	1,23	11,2

Registreringer

Det første året ble dekkveksten høstet i juli og grasveksten på høsten. De andre årene ble alle rutene slått to ganger, bortsett fra 1995 og 1996 da det var tre høstinger pr. år. Tørrstoffavling ble målt og prøver fra alle ruter ble analysert ved NIR-metoden ved Planteforsk Løken for innhold av råprotein, P, K, Ca og Mg. N-innholdet ble beregnet som råprotein delt med 6,25.

Fra oktober 1991 til desember 1998 ble vannstanden målt, som regel daglig, i karene for oppsamling av avrenning fra overflate og grøft. Blandprøver ble tatt ut månedlig og karene ble tømt etterpå. Vannprøvene ble analysert ved analyselaboratoriet på Planteforsk Holt for pH, tørrstoff, ulike fosfor og nitrogen fraksjoner, kalium og, fra desember 1993, også for sulfat. I praksis var det ubetydelig overflateavrenning, bortsett fra to episoder i 1992 og én i 1996.

I løpet av den første vinteren konstaterte man at lysimeteranlegget fungerte godt, da summen av avrenningen var tilnærmet den samme som nedbørssummen for perioden oktober 1991 til mars 1992 (Øyen 1993). Avrenninga fra sandjordsrutene kom, som ventet, mye raskere enn avrenninga fra morenejordsrutene, men totalmengden var den samme.

I mai 1992 ble det installert to sugekopper pr.rute i 60-65 cm dybde, og vannprøver fra disse ble tatt ut periodevis de første tre årene og analysert for nitratinnhold ved laboratoriet på Planteforsk avd. Kise. Hensikten var å undersøke om sugekoppmetoden var et egnet alternativ til måling av nitrogenkonsentrasjon i grøftevann. Det ble også installert to stålrør pr. rute for målinger av jordfuktighet med nøytronmeter ned til en dybde av 1 meter.

Været i forsøksperioden

Nedbørssommene for perioden 1992-97 er vist i tabell 6, sammen med normalverdier for distriktet. Det første året, 1992, var det betydelig mer nedbør enn vanlig på sensommeren og høsten, mens året etterpå var situasjonen omvendt, med tørrere forhold enn vanlig om høsten. Vinteren 1994/95 var også fuktigere enn normalt, mens vinteren 1995/96 var igjen tørrere. Middellårsnedbøren for perioden 1992-97 var ca. 70 mm over 30-års normalen for distriktet.

Lufttemperaturen er vist i tabell 7. Årsmidlene var ca. 1°C høyere enn normalt i 1992 og 1997, og noe lavere enn normalt i 1996. Vintertemperaturene (desember-mars) var generelt høyere enn normalt, bortsett fra vintrene 1993/94 og 1995/96. Det var få langvarige perioder med temperatur under null grader, selv i disse to 'kalde' vintrene. Evt. snødybde ble ikke registrert på feltet, men det antas at mesteparten av snøen smeltet relativt raskt, og at evt. teledybde som regel var liten.

Tabell 6. Månedssummer for nedbør (mm) på Særheim i perioden 1992-97*Table 6. Monthly sums of precipitation (mm) at Særheim over the period 1992-97*

	jan.	feb.	mars	april	mai	juni	juli	aug.	sept.	okt.	nov.	des.	Middel
1992	126	123	208	74	83	35	114	178	185	73	295	177	1671
1993	183	87	55	31	30	26	84	104	34	97	31	189	951
1994	122	40	168	91	57	120	39	155	121	101	64	200	1278
1995	224	154	129	62	48	52	85	34	163	213	103	64	1331
1996	7	68	17	57	71	90	46	116	64	251	174	89	1050
1997	67	218	69	49	65	45	95	178	169	148	81	93	1277
¹	93	59	78	52	59	72	95	108	154	155	143	120	1189
²	92	66	75	50	68	73	91	115	156	148	136	110	1180
³	102	65	85	55	57	70	90	109	149	152	145	123	1202

¹ Middel Særheim 1965-90² Normal Sola 1961-90³ Middel Særheim 1965-96**Tabell 7. Månedsmidler for lufttemperatur (°C) på Særheim i perioden 1992-97***Table 7. Mean monthly air temperatures (°C) at Særheim over the period 1992-97*

	jan.	feb.	mars	april	mai	juni	juli	aug.	sept.	okt.	nov.	des.	Middel
1992	4,1	3,6	3,8	5,1	11,8	15,2	13,6	13,4	12,3	6,0	4,8	3,7	8,1
1993	2,9	2,7	2,9	7,6	11,4	10,5	11,4	12,4	10,6	7,0	3,1	1,2	7,0
1994	2,2	-1,9	2,1	6,4	9,5	10,3	16,2	14,3	11,1	7,1	6,5	4,4	7,4
1995	1,4	2,4	2,3	4,9	8,2	12,1	14,5	14,4	12,2	10,2	4,5	-0,9	7,2
1996	0,6	-1,0	1,3	6,0	7,1	10,6	11,9	16,7	11,6	9,5	2,9	0,0	6,4
1997	1,3	3,1	3,4	4,6	8,5	13,6	16,3	18,1	11,6	7,0	4,7	3,2	8,0
¹	0,5	0,4	2,4	5,1	9,5	12,5	13,9	14,1	11,5	8,6	4,4	2,0	7,1

¹ Normal Særheim 1961-90

Resultater

Avling og opptak av næringsstoffer

Totale tørrstoffavlinger og opptak av næringsstoffer for hvert år er gitt leddvis i tabeller 8 og 9. Variansanalyser for variabler i dette og senere avsnitt er utført med år som «split-plot» faktor.

I etableringsåret var avlingen under halvparten så stor som i de andre årene, og forskjellen mellom leddene var liten. I de andre årene var det alltid mindre avling på ledd 4 (husdyrgjødsel+handelsgjødsel på sandjord) enn på ledd 1 og 3 (bare handelsgjødsel eller husdyrgjødsel+handelsgjødsel på morenejord). Forskjellen var 18% i middel av de fire engårene med ulik gjødsling (1993-96).

Bruk av husdyrgjødsel alene (ledd 2) gav en stor avlingsvikt (24%) i 1993, og en mindre nedgang i 1996 (7% sammenlignet med handelsgjødsel). I de andre årene gav det samme avling som bruk av handelsgjødsel.

I ettervirkningsåret var avlingsnivået høyt, til tross for den relativt lave N-gjødselmenden som ble brukt. Samme tendens til lavere avling på sandjord enn på morenejord var tilstede.

Tabell 8. Totale tørrstoffavlinger (kg/daa) av gras (+dekkvekst i 1992) dyrket på lysimeteret i årene 1992-97 med ulike gjødslingsmåter

Table 8. Total dry matter yields (kg/decare) of herbage (+nurse crop in 1992) grown on the lysimeter plots in the years 1992-97 with various fertilizer treatments

		Ledd 1	Ledd 2	Ledd 3	Ledd 4	middelfeil
		<i>Trt. 1</i>	<i>Trt. 2</i>	<i>Trt. 3</i>	<i>Trt. 4</i>	<i>s.e.</i>
Etableringsår	1992	450	439	485	482	55 i.s.
1. engår	1993	1009	770	1015	760	23 **
2. engår	1994	1156	1130	1170	935	58 i.s.
3. engår	1995	1612	1614	1647	1293	35 *
4. engår	1996	1071	993	1039	1004	49 i.s.
Ettervirkningsår	1997	1134	1184	1123	970	41 i.s.
Middel engår	1993-96	1212	1127	1218	998	40 *
Middel alle år	1992-97	1072	1022	1079	907	27 *

Tabell 9. Totale opptak av nitrogen, fosfor og kalium i graset (kg/daa) i årene 1992-97

Table 9. Total uptakes of N, P and K in herbage (kg/decare) in the years 1992-97

		Ledd 1	Ledd 2	Ledd 3	Ledd 4	middelfeil
		<i>Trt. 1</i>	<i>Trt. 2</i>	<i>Trt. 3</i>	<i>Trt. 4</i>	<i>s.e.</i>
NITROGEN						
Etableringsår	1992	12,63	11,09	11,65	11,62	2,30 i.s.
1. engår	1993	23,43	17,13	23,23	20,34	1,45 i.s.
2. engår	1994	28,02	25,15	27,65	24,21	1,00 i.s.
3. engår	1995	33,03	38,40	38,61	32,10	0,80 i.s.
4. engår	1996	26,59	22,99	24,10	23,06	1,91 i.s.
Ettervirkningsår	1997	19,71	20,44	19,24	19,90	1,47 i.s.
Middel alle år	1992-97	23,90	22,53	24,08	21,87	0,53 i.s.
FOSFOR						
Etableringsår	1992	1,45	1,34	1,35	0,98	0,21 i.s.
1. engår	1993	2,76	1,87	2,54	2,15	0,07 **
2. engår	1994	3,08	2,79	2,87	2,63	0,15 i.s.
3. engår	1995	4,23	4,47	4,39	3,53	0,16 +
4. engår	1996	3,70	3,32	3,31	3,12	0,21 i.s.
Ettervirkningsår	1997	2,96	3,18	2,99	2,54	0,11 +
Middel alle år	1992-97	3,03	2,83	2,91	2,49	0,06 *
KALIUM						
Etableringsår	1992	11,32	11,77	10,06	8,48	1,38 i.s.
1. engår	1993	29,37	17,34	24,20	19,31	2,31 +
2. engår	1994	26,37	24,76	25,75	20,93	0,85 +
3. engår	1995	44,63	46,90	45,93	39,15	1,22 +
4. engår	1996	31,46	30,21	31,00	27,04	1,91 i.s.
Ettervirkningsår	1997	26,43	28,26	27,23	23,55	1,03 i.s.
Middel alle år	1992-97	28,26	26,54	27,36	23,08	0,50 *

Nitrogenopptaket i plantene var mindre på alle ledd enn det som ble tilført med gjødsel i etableringsåret, men det var større enn tilførselen i alle engårene og i ettervirkningsåret. I middel av alle årene var det ca. 1,6 kg/daa mindre opptak på ledd 4 (sandjord) enn på de andre leddene, men denne forskjellen var ikke signifikant. Opptaket på ledd 2 (husdyrgjødsel alene) var lavt i 1993, trolig som følge av den lave N-konsentrasjonen i gjødsla det året.

Opptakene av fosfor og kalium var også større enn tilførselen i en rekke tilfeller, særlig i 1995. For begge disse stoffene var det signifikant ($p < 0.05$) mindre opptak på ledd 4 enn på de øvrige leddene (hhv. 0,4 kg P/daa og 3,8 kg K/daa). Dette henger trolig sammen med den lavere tilveksten på dette leddet.

Vannavløp til lysimetergrøftene

Vannavløpet varierte fra ca. 600 mm i de relativt tørre årene 1993 og 1996 til nesten 1400 mm i det svært fuktige året 1992. På årsbasis utgjorde avløpet 60-80% av totalnedbøren (andelen var som ventet størst i våte år og minst i tørre år). I vintermånedene (november til mars) var avløpet nesten 100% av nedbøren, med unntak av januar (94%), trolig pga. delvis snødekke. Det var lite avløpet i juni-juli, og relativt mer avløp om høsten enn om våren.

Vannbalansen viser en aktuell fordamping på årsbasis på ca. 400 mm. Den var minst (ca. 300 mm) i etableringsåret (1992), da feltet hadde bare delvis plantedekke en lang periode.

Den største variasjonen mellom forsøksleddene var i middel ca. 50 mm (6% av avløpet), men ingen av forskjellene var statistisk signifikant. Avløpet i middel av de seks rutene med morenejord var 884 mm, sammenlignet med 872 fra de to rutene med sandjord.

Tabell 10. Vannavløp til grøftene i lysimeteret sammenlignet med nedbøren (mm)

Table 10. Runoff water in drainage in the lysimeter compared with precipitation (mm)

	Ledd 1	Ledd 2	Ledd 3	Ledd 4	Middel	Nedbør	Prosent
	<i>Trt. 1</i>	<i>Trt. 2</i>	<i>Trt. 3</i>	<i>Trt. 4</i>	<i>Mean</i>	<i>Rainfall</i>	<i>Percent</i>
1992	1348	1419	1396	1381	1375	1671	82
1993	564	603	591	572	576	951	61
1994	849	881	867	852	856	1278	67
1995	868	943	903	913	895	1331	67
1996	629	676	669	655	651	1050	62
1997	873	930	905	865	881	1277	69
jan.	112	120	121	110	114	122	94
feb.	113	121	117	113	115	115	100
mars	104	115	108	103	105	108	98
april	42	44	44	40	42	61	69
mai	24	26	25	28	26	59	43
juni	10	12	11	14	12	61	19
juli	0	0	0	2	<1	77	<1
aug.	19	21	20	27	22	128	17
sept.	70	73	73	76	73	123	59
okt.	106	111	109	105	107	147	73
nov.	125	131	128	126	126	125	101
des	129	134	132	129	130	135	96
Middel	855	909	889	873	872	1260	69

Konsentrasjon og tap av næringsemner i grøftevann

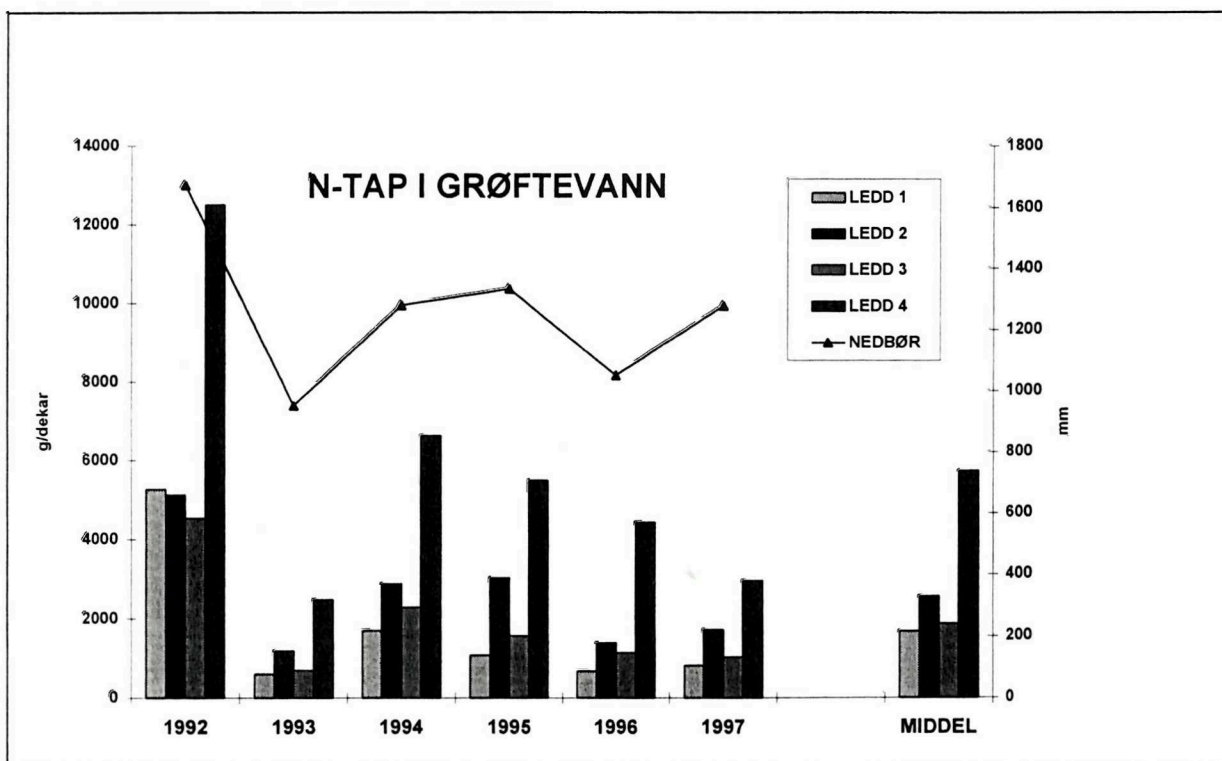
Middelverdiene for disse variablene på årsbasis er gitt i tabell 11. Figur 4-7 viser variasjonene mellom år og figur 8 viser den månedlige variasjonen i N-tapet. Siden det ble funnet at lysimeteret fungerte tilfredsstillende, ble tapene beregnet med avløpet målt fra hver enkeltrute.

Variansanalysene viste signifikante utslag mellom ledd for konsentrasjoner og stofftap av samtlige næringsemner, med unntak av kaliumtapet. I de fleste tilfeller var det samspill mellom ledd og år. Det var store svingninger i stofftapene mellom år, som følge av avløpsvariasjonen.

Tabell 11. Konsentrasjoner og tap av næringsemner i lysimetrets grøftevann, 1992- 97
Table 11. Concentrations and losses of nutrients in the lysimeter drainage water, 1992- 97

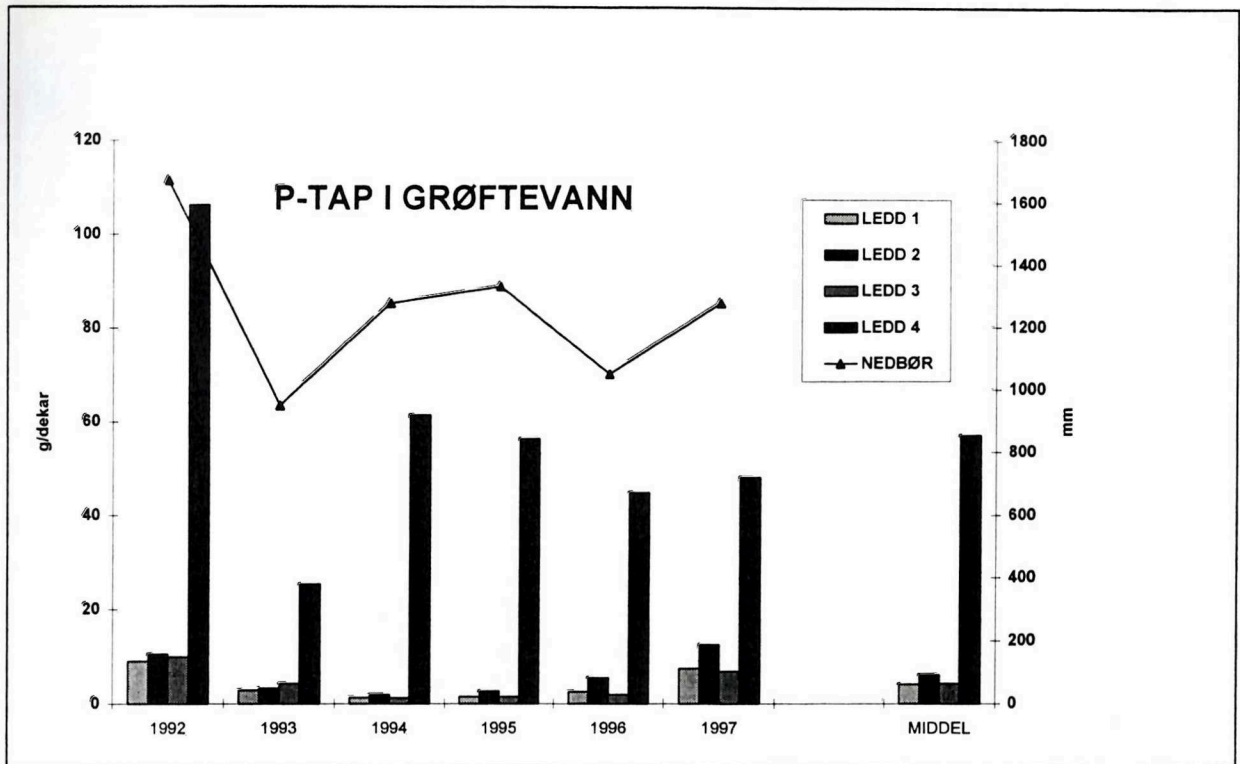
	Ledd 1	Ledd 2	Ledd 3	Ledd 4	P middelfeil
	Trt. 1	Trt. 2	Trt. 3	Trt. 4	P-level s.e.
Konsentrasjon					
Total-N ($\mu\text{g/l}$)	1451	2044	1650	6032	<0,002 329
Total-P ($\mu\text{g/l}$)	6,34	5,83	4,58	55,57	<0,003 3,96
Total-K ($\mu\text{g/l}$)	1589	1483	1438	1935	i.s. (301)
Sulfat ¹ (mg/l)	17,94	4,08	8,04	12,35	<0,001 0,18
Stofftap					
Nitrogen (g/daa)	1689	2552	1873	5748	<0,012 520
Fosfor (g/daa)	4,10	6,04	4,26	56,98	<0,001 2,49
Kalium (g/daa)	1635	1630	1545	2007	i.s. (357)
Svovel ¹ (g/daa)	5843	1448	2755	4260	<0,001 196

¹Middel av 1994-'97

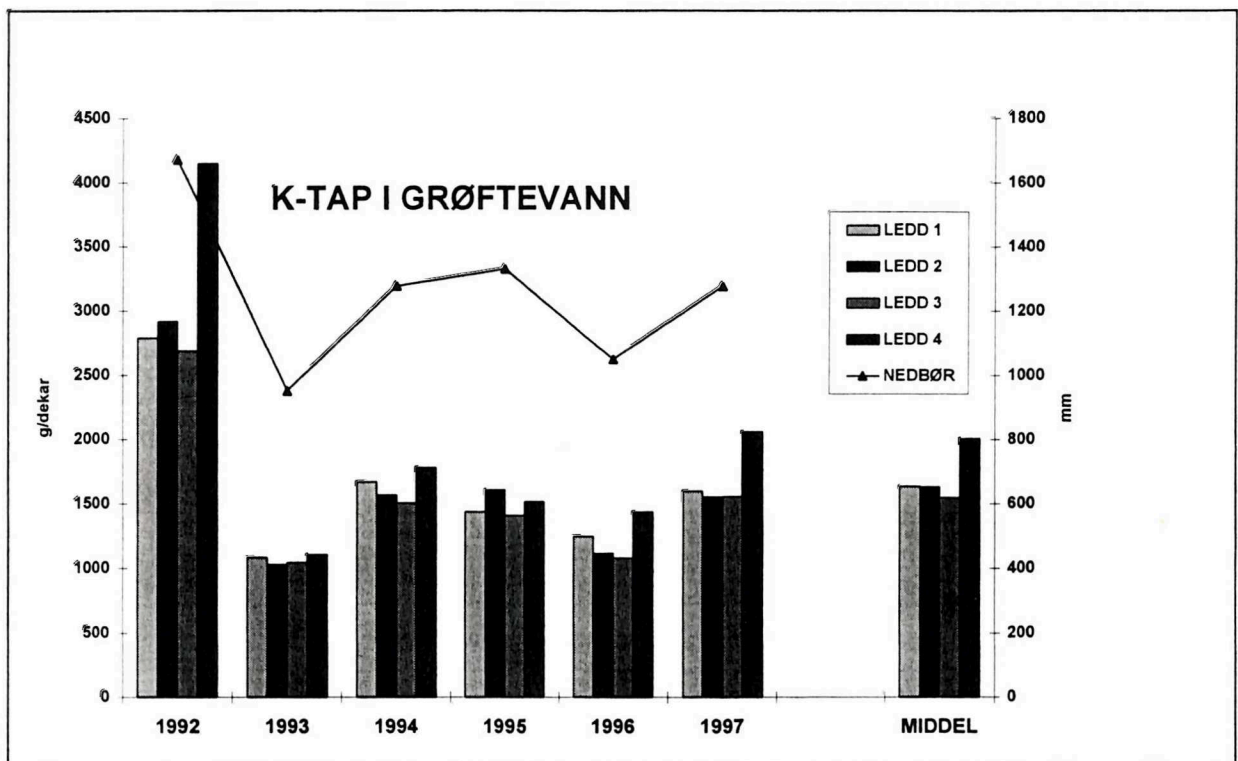


Figur 4. Årlig tap av nitrogen i grøftene på lysimetret sett i forhold til nedbøren

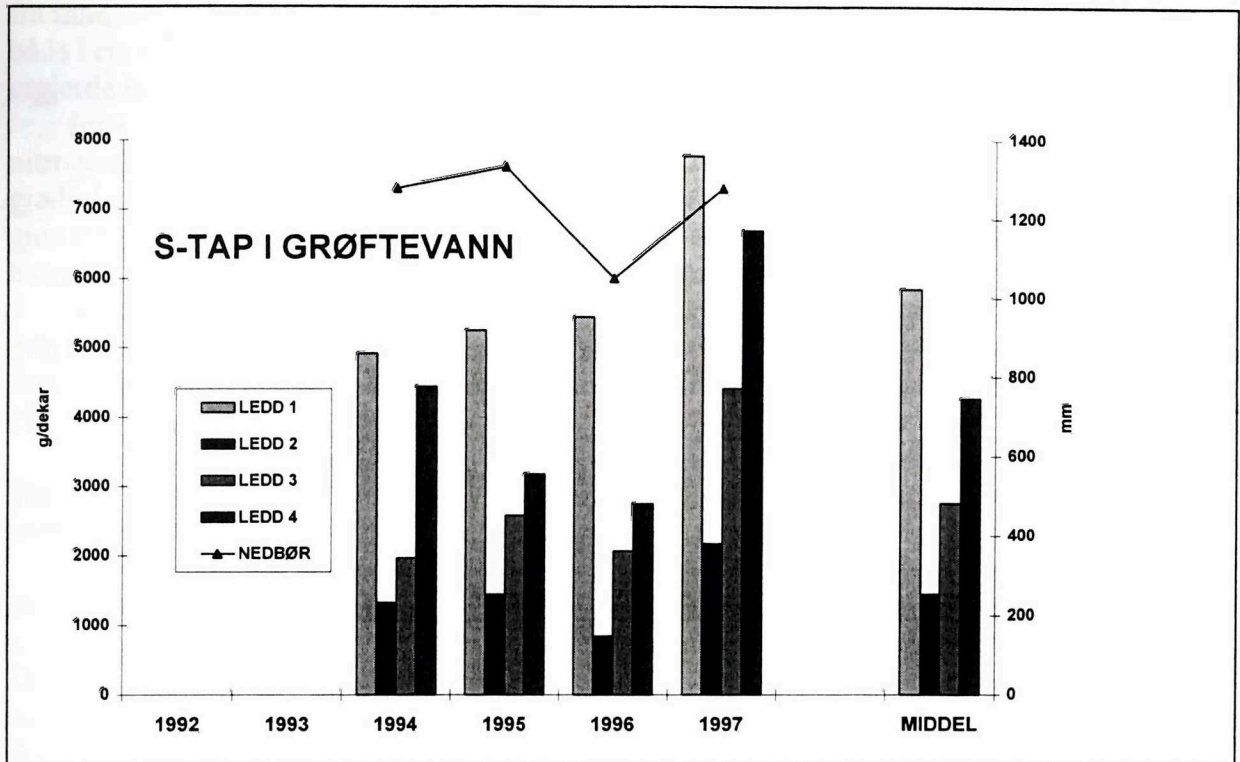
Figure 4. Annual losses of nitrogen in lysimeter drainage water in relation to precipitation



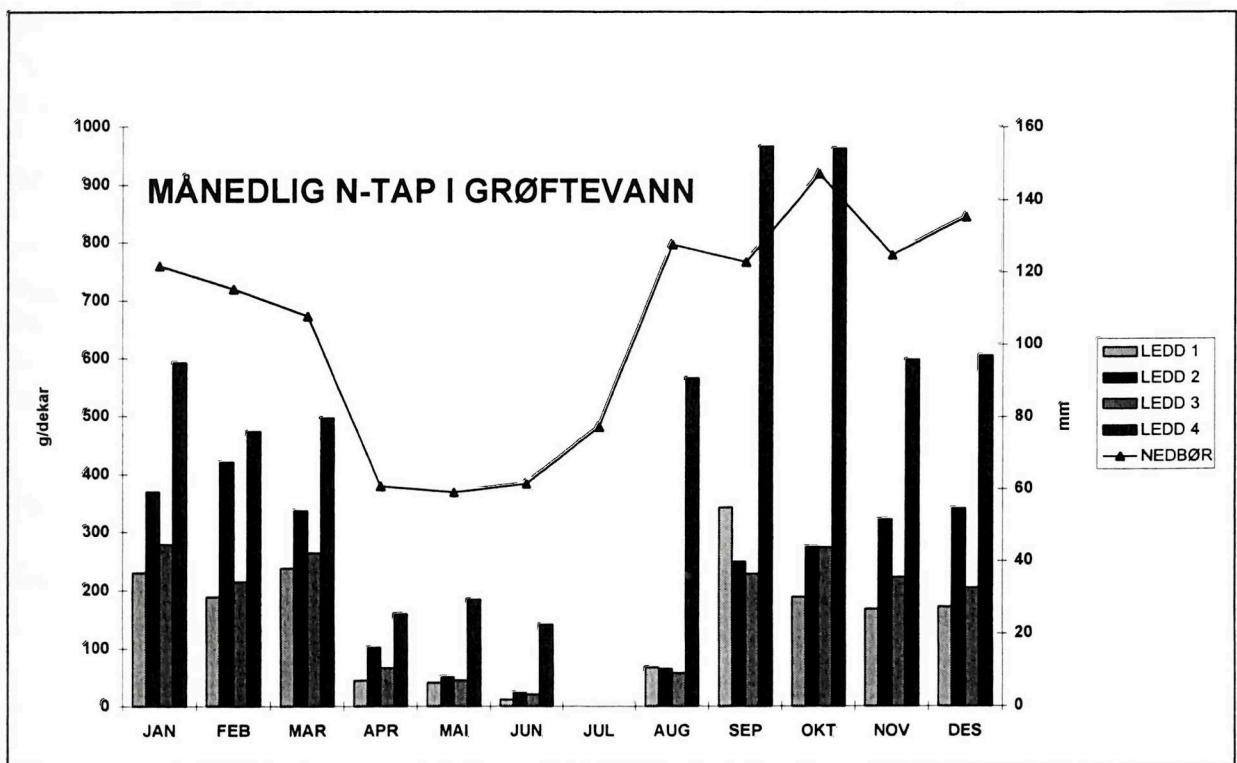
Figur 5. Årlig tap av fosfor i grøftene på lysimetret sett i forhold til nedbøren
Figur 5. Annual losses of phosphorus in lysimeter drainage water in relation to precipitation



Figur 6. Årlig tap av kalium i grøftene på lysimetret sett i forhold til nedbøren
Figur 6. Annual losses of potassium in lysimeter drainage water in relation to precipitation



Figur 7. Årlig tap av svovel i grøftene på lysimetret sett i forhold til nedbøren
Figur 7. Annual losses of sulphur in lysimeter drainage water in relation to precipitation



Figur 8. Månedlig tap av nitrogen i grøftene på lysimetret sett i forhold til nedbøren
Figur 8. Monthly losses of nitrogen in lysimeter drainage water in relation to precipitation

Konsentrasjonene og tapene av både nitrogen og fosfor var langt høyere i avløpsvannet fra sandjord (ledd 4) enn fra morenejord (ledd 1-3), uansett gjødslingsmåte. Dette var tilfellet både i etableringsåret, i engårene 1993-96 og i ettervirkningsåret 1997. Forskjellene i tap utgjorde henholdsvis 3,7 kg N/daa og 52 g P/daa.

Innenfor leddene på morenejord var det, i alle år unntatt 1992, en tendens til høyere nitrogenavrenning ved bruk av bare husdyrgjødsel (ledd 3) enn når det ble brukt bare handelsgjødsel eller husdyrgjødsel om våren og handelsgjødsel etter første slått. Forskjellen utgjorde i gjennomsnitt 0,8 kg N/daa. Forskjellen var ikke statistisk signifikant på årsbasis. På månedsbasis var den tydeligst i vintermånedene, noe som tyder på frigjøring utenom vekstsesongen.

Mesteparten av næringstapene skjedde som ventet om høsten, men det var også betydelige tap om vinteren og om våren før gjødsling. Tap like etter gjødslingstidspunktet forekom, særlig fra sandjord, men disse var relativt beskjedne. Tapet av nitrogen om høsten kom tidlig ved bruk av handelsgjødsel og noe senere ved bruk av husdyrgjødsel.

Hverken jordart eller gjødslingsmåten hadde statistisk signifikant betydning for tapet av kalium, men det var en tendens til større konsentrasjon og tap i avløpet fra sandjord enn fra morenejord, særlig de første og siste årene. Forskjellen utgjorde i middel bare 0,4 kg K/daa.

Svoveltapene fra morenejord stod i forhold til mengden av handelsgjødsel som ble brukt, med størst tap på ledd 1 (bare handelsgjødsel) etterfulgt av ledd 3 (handelsgjødsel etter 1. slått). Tapene utgjorde en stor del av svovelmengden som var blitt tilført med superfosfat i 1994-96, og var større enn mengden tilført med fullgjødsel i 1997. Tapene var minst ved bruk av husdyrgjødsel, men nøyaktige beregninger er ikke mulig, da S-innholdet i husdyrgjødsel ikke ble målt. Tapet fra sandjord (ledd 4) var i alle år betydelig høyere enn tapet fra morenejord med samme gjødslingsmåte (ledd 3).

Måling av nitrogen i jordvæsken med sugekopper

Det ble tatt vannprøver fra begge sugekopper på hver rute med ca. 2-3 ukers intervall fra midten av juni 1992 til midten av august 1994, med unntak av perioden desember 1993 til februar 1994. Lave temperaturer forhindret prøveuttak i denne perioden, selv om grøftene fortsatte å renne. Dette viser en viktig begrensning ved bruk av sugekoppmetoden under norske forhold, da betydelige avrenningstap kan skje i slike perioder.

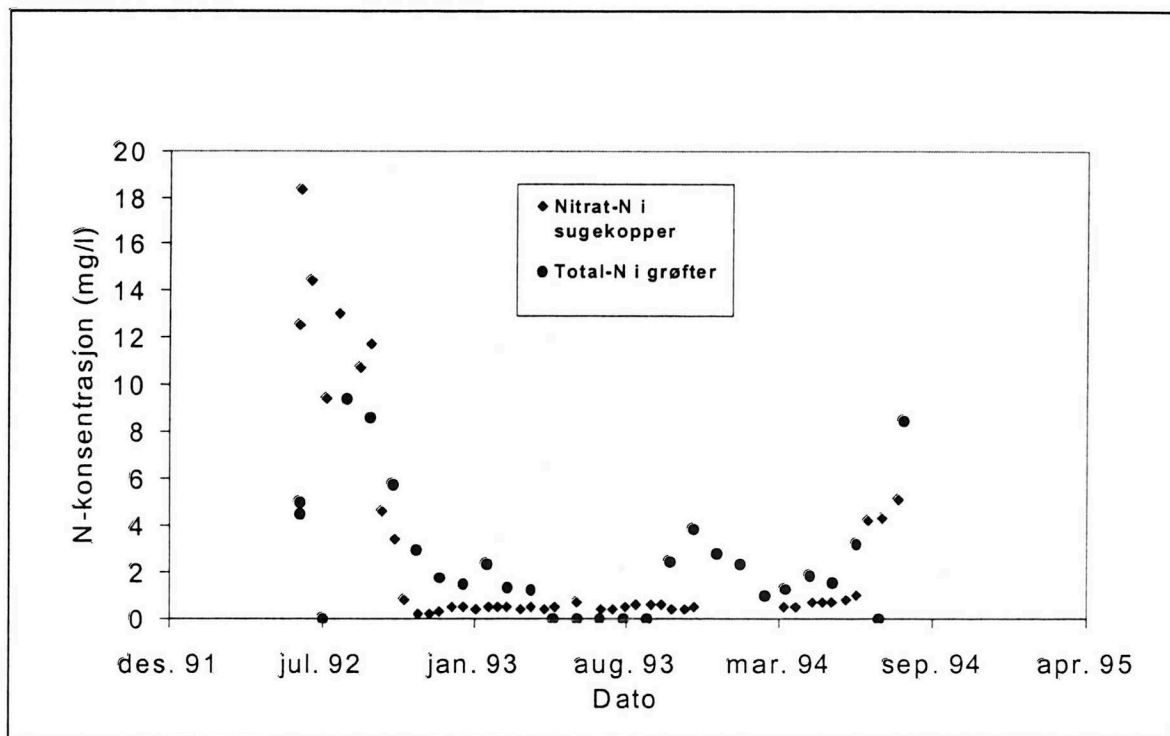
Antall prøveuttak var tolv i 1992, tjue i 1993 og ti i 1994. Middelverdier over år for de enkelte rutene og forsøksleddene er vist i tabell 12. Variansanalyser viste at det var statistisk signifikant ($p < 0,01$) forskjell mellom rutene på sandjord og rutene på morenejord i alle tre årene. Nivået var høyt i 1994, som var året med størst avrenningstap, og lavt i 1993, da avrenningstapet var lite. I ingen av årene var det signifikant forskjell mellom leddene på morenejord. Det var relativt stor variasjon mellom ruteparene med samme gjødsling.

Tabell 12. Årlige middelkonsentrasjoner av nitrat-N (mg/l) i vannprøver fra sugekopper plassert i 60-65 cm dybde på ruter med ulik gjødsling (2 sugekopper pr. rute)

Table 12. Mean annual concentrations of nitrate-N (mg/l) in water drawn from suction cups placed at 60-65 cm depth in plots with different fertilizer treatment (2 cups per plot)

	Ledd 1 Trt. 1		Ledd 2 Trt. 2		Ledd 3 Trt. 3		Ledd 4 Trt. 4		m.feil s.e.
	Rute 4	Rute 7	Rute 2	Rute 6	Rute 3	Rute 5	Rute 1	Rute 8	
1992	6,0	4,1	4,9	2,2	5,6	3,3	16,5	15,4	1,7
1993	0,3	0,2	0,3	0,1	0,5	0,2	1,7	0,5	0,2
1994	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,6	3,7	7,4	1,0

For at målinger av nitrat-N konsentrasjoner i sugekopper eventuelt kan brukes til beregning av utvasking, bør de være i overenstemmelse med konsentrasjonene av nitrogen som finnes i grøftevann. I dette tilfellet representerer analysene av dreinsvann månedsverdier, mens konsentrasjonene i sugekoppene er å betrakte som stikkprøver over kortere tidsrom. I figur 9 er det plottet konsentrasjonene av nitrat-N i sugekopper og total-N i dreinsvann, midlet over alle forsøksledd, for hele perioden da prøver ble tatt fra sugekopper. Andelen av nitrat-N i grøftevannet varierte fra 40-100% av den totale N-mengden, men var som regel 80-90%.



Figur 9. Plotting over tid av nitrogenkonsentrasjon i sugekopper og grøftevann

Fig. 9. Plot of nitrogen concentration in suction cups and drainage water over time

Den første sommeren var det betydelig høyere verdier av nitrat-N i sugekoppene enn av total-N i grøftene. Dette forholdet snudde seg den første vinteren. Sommeren 1993 var meget tørr, uten avrenning fra mai til september. Konsentrasjonen av nitrat-N i sugekoppene holdt seg på et stabilt lavt nivå hele sommeren, og den steg ikke om høsten når konsentrasjonen i grøftevannet steg. Prøvetakingsoppholdet påfølgende vinter (på grunn av kulde) gjorde at man gikk glipp av en viktig avrenningsperiode. Sommeren 1994 var nitrat-N konsentrasjonen lavere enn total-N konsentrasjonen i grøftene, men begge steg omtrent samtidig om høsten.

En regresjonsberegning mellom total-N i grøft (y) og nitrat-N i sugekopper (x), med bruk av de 12 middelverdier for år x ledd (ligning $y = 0,87 + 0,63x$, $r^2=0,92$), viste at innholdet av nitrogen var høyere i grøftevannet enn i sugekoppene ved lave konsentrasjoner, og omvendt ved høye konsentrasjoner. Siden overenstemmelsen i nivå ikke var særlig god, og siden det dessuten var en periode uten sugekoppmålinger, ble det ikke utført noen beregninger av utvaskingsmengder ved hjelp av sugekoppmetoden.

Konklusjonen fra denne undersøkelsen var at sugekoppmetoden ikke ga særlig lovende utsikter til bruk under norske forhold.

Drøfting og konklusjon

En grov sammenligning av tapene rapportert her fra morenejordsrutene med verdier funnet i noen andre norske lysimeterundersøkelser er gitt i tabell 13. Nitrogentapene var av samme størrelsesorden som tapene fra leirjord og morenejord på Østlandet, men større enn tapene rapportert fra leirjord i Trøndelag. Tapene av de andre næringsstoffene var også omtrent på samme nivå som ellers. Tapene fra sandjordsrutene, derimot, var betydelig høyere enn det som er funnet andre steder, spesielt når det gjelder N og K. Årsaken til dette ligger hovedsakelig i jordartens lave vannlagringsevne, sammen med den høye nedbøren i distriktet. Dessuten kan det relativt høye moldinnholdet i matjordlaget på denne jordarten ha vært en medvirkende årsak til høyere nitrogentap fra sandjord enn fra morenejord.

Tabell 13. Nivået av utvaskingstap funnet i noen norske lysimeterundersøkelser (kg/daa)
Table 13. Levels of leaching losses found in some Norwegian lysimeter studies (kg/decare)

Sted	Jordart	Tidsrom	N	P	K	S	Kilde
Ås	Leirjord	1974-81	2-6	<0,01	0,6-1,2	2-4	Uhlen 1989
Kvithamar	Leirjord	1991-94	0,6-1,2	<0,2	1,5	3-4	Oskarsen et al. 1996
Apelsvoll	Lettleire	1990-97	1,6-3,3	0,01	<0,5	1-2	Eltun et al. 1998

Balansen mellom tilført og bortført næring i løpet av hele måleperioden (1992-97) var negativ på alle forsøksledd for nitrogen og kalium, mens den gikk i begge retninger for fosfor (tabell 14). For fosfor og kalium var det ingen sammenheng mellom balansen og utvasking, mens det for nitrogen var en nesten lineær sammenheng, med mindre utvasking ved økende underskudd. Det var tegn til utflating ved underskudd >5 kg N/daa, omtrent i samsvar med beregningene til Korsæth og Eltun (1997). En multipell regresjon mellom nitrogenutvasking og både årsnedbøren og næringsstoffbalansen på leddbasis viste signifikant positive bidrag av begge variabler ($r^2=0,52$), men ligningen ble likevel ikke funnet god nok til praktisk bruk.

Tabell 14. Den årlige balansen mellom tilførte og bortførte mengder næringsstoffer (middel av 1992-97), sammenlignet med de gjennomsnittlige utvaskingstapene
Table 14. The annual balances between amounts of nutrients applied and removed in crops (mean 1992-97), compared with the average leaching losses (all figures are kg/decare)

		Ledd 1 Trt. 1	Ledd 1 Trt. 1	Ledd 1 Trt. 1	Ledd 1 Trt. 1
N	Balanse Balance	-5,97	-4,36	-5,11	-2,45
	Utv.tap Leaching	1,69	2,55	1,87	5,75
P	Balanse Balance	+6,95	-0,61	-0,17	+0,25
	Utv.tap Leaching	0,004	0,006	0,004	0,057
K	Balanse Balance	-10,8	-11,0	-8,6	-4,4
	Utv.tap Leaching	1,63	1,63	1,54	2,01

Resultatene av denne undersøkelsen viser klart at jordarten er en faktor som har stor innflytelse på både avlingsmengde og utvaskingsrisiko. Det er ikke mulig å si med sikkerhet om det er redusert avling som fører til økt utvasking eller omvendt. Uansett vil valg av en annen fordeling av gjødsel enn den som er brukt her trolig forbedre situasjonen. Et spørsmål som fortjener større oppmerksomhet gjelder hvorvidt langsiktig bruk av handelsgjødsel og husdyrgjødsel påvirker jordas nettofrigjøring av nitrogen, både i og utenfor vekstsesongen.

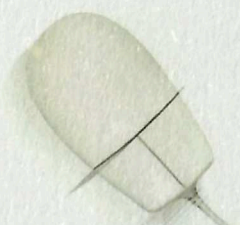
Litteraturhenvisninger

- Eltun, R. 1994. The Apelsvoll Cropping System Experiment. I. Background, objectives and methods. *Norw. J. Agric. Sci.* 8: 301-315.
- Eltun, R., A. Korsæth & O. Nordheim 1998. Avlingsutvikling og nitrogenavrenning i den første åtteårige omløpsperioden i dyrkingssystemprosjektet på Apelvoll. I «Jord- og plantekultur 1998» red. U. Abrahamsen, *Grønn forskning* 1: 201-211, Landbruksforlaget.
- Korsæth, A., & R. Eltun, 1997. Nitrogenregnskapet i dyrkingssystemprosjektet på Apelsvoll, 1992-1996. I «Jord- og plantekultur 1997» red. U. Abrahamsen, *Grønn forskning* 4: 210-219, Landbruksforlaget.
- Lunnan, T. 1996. Gjødselplanlegging - nye normtall for grovfôrvekstar og ny vurdering av gjødselverdien i husdyrgjødsel. *Info.møte i jord- og plantekultur. Faginfo nr.1*: 30-36.
- Myhr, K., H. Oskarsen, & T.K. Haraldsen, 1996. The Kvithamar field lysimeter I. Objectives, methods and results of soil analyses. *Norw. J. Agric. Sci.* 10: 197-210.
- Oskarsen, H., T.K. Haraldsen, A.H. Aastveit & K. Myhr 1996. The Kvithamar field lysimeter II. Pipe drainage, surface runoff and nutrient leaching. *Norw. J. Agric. Sci.* 10: 221-228.
- Uhlen, G., 1989. Nutrient leaching and surface runoff in field lysimeters on a cultivated soil. *Nutrient balances 1974-81. Norw. J. Agric. Sci.* 3: 33-46.
- Øyen, J. 1993. Avrenning frå lysimeterruter. *Bondevennen* 1993 (2): 12-13.
- Øyen, J. og P.O. Westbye 1994. Avrenning i Timebekken: Interessant langtidstendens. *Bondevennen* 1994 (45): 11.

<http://www.planteforsk.no>

På nett med grønn forskning

- Kunnskapssøk
- Varslingstjeneste
- Prognosetjeneste
- Nyheter
- Info om Planteforsk



Norsk institutt for planteforskning
The Norwegian Crop Research Institute