

Sædskiftets og vandforsyningens indflydelse på næringsstofudvaskning og -balance

The effect of crop rotation and water supply on nutrient leaching and balance

KAREN SØEGAARD

Resumé

I fire forskellige sædskifter med og uden vanding blev næringsstofudvaskning og -balance bestemt i perioden 1981–1986. Forsøgene blev udført i et lysimeteranlæg med grovsandet jord (JB 1) ved normalt gødningsniveau.

Sædskiftet havde stor indvirkning på nitratudvaskningen, idet denne blev formindsket med en stigende procentdel afgrøder med lang vækstperiode. Nitratudvaskningen blev reduceret med 60 pct. ved at ændre sædskiftet fra monokultur af vårbyg til et 4-årigt sædskifte udelukkende med afgrøder med lang vækstperiode. Dette skyldes hovedsaglig en reduktion i nitratkoncentrationen i afstrømningsvandet, men afstrømningsmængden blev også formindsket.

Årsvariationen i nitratudvaskningen var stor, både hvad angår mængde og fordeling over året. Generelt var udvaskningen størst i vårbyg med den korteste vækstperiode og mindst i afgrøder med lang vækstperiode, som græs, kløvergræs,

roer og vårbyg med udlæg.

Sædskifteeffekten var både en effekt af den enkelte afgrøde det år den dyrkedes og en effekt de efterfølgende år. Dette blev vist i græs og kartofler, hvor nitratudvaskningen reduceredes i forhold til monokultur af vårbyg både i dyrkningsåret og i det efterfølgende år med vårbyg.

N-balancen var negativ ved de ensidige sædskifter og positiv ved mere varieret sædskifte, hvilket antyder hhv. formindskning og forøgelse af jordens organiske N-pulje.

Vandingseffekten var sædskifteafhængig, idet vanding forøgede nitratudvaskningen ved monokultur af vårbyg og reducerede den ved mere varieret sædskifte. Vanding forøgede udvaskningen i sommerhalvåret og formindskede den i vinterhalvåret. Effekten af vanding var betydelig mindre end effekten af sædskiftet.

Sædskifte og vanding havde ringe indvirkning på udvaskningen af P, K og Mg.

Nøgleord: Sædskifte, vanding, lysimeter, udvaskning, N-balance.

Summary

Nutrient leaching and nutrient balance were determined in four different rotations with and without irrigation, over the period 1981–1986. The experiment was carried out in lysimeters with coarse sandy soil.

Crop rotation had a strong effect on nitrate leaching, as leaching was reduced by increasing the number of crops with a long growth period. Nitrate leaching was reduced by 60 p.c. by changing

the rotation from only spring barley to a 4-year rotation exclusively with crops having a long growth period. This was mainly caused by a reduction in the nitrate concentration in the percolation water, but percolation was also reduced.

The N-balance was negative with the simple rotations and positive with the varied rotations, which indicates a decrease and an increase respectively in the amount of organic-N in the soil.

There was a great variation in the nitrate leaching between year, concerning both the total amount and distribution during the year. The leaching was greatest with barley having the shortest growth period and least with crops having a long growth period, such as grass, clover/grass, beet and undersowed barley.

The effect of rotation influenced the crop both the growing year and the following year. This was measured in grass and potatoes, where the nitrate leaching, compared with rotation only with bar-

ley, was reduced both in the growing year and in the following year, where barley was grown.

The effect of irrigation depended on the rotation, as irrigation increased the nitrate leaching when only barley was grown and decreased it with a more varied rotation. The effect of irrigation was considerably smaller than the effect of rotation.

The rotation and irrigation had only a small influence on the leaching of P, K and Mg.

Key words: Crop rotation, irrigation, lysimeter, leaching, N-balance.

Indledning

Nitratudvaskningen er normalt større i sandjord end i lerjord (10) primært forårsaget af lille vandkapacitet, ringe roddybde og stor hydraulisk ledningsevne. Udvaskningen forekommer især i efterårsmånederne med stort nedbørsoverskud. Men i foråret efter gødningsudbringning, mens planternes vandforbrug er ringe, kan der også forekomme en del udvaskning på sandjord (7, 13, 15).

Udvaskningen er ligeledes afhængig af de enkelte afgrødetyper (9, 13), og i et sædskifte kan der muligvis yderligere være en effekt af forskellige eftervirkninger fra afgrøderne.

Vanding forøger normalt den høstede kvælstofmængde, hvorved der høstes en større del af den tilførte mængde. Dette behøver imidlertid ikke nødvendigvis at give informationer om udvaskningens størrelse, da vanding også påvirker kvælstofomsætningen i jorden.

For at undersøge hvordan sædskifte og vanding påvirker næringsstoffudvaskningen og næringsstofbalancen ved normalt gødningsniveau, blev der i 1981 startet et lysimeterforsøg med grovsandet jord.

Materiale og metoder

Sædskifter

1. Vårbyg.
2. Vårbyg, kartofler, vårbyg, vårbyg.
3. Vårbyg helsæd m. udlæg, græs, vårbyg, rug helsæd + vårbyg helsæd m. udlæg, græs, vårbyg.
4. Vårbyg m. udlæg, kløvergræs, kløvergræs, roer.

Hvert sædskifte blev gennemført med start to forskellige steder i afgrøderækkefølgen (A og B).

Gødning

Gødning blev udelukkende tilført som handelsgødning. Gødningen blev tilført vårbyg og kartofler ad én gang, roer ad to gange og græsmarksafgrøder til hvert slæt. Den årlige tilførsel af N, P og K er vist i tabel 1.

Tabel 1. Gødningsmængder, kg/ha pr. år.
Amounts of fertilizer, kg/ha per year.

	N	P	K
Vårbyg	110	30	72
Barley			
Vårbyg m. kløvergræsudlæg	110	38	112
Barley undersowed with clover/grass			
Vårbyg helsæd m. græsudlæg	261	77	185
Whole crop barley undersowed with grass			
Kartofler	125	48	252
Potatoes			
Roer	200	40	210
Beets			
1. års kløvergræs	150	65	345
1st year clover/grass			
2. års kløvergræs	250	65	345
2nd year clover/grass			
Græs	444	120	292
Grass			
Rug helsæd + vårbyg helsæd m. udlæg	263	52	166
Rye whole crop + barley wh. cr. undersowed			

Eftergødskning pga. kvælstofudvaskning blev foretaget med 40 kg N/ha i kartofler i 1981 og 40 kg N/ha i vårbyg i 1983. Desuden blev der gødet med 300 kg kieserit pr. ha hvert forår.

Vanding

v. Vanding ved 0,7 bar målt i 22 cm dybde (svaret til ca. 25 mm underskud)
uv. Uvandet.

Lysimeteranlægget består af firkantede kar med en overflade på 1 m² og en dybde på 1,6 m. For yderligere beskrivelse af anlægget henvises til Jensen (8). Karrene blev i februar 1981 fyldt med grovsandet jord (JB 1) med tilsvarende tæthed som det areal, hvorfra jorden blev udtaget. Lagdelingen var fra oven 30 cm overjord, 20 cm rød-gult sand, 100 cm rødt sand og 10 cm vasket grus til dræn. Resultater af jordanalyser fra nedlægningstidspunktet ses i tabel 2. På ydersiden af karrene, som er placeret i to rækker, blev der etableret værn med vårbyg.

Tabel 2. Jordanalyser. Februar 1981.
Soil analyses. February 1981.

Dybde cm <i>Depth cm</i>	Rt	Ft	Kt	Mgt	% C
0-30	6,3	7,3	4,1	2,1	1,65
30-50	5,5	2,8	1,0	0,6	0,75
50-150	5,4	2,4	3,4	1,2	0,31

Der var to kar pr. forsøgsbehandling. Nedbørsmængden blev målt ved jordoverfladen og var i gennemsnit 5 pct. lavere end ved måling i 2 m højde ca. 50 m fra forsøget. Afstrømningsmængden blev bestemt hver uge, og koncentrationen af næringsstoffer i afstrømningsvandet blev bestemt hver måned.

Ved opgørelsen er året opdelt i sommerhalvår (april-september) og vinterhalvår (oktober-marts). Gødskning blev altid foretaget efter 1. april, dvs. i sommerhalvåret. Ved resultatvisningen er standardenheden kg/ha anvendt.

Resultater

Klimaet varierede en del i de seks år (1981-1986) forsøget blev udført. Vandingsbehovet var stort i 1982, 1983 og 1986, hvor nedbørsmængden i en del af sommerperioden var ringe (fig. 1). Der-

imod var nedbørsmængden i 1985 stor i sommermånederne, og i 1983 var nedbørsmængden stor i forårsperioden (marts-maj). Tidsperioden for store mængder efterårsnedbør varierede en del mellem årene.

Nitratudvaskning

Vårbyg

I vårbyg som monokultur, sædskifte 1, varierede nitratudvaskningen meget, fra ca. 60 i 1986 til ca. 200 kg N/ha i 1983 (tabel 3). Udvasningen i sommerhalvåret (april-september) var generelt noget mindre end i vinterhalvåret og udgjorde, med undtagelse af 1983, i gennemsnit 24 pct. af udvasningen for hele året.

I 1983, hvor forårsnedbøren var meget stor (fig. 1), blev udvasningen ligeledes meget stor i vårbyg som monokultur (tabel 3). Afgrøden viste kraftig N-mangel, hvilket tyder på, at forårsnedbøren havde udvasket mineralsk-N fra rodzonen. Afstrømningen i april og maj var over 180 mm (fig. 1). Udvasningen blev imidlertid først registreret ved nedbørsoverskud i efteråret i september og oktober måned (fig. 2), hvor nitrat-N koncentrationen var ekstrem høj, i gns. hhv. 80 og 60 ppm.

I vårbyg efter hhv. kartofler (sædskifte 2B) og græs (sædskifte 3A) var nitratudvasningen betydelig mindre, og i de øvrige afgrøder synes udvasningen ikke forøget i 1983 i forhold til andre år (tabel 3).

I vårbyg med kløvergræsudlæg i sædskifte 4 blev udlægget kun gødet med P og K efter høst af dæksæd ved modenhed. Der blev taget et slæt i kløvergræs, med undtagelse af 1982, hvor der blev taget to slæt pga. tidlig høst af dæksæd. Udvasningen i vårbyg med udlæg var kun halvt så stor som i vårbyg som monokultur, sædskifte 1 (tabel 3 og 4). Denne forskel kan ikke udelukkende tillægges en effekt af udlægget, da sædskiftet også kan have betydning.

Den mindre udvasning i vårbyg med udlæg skyldtes både en mindre afstrømning pga. større vandforbrug og især en mindre nitratkoncentration i afstrømningsvandet (tabel 4). Dette er illustreret i fig. 3 for 1985 og 1986, hvor nedbørsmængden/afstrømningsmængden var hhv. stor og lille i sommermånederne. Det ses, at afstrømningen var nær ens fra november og fremefter, når udlæggets vandforbrug var minimeret. Til gengæld var nitratkoncentrationen størst ved vårbyg som monokultur i denne periode.

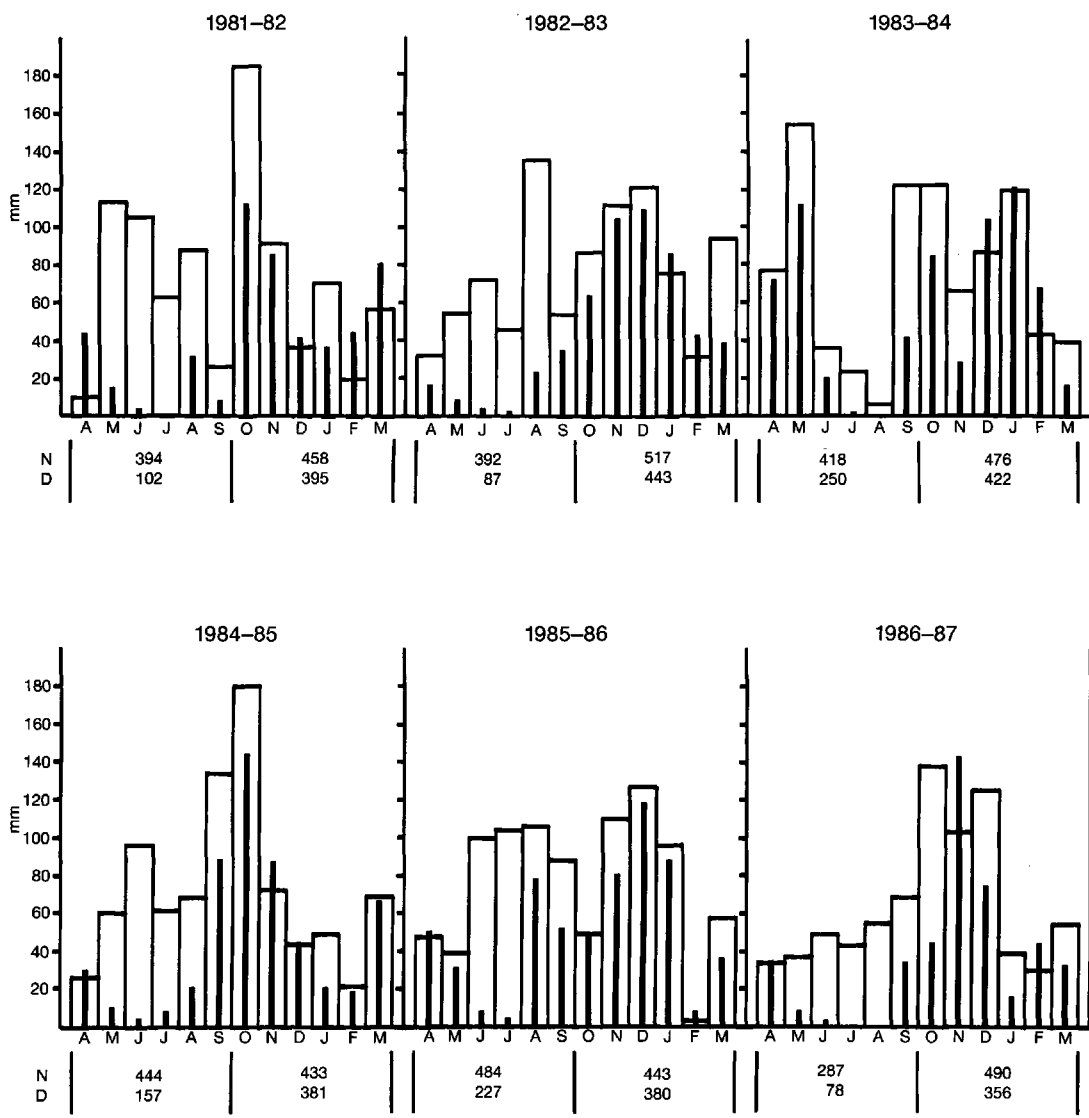


Fig. 1. Den månedlige nedbørsmængde (□) og afdræning fra uvandet vårbyg i sædskifte 1 (■).
 N: sommeret halvårlig nedbør (mm)
 D: sommeret halvårlig afdræning (mm)
Monthly sums of precipitation (□) and run-off for unrigated barley at rotation 1 (■).
N: half-year sum of precipitation (mm)
D: half-year sum of run-off (mm)

Tabel 3. N-høstet, nitratudvaskning og vandingsmængder. Et år går fra 1. april til 31. marts det følgende år.

N-harvested, nitrate leaching and irrigation. One year runs from 1 April to 31 March the following year.

Sæd- skifte <i>Rotation</i>	Afgrøde <i>Crop</i>	Høstet <i>Harvested</i>		Udvaskning <i>Leaching</i>		Vanding <i>Irrigat.</i>	Afgrøde <i>Crop</i>	Høstet <i>Harvested</i>		Udvaskning <i>Leaching</i>		Vanding <i>Irrigat.</i>
		kg N/ha		kg NO ₃ -N/ha				kg N/ha	kg NO ₃ -N/ha		mm	
		V	UV	V	UV	V		UV	V	UV	V	UV
<i>1981</i>												
1 A	Vårbyg	132,9	132,7	97,6	95,8	0	Vårbyg	90,4	64,1	95,2	95,2	90
B	Vårbyg	139,6	138,0	92,8	92,4	0	Vårbyg	92,8	66,6	97,4	93,6	90
2 A	Vårbyg	131,4	135,5	85,7	96,7	0	Vårbyg	89,4	62,7	85,3	94,0	90
B	Kartofler	200,4	199,9	61,4	72,3	30	Vårbyg	112,2	75,1	79,8	79,6	90
3 A	Vårbyg helsæd m. udlæg	243,9	239,8	47,4	48,1	10	Græs	325,8	312,0	33,7	45,5	165
B	Vårbyg	138,2	137,0	88,0	88,9	0	Rug hels. + vårbyg hels. m. udlæg	222,5	200,3	50,3	62,4	165
4 A	Vårbyg m. udl.	175,0	173,6	56,0	46,7	10	1. års kl. græs	449,5	296,0	37,1	16,4	180
B	Roer	207,1	194,9	63,9	66,2	90	Vårbyg m. udl.	446,0	371,1	28,7	28,5	210
<i>1983</i>												
1 A	Vårbyg	60,7	44,8	201,2	164,3	108	Vårbyg	74,3	72,5	70,4	60,9	0
B	Vårbyg	53,3	42,2	188,2	157,3	108	Vårbyg	71,2	71,6	73,8	63,1	0
2 A	Kartofler	169,7	142,4	54,9	65,9	276	Vårbyg	85,1	88,4	55,2	53,1	0
B	Vårbyg	88,5	79,0	127,2	117,0	108	Vårbyg	78,7	88,6	66,6	51,2	0
3 A	Vårbyg	87,2	63,5	121,1	120,0	108	Rug hels. + vårbyg hels. m. udlæg	224,9	223,9	18,8	12,9	82
B	Græs	323,3	314,3	8,1	48,9	319	Vårbyg	97,8	101,4	75,3	76,8	28
4 A	2. års kl. græs	394,0	273,3	27,9	56,1	319	Roer	221,2	213,8	28,9	24,0	78
B	1. års kl. græs	403,5	289,5	10,7	16,8	319	2. års kl. græs	235,4	222,8	8,2	6,4	62
<i>1985</i>												
1 A	Vårbyg	82,4	73,8	89,1	80,2	53	Vårbyg	96,3	79,4	61,3	62,9	125
B	Vårbyg	79,2	68,5	75,1	79,8	53	Vårbyg	94,4	71,8	63,8	62,1	125
2 A	Vårbyg	79,1	87,0	64,0	74,5	53	Vårbyg	87,3	77,1	73,1	61,8	125
B	Kartofler	164,5	147,6	55,9	64,8	0	Vårbyg	106,6	78,9	47,7	50,0	125
3 A	Græs	317,8	316,0	55,9	29,3	29	Vårbyg	129,1	107,4	50,3	78,0	125
B	Vårbyg helsæd m. udlæg	114,2	104,9	60,4	60,5	53	Græs	272,7	229,0	51,7	100,0	190
4 A	Vårbyg m. udl.	145,7	132,0	47,9	41,1	53	1. års kl. græs	228,7	122,3	37,4	84,9	190
B	Roer	219,2	191,4	45,3	40,7	52	Vårbyg m. udl.	114,3	108,4	28,8	41,0	125

V: vandet/irrigated UV: uvandet/unirrigated

Crops: Barley (vårbyg), barley undersowed (vårbyg m. udlæg), whole crop barley undersowed (vårbyg helsæd m. udlæg), potatoes (kartofler), beets (roer), clover/grass (kl. græs), grass (græs), rye whole crop + barley whole crop undersowed (rug helsæd + vårbyg helsæd m. udlæg).

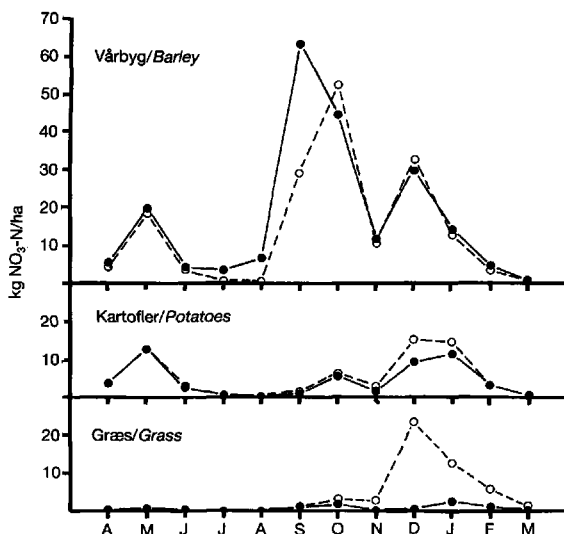


Fig. 2. Den månedlige nitratudvaskning i 1983 i vandet (●—●) og uvandet (○--○).

The monthly nitrate leaching in 1983 in irrigated (●—●) and unirrigated (○--○).

Forfrugtsvirkningen af græs og kartofler gav sig udslag i en betydelig større høstet N-mængde i vårbyggen året efter i forhold til vårbyg som monokultur (tabel 3). Under vandede forhold var dette i gns. 15 kg N efter kartofler og 30 kg N efter græs. Udvasningen blev imidlertid også påvirket. Der var således en reduktion i udvasningen i vårbyg året efter henholdsvis kartofler og græs i forhold til vårbyg som monokultur (tabel 4). Dette skyldes primært en mindre nitratkoncentration i afstrømningsvandet, men også en lidt mindre afdræning pga. større vandforbrug i den kraftigere afgrøde (tabel 4). Mellem vanding og afgrøde var der en tendens til vekselvirkning (signifikant på 15 pct.) i vårbyg hhv. som monokultur og efter græs. Vanding forøgede således udvasningen med 15 kg N/ha i vårbyg som monokultur og formindskede udvasningen i vårbyg efter græs med 10 kg N/ha.

Vanding synes at have en eftervirkning på nitratudvasningen det kommende år, idet der i vårbyg i 1984, hvor der ikke var vandingsbehov, blev udvasket noget mere i tidligere vandede end i uvandede led (tabel 5). Effekten var størst i vinterhalvåret, hvilket var halvandet år efter vanding.

Tabel 4. Nitratudvaskning i vårbyg monokultur (sædskitte 1) sammenlignet med vårbyg i de øvrige sædskitter. Nitrate leaching in barley monoculture (crop rotation 1) compared with barley in the other rotations.

	Sædskitte Rotation	Nitratudv. Nitrate leach. kg NO ₃ -N/ha	Afstrøm. Run off mm	Gns. konc. Aver. conc. ppm. NO ₃ -N	År Year
Vårbyg Barley	1	75,0	500	15,0	82,84,86
Vårbyg efter kartofler Barley following potatoes	2	60,9	480	12,7	
LSD		3,5			
Vårbyg Barley	1	102,5	557	18,4	83,84,86
Vårbyg efter græs Barley following grass	3	88,0	542	16,0	
LSD		n.s.			
Vårbyg Barley	1	83,6	519	16,1	81,82,85,86
Vårbyg med udlæg Barley undersowed	4	39,8	455	8,8	
LSD		6,8			

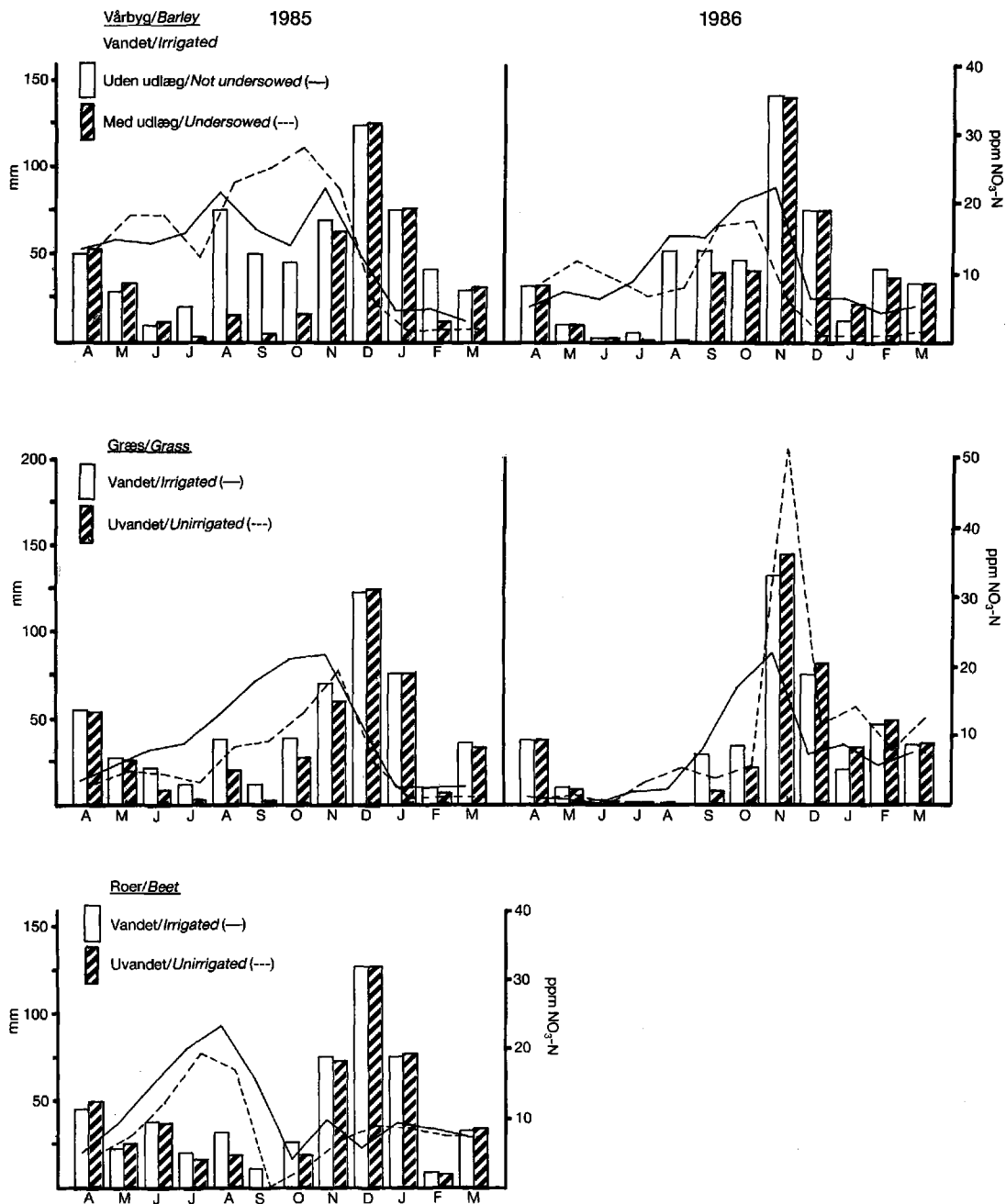


Fig. 3. Den månedlige afstrømning (□) og nitratkoncentration (—).
The monthly run-off (□) and nitrate concentration (—).

Tabel 5. Nitratudvaskning (kg NO₃-N/ha) i byg 1984 (sædskefte 1 og 2). V og UV er hhv. vandet og uvandet i 1982-1983.

Nitrate leaching (kg NO₃-N/ha) in barley 1984 (crop rotation 1 and 2). V and UV are irrigated and unirrigated respectively in the years 1982-83.

	Sommer <i>Summer</i>	Vinter <i>Winter</i>	I alt <i>Total</i>
V	13,4	53,1	66,5
UV	11,2	45,9	57,1
LSD	n.s.	6,2	7,7

Græs og kløvergræs

Nitratudvaskningen i græsmarksafgrøderne var betydelig mindre end i vårbyg og udgjorde for græs kun 45 pct. af den udvaskede mængde i vårbyg som monokultur.

Udvaskningen i græsmarksafgrøderne var lille i sommerhalvåret og udgjorde 17 og 4 pct. af total udvaskning under hhv. vandede og uvandede forhold.

Vandingen formindskede i gns. nitratudvaskningen. Dette kunne især ses i år med stort vandingsbehov, hvor der i efterårsmånederne med stort nedbørsoverskud var en kraftig stigning i nitratkoncentrationen (fig. 2 og 3).

I 1983 var der i forårsmånederne ingen udvaskning fra græsset (fig. 2), selv om der afstrømmede 157 mm i april og maj. Nitratmængden i rodzonen må således have været begrænset.

Pløjning/gravning af græsset i sidste halvdel af november måned synes ikke at have forårsaget nogen stigning i nitratudvaskningen af betydning. Der blev således efter græs i gns. udvasket 20 kg N/ha i perioden efter gravning (december-marts), mens der i vårbyg som monokultur blev udvasket 28 kg N/ha i tilsvarende periode.

Øvrige afgrøder

I roer var nitratudvaskningen generelt lav. I 1981 var der imidlertid en betydelig udvaskning (tabel 3), hvilket primært var forårsaget af en stor nedbørsmængde i forårsperioden. Der blev således udvasket 40 ud af i alt 65 kg N/ha i perioden april-juni.

Udvaskningsforløbet i roer var generelt karakteriseret ved, at der ikke var en koncentrationsstigning i afstrømningsvandet i efterårsmånederne med nedbørsoverskud (fig. 3). Til gengæld

var nitratkoncentrationen forholdsvis stor i sommermånederne med lille afstrømning.

I kartofler blev udvaskningen kraftigt reduceret i forhold til vårbyg som monokultur (tabel 3). Dette skyldes ligesom for roer en forholdsvis lille nitratkoncentration i efterårsmånederne med overskudsnedbør.

Sædskefte og vanding

Den afstrømmede vandmængde formindskedes fra sædskefte 1 til 4 (tabel 6). Dette skyldes, at jorden i en stigende del af året var dækket af en vandforbrugende afgrøde. Afstrømningen i sædskefte 4 var således 80 mm mindre pr. år end i sædskefte 1. Hovedparten af denne forskel fandtes i sommerhalvåret.

Nitratudvaskningen formindskedes kraftigt af en længere periode med jorden dækket af en kvælstof- og vandforbrugende afgrøde, fra sædskefte 1 til 4 (tabel 6). Dette var forårsaget af både den førromtalte effekt på afstrømningsmængden og især en effekt på nitratkoncentrationen i afstrømningsvandet. Den gennemsnitlige nitratkoncentration blev fra sædskefte 1 til 4 reduceret med mere end 50 pct., og de største forskelle fandtes i vinterhalvåret (tabel 6).

I den årlige nitratudvaskning var der vekselvirkning mellem sædskefte og vanding (tabel 6). Udvaskningen blev større ved vanding i monokultur af vårbyg i sædskefte 1. I sædskefte 2 og 4 havde vandingen ringe effekt, og i sædskefte 3 formindskedes udvaskningen ved vanding. Dette skyldes primært vandingens effekt på nitratkoncentrationen i afstrømningsvandet, idet der her fandtes samme vekselvirkning.

I sommerhalvåret fandtes vekselvirkningen ligeledes, men vanding bevirkede en forøget nitratudvaskning i alle sædskefter. Dette skyldes både en forøget afstrømning og en forøget nitratkoncentration i det afstrømmede vand. I vinterhalvåret bevirkede vanding derimod en lille reduktion i den udvaskede nitratmængde, især forårsaget af en reduktion i nitratkoncentrationen. Dette forløb var især tydeligt i år med stort vandingsbehov (1982, 1983 og 1986), hvor koncentrationen af nitrat som regel var høj i uvandet i forhold til vandet i efterårsmånederne med stor nedbør (fig. 2 og 3).

N-balance

I sædskefte 1 og 2 var N-balancen negativ. Dette er ensbetydende med, at der blev bortført mere N

Table 6. Nitratudvaskning, afstrømning og gns. nitratkoncentration i vandet (V) og uvandet (UV).
Nitrate leaching, run off and average nitrate concentration by irrigated (V) and unirrigated (UV).

Sædskifte Rotation	Sommerhalvår Summer half-year		Vinterhalvår Winter half-year		Hele året Year	
	V	UV	V	UV	V	UV
Udvaskning/Leaching kg NO ₃ -N/ha						
1	32,7	23,4	67,8	68,9	100,5	92,3
2	21,4	17,8	49,9	55,6	71,4	73,4
3	12,9	9,8	42,2	54,4	55,1	64,3
4	14,6	11,1	20,5	27,9	35,1	39,1
LSD	3,2*		8,9		8,5*	
Afstrømning/Run off mm						
1	162	150	382	396	543	546
2	143	135	376	387	519	522
3	130	105	375	371	506	477
4	117	95	359	359	476	454
LSD	10		14		26	
Koncentration/Concentration ppm NO ₃ -N						
1	20,3	15,6	17,8	17,4	18,6	16,9
2	14,9	13,2	13,3	14,3	13,7	14,1
3	9,9	9,3	11,2	14,6	10,9	13,4
4	12,4	11,6	5,7	7,8	7,4	8,6
LSD	1,9*		2,3		1,7*	

* Signifikant vekselvirkning

Table 7. N-balance (kg N/ha) = $N_{\text{gødning}} + N_{\text{nedbør}} + N_{\text{vanding}} - N_{\text{høstet}} - N_{\text{udvasket}}$
N-balance (kg N/ha) = $N_{\text{fertilized}} + N_{\text{precipitation}} + N_{\text{irrigation}} - N_{\text{harvested}} - N_{\text{leached}}$

Sædskifte Rotation	Vandet Irrigated	Uvandet Unirrigated
1	- 44	- 28
2	- 35	- 33
3	36	30
sign. vekselvirkning LSD = 10		
(4)	-116	- 77)

med afgrøden og ved udvaskning, end der blev tilført gennem gødning, vanding og nedbør (tabel 7). Dette antyder en reduktion i jordens indhold af total-N i løbet af forsøgsperioden.

I sædskifte 3 var N-balancen derimod positiv, dvs. jordens indhold af total-N synes at være øget. Det forudsættes, at denitrifikationen var ubetydelig, hvilket støttes af undersøgelser udført på grovsandet jord med handelsgødning af Statens Planteavlslaboratorium (pers. medd.). Det var især i græs, at N-balancen var positiv, i gennemsnit 116 kg N/ha/år. N-balancen var desuden positiv i dobbeltafgrøder, rug helsød + byg helsød med udlæg. I de øvrige afgrøder var N-balancen næsten udelukkende negativ. Kløver og dermed

N-fiksering indgår i sædskifte 4, hvorfor N-balancen i dette sædskifte ikke er et udtryk for ændring i jordens N-indhold.

Der var en tydelig vekselvirkning mellem vanding og sædskifte i N-balancen, hvorved vanding forårsagede en hhv. større negativ og større positiv N-balance i sædskifte 1 og 3 (tabel 7). Vandings kraftige effekt på N-balancen i sædskifte 4 skyldes sandsynligvis, at kløverens forholdsvist tørkefølsom.

Analyser af jordprøver udtaget efter forsøgets afslutning i pløjelaget støttede N-balance beregningerne (tabel 8). Der var et signifikant mindre indhold af organisk-C og et nært signifikant mindre indhold af total-N i sædskifte 1 og 2, end i sædskifte 3 og 4, hvor der indgik en del græs. C/N blev derimod ikke påvirket af sædskiftet.

Tabel 8. Jordens indhold af N og C i 0–25 cm dybde ved forsøgets afslutning, april 1987.

The content of N and C in the soil in 0–25 cm depth at the end of the experiment, April 1987.

Sædskifte Rotation	% N	% C	C/N
1	0,089	1,31	14,8
2	0,089	1,28	14,4
3	0,098	1,44	14,8
4	0,094	1,42	15,1
LSD	n.s.	0,06	n.s.

Tabel 9. Gns. koncentration (ppm) og udvaskning (kg/ha) af K, Mg og P.

Average concentration (ppm) and leaching (kg/ha) of K, Mg and P.

Sædskifte Rotation	Sommerhalvår Summer half year			Vinterhalvår Winter half year			K ppm	Mg ppm	P ppm	K kg/ha	Mg kg/ha	P kg/ha
	K ppm	Mg ppm	P ppm	K kg/ha	Mg kg/ha	P kg/ha						
1	15,0	5,0	0,027	18,3	6,4	0,04	16,7	7,5	0,022	64,7	29,1	0,09
2	10,3	4,9	0,025	18,6	6,1	0,04	14,1	7,6	0,018	53,7	29,1	0,07
3	15,4	4,9	0,036	19,2	7,0	0,04	16,6	7,8	0,021	61,9	29,1	0,08
4	13,6	5,5	0,030	18,2	6,8	0,03	13,7	7,8	0,016	49,0	27,8	0,06
LSD	1,4	n.s.	n.s.	1,9	0,9	n.s.	1,4	n.s.	0,004	5,5	n.s.	0,02
Vanding Irrigation												
+	14,1	5,2	0,033	19,5	7,2	0,05	14,8	7,6	0,018	55,3	28,3	0,07
–	14,6	5,0	0,026	17,6	6,0	0,03	15,7	7,7	0,020	59,4	29,2	0,08
LSD	n.s.	n.s.	n.s.	1,4	0,6	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	3,9	n.s.	n.s.

K, Mg og P

Udvaskningen af K, Mg og P blev påvirket meget mindre af sædskifte og vanding end nitratudvaskningen (tabel 9). P-udvaskningen var meget lille, og der var kun ubetydelige forskelle. Koncentrationen af P i afstrømningsvandet var lidt højere i sommerhalvåret end i vinterhalvåret. Koncentrationen af K og Mg var derimod størst i vinterhalvåret.

De største forskelle fandtes i K-udvaskningen, hvor udvaskningen var lavest i sædskifte 4 og højest i sædskifte 1. Vanding havde, ligesom ved nitratudvaskning, en positiv effekt på K-udvaskningen i sommerhalvåret og en negativ effekt i vinterhalvåret.

P-balancen var positiv, hvilket viser, at der blev tilført mere P end der blev bortført med afgrøde og udvaskning (tabel 10). Akkumuleringen af P var størst i sædskifte 3, hvor der i gennemsnit blev gødet med 69 kg P/ha pr. år, mens der i sædskifte 1 blev gødet med 30 kg P.

Som følge af betydelig K-udvaskning var K-balancen negativ. K-udvaskningen var forholdsvist stor i begyndelsen af forsøgsperioden og faldt med tiden. K-balancen viste derfor store negative værdier i de første år af forsøgsperioden. Samme trend kunne ikke påvises i de øvrige næringsstoffer.

Tabel 10. Næringsstofbalance (kg/ha). Gødning + nedbør + vanding – høstet – udvasket.
Nutrient balance (kg/ha). Fertilization + precipitation + irrigation – harvesting – leaching.

Sædskifte <i>Rotation</i>	K	Mg	P
1	- 52	8	15
2	- 59	5	15
3	- 67	1	37
4	- 53	- 7	17
LSD	n.s.	3	9
Vanding			
<i>Irrigation</i>			
+	- 68	2	19
-	- 47	2	23
LSD	n.s.	n.s.	n.s.

Diskussion

Nitratudvaskningen reduceredes kraftigt med en større procentdel afgrøder med lang vækstperiode i sædskiftet. Dette skyldtes primært en mindre nitratkoncentration i afstrømningsvandet, hvilket især var gældende i efterårsmånederne, men også en mindre afstrømning pga. større vandforbrug.

Afgrøderne, som voksede om efteråret, formåede således at optage en betydelig del af den mineraliserede kvælstof. Dette kunne bl.a. iagttages i vårbyg med udlæg, hvor udvaskningen i efterårsmånederne blev kraftigt reduceret i forhold til ren vårbyg.

Den store afgrødeeffekt på udvaskningen er også vist i andre danske undersøgelser. *Kjellerup* og *Koefoed* (9) fandt således på lerjord en nitratkoncentration i afstrømningsvandet på 12–18 ppm ved vårbyg og 0–5 ppm ved græs. Afgrøderne blev dog ikke dyrket samme år. *Simmelsgaard* (13) fandt i markforsøg på samme jordtype som nærværende forsøg en gennemsnitlig udvaskning på 44 kg N fra græs og 75 kg N fra vårbyg under vandede forhold. Dette svarer til niveauet i nærværende forsøg, hvor der i gennemsnit blev udvasket 32 kg N fra græsafgrøder og 101 kg N fra vårbyg som monokultur. I vårbyg var udvaskningen imidlertid meget stor i 1983, og uden dette år var udvaskningen 82 kg N i gennemsnit.

Forsøget viste, at afgrøderne også havde en effekt på udvaskningen det efterfølgende år. I vårbyg med græs eller kartofler som forfrugt blev udvaskningen mindre end ved vårbyg som monokultur. Der blev samtidig optaget noget mere kvælstof i vårbyg med græs eller kartofler som forfrugt, hvilket antyder en forøget nettomineralisering i byggens vækstperiode. Men da udvaskningen reduceredes, synes nettomineraliseringen således ikke at have været forøget i efterårsperioden efter byghøsten, hvilket er ensbetydende med, at mineraliseringen i forhold til immobiliseringen var mindre.

I varierede sædskifter indeholdende en del græs var N-balancen positiv, som følge af en positiv effekt af græs på denne. Der er ofte fundet en positiv N-balance i græsmarker, og dermed en øgning af jordens organiske N-pulje (11, 12, 18, 19). I græs er den høstede N-mængde af N-tilført normalt forholdsvis lille (17), men dette vil, pga. den positive N-balance, således ikke medføre en øget udvaskning. Modsat var N-balancen fx i vårbyg negativ, hvilket er ensbetydende med, at udvaskningen var større end forskellen mellem N-høstet og N-tilført antydede.

Udvaskningen fra græs varierede en del, 8–56 kg N/ha. *Simmelsgaard* (13) fandt ligeledes en stor variation, 18–80 kg N/ha. Da udvaskningen især forekom i efterårsmånederne, skyldes denne variation sandsynligvis en forskel i tiden mellem nedgang i planteaktivitet, bl.a. N-optagelse og rodhenfald, og nedgang i mineralisering. Dette støttes af resultater fra 1983 med den mindste udvaskning, hvor N-optagelsen i plantetoppen i september–oktober var ca. 0,3 kg N/dag, mens N-optagelsen i 1985 med den største udvaskning var ca. 0,1 kg/dag.

Gravning/pløjning efter græs synes ikke at have øget N-udvaskningen i den efterfølgende vinterperiode. Gravningen i sidste halvdel af november har sandsynligvis været så sen, at der efterfølgende ikke er foregået nogen nettomineralisering af betydning. Ved en noget tidligere pløjning i august fandt *Bergstrøm* (3) under svenske forhold en betydelig udvaskning.

Det anføres ofte, at vanding begrænser nitratudvaskningen pga. en større N-optagelse i planterne (19). Dette bekræftes af forsøg i græs (4) og majs (16). Under danske forhold fandt *Simmelsgaard* (13) imidlertid en afgrødeeffekt, idet vanding forøgede udvaskningen i byg og formindskede den i græs. Forskellene var forholdsvis sto-

re, men ikke signifikante. Denne afgrødeeffekt støtter den fundne sædskifteeffekt i nærværende forsøg. I sædskifte 3 med forholdsvis meget græs formindskede vanding nitratudvaskningen, mens udvaskningen blev forøget i sædskifte 1 med ren vårbyg.

Udtørring til 50 pct. af markkapacitet, et hyppigt vandingskriterium, har tilsyneladende ringe effekt på mineraliseringen (5, 6). Ved større udtørring hæmmes mineraliseringen betydeligt (5). Til gengæld bliver jorden koldere ved vanding (14), og temperaturen har under laboratorieforhold vist en forholdsvis stor positiv effekt på mineraliseringen (1). I de nedbørsfattige år 1982, 83 og 86 var jordfugtigheden i relativt lange perioder under 50 pct. i uvandet, men effekten på mineraliseringen synes således ikke entydig.

Reduktionen af kvælstofudvaskning ved vanding af kløvergræs, fundet af *Simmelsgaard* (13), forklarede ved, at den høstede N-mængde var betydelig større i vandet end i uvandet, mens den tilførte N-mængde var næsten ens. I nærværende forsøg forøgede vanding ligeledes N-høstet betydeligt i kløvergræs, hvilket sandsynligvis skyldes kløverens relativt store tørkefølsomhed (14). I græs blev der imidlertid høstet næsten samme mængde i vandet og uvandet, hvilket primært må tillægges græssets store regenerationsevne efter tørke (14). Den øgede udvaskning i uvandet græs kan således ikke henføres til forskelle mellem høstet og tilført N og dermed til forskelle i jordens

indhold af mineralsk-N. Dette støttes også af erfaringer fra markforsøg med græs på samme jordtype, hvor indholdet af mineralsk-N var meget lille i efteråret (14).

Den større udvaskning i uvandet græs kan derimod muligvis skyldes en påvirkning af mineraliserings-immobiliserings turnover, så nettomineraliseringen forøgedes.

Rodmængden bliver generelt større ved vanding (2), hvilket kan være en af årsagerne til, at vanding forøgede nitratudvaskningen det efterfølgende år. Den øgede mængde let mineraliserbart organisk materiale kan have medført en forøget nettomineralisering.

Lysimeter – markforsøg

Vandforbruget er ofte større i lysimeterforsøg end i markforsøg, hvilket bl.a. er vist af *Kjellerup* og *Kofoed* (9). Dette kan medføre en forøget planteproduktion og N-optagelse. I nærværende forsøg synes imidlertid hverken vandforbruget eller den høstede N-mængde i lysimeterforsøget at have været væsentligt forskelligt fra markforsøg. Eksempler på sammenlignelige forsøg mht. gødningsniveau og vandingsstrategi på Jyndeved forsøgsstation er vist i tabel 11. Der synes ikke at være entydige forskelle mellem de to forsøgstyper. Resultaterne fra lysimeterforsøget synes derfor med en vis forsigtighed at kunne anvendes direkte under markforhold.

Tabel 11. Vanding (mm) og N-høstet (kg N/ha) i hhv. markforsøg (M) og lysimeterforsøg (L) på Jyndeved forsøgsstation med ens N-tilførsel og vandingsstrategi.

Irrigation (mm) and N-harvested (kg N/ha) at field (M) and lysimeter (L) experiment respectively at Jyndeved forsøgsstation by equal N-application and irrigation strategy.

	Vårbyg <i>Spring barley</i>				Græs/kløvergræs* <i>Grass/clover and grass*</i>			
	mm		kg N/ha		mm		kg N/ha	
	M	L	M	L	M	L	M	L
1982	117	90	92	92	153	165	345	326
1983	123	108	37	57	246	319	434	323
1984	0	0	84	73				
1985	55	53	93	81	73	29	308	318
1986	110	125	94	95	185	190	283	273

*Græs/Grass 1982/83; Kløvergræs/Clover/grass 1985/86.

Litteratur

1. *Addiscott, T. M.* 1983. Kinetics and temperature relationships of mineralization and nitrification in Rothamsted soils with differing histories. *J. Soil Sci.* 34, 343-353.
2. *Andersen, M. N.* 1985. Planternes tørkeresistens, rodudvikling og vandforråd på sandjord. *Tidsskr. Planteavl* 87, 257-296. Beretning nr. S 1775.
3. *Bergstrøm, L.* 1987. Nitrate leaching and drainage from annual and perennial crops in tile-drained plots and lysimeters. *J. Environ. Qual.* 16, 11-18.
4. *Garwood, E. A. & Ryden, J. C.* 1986. Nitrate loss through leaching and surface run-off from grassland: effects of water supply, soil type and management. I: *Van der Meer, H. G., Ryden, J. C. & Ennik, G. C.* (eds): Nitrogen fluxes in intensive grassland systems, 99-113.
5. *Hanschmann, A.* 1983. Einfluss von Temperatur und Feuchtigkeit auf die Mineralisierung und Feuchtigkeit auf die Mineralisierung von Bodenschichtstoff. *Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkd.* 27, 297-305.
6. *Herlihy, M. & Sheehan, P.* 1979. Nitrogen mineralisation in soils of varying texture, moisture and organic matter. II. A-values in soils cropped with ryegrass. *Plant and Soil* 53, 269-275.
7. *Højmark, J. V. & Fogh, H. Th.* 1977. Nedvaskning af kvælstof og eftergødskning af byg på sandjord 1977. *Statens Planteavlsforsøg, Meddelelse nr. 1382.*
8. *Jensen, F.* 1982. Mineralstoffbortførsel fra græsdækket jord i lysimeter efter tilførsel af mejerispildevand. *Tidsskr. Planteavl* 86, 193-204.
9. *Kjellerup, V. & Koefoed, A. D.* 1983. Kvælstofgødsningens indflydelse på plantenæringsstoffer fra jorden. *Lysimeterforsøg med anvendelse af ¹⁵N.* *Tidsskr. Planteavl* 87, 1-23.
10. *Kyllingsbæk, A. & Simmelsgaard, S. E.* 1986. Kvælstofudnyttelse og kvælstoftab på sandjord. *Tidsskr. Planteavl* 90, 267-268. Beretning nr. S 1853.
11. *O'Callaghan, J. R. & Flowers, T. H.* 1981. Nutrient uptake from pig slurry by a grass crop. I: *Brogan, J. C.* (ed.): Nitrogen losses and surface run-off, 167-177.
12. *Ryden, J. C.* 1986. Gaseous losses of nitrogen from grassland. I: *Van der Meer, H. G., Ryden, J. C. & Ennik, G. C.* (eds): Nitrogen fluxes in intensive grassland systems, 59-73.
13. *Simmelsgaard, S. E.* 1985. Vandbalance og kvælstofudvaskning på 4 jordtyper. III. Kvælstofkoncentration, -udvaskning og -balance. *Tidsskr. Planteavl* 89, 133-154.
14. *Søegaard, K.* 1984. Vand og kvælstof til almindelig rajgræs. *Tidsskr. Planteavl* 88, 140-146. Beretning nr. S 1704.
15. *Søegaard, K.* 1986. Deling af kvælstofgødning til vandet byg. Tørstofproduktion, N-optagelse, N-balance og N-styring. *Tidsskr. Planteavl* 90, 300. Beretning nr. S 1859.
16. *Timmons, D. R. & Dylla, A. S.* 1981. Nitrogen leaching as influenced by nitrogen management and supplemental irrigation level. *J. Environ. Qual.* 10, 421-426.
17. *Van der Meer, H. G.* 1982. Effective use of nitrogen on grassland farms. *Occ. Symp.* 14, BGS, 61-68.
18. *Whitehead, D. C.* 1986. Sources and transformations of organic nitrogen in intensively managed grassland soils. I: *Van der Meer, H. G., Ryden, J. C. & Ennik, G. C.* (eds): Nitrogen fluxes in intensive grassland systems, 47-58.
19. *Wild, A. & Cameron, K. C.* 1980. Soil nitrogen and nitrate leaching. I: *Tinker, P. B.* (ed.): *Soil and Agriculture. Critical Reports on Applied Chemistry*, 2, 35-70.

Manuskript modtaget den 22. februar 1988.