



Kvælstofgødskning, udbytte og kvælstofudvaskning

På baggrund af en gennemgang af udvalgt litteratur beskrives udbytte og kvælstofudvaskning ved forskellig kvælstofgødskning samt kvælstofudvaskningens størrelse fra landbrugs- og naturarealer.

Promilleafgiftsfonden for landbrug

Indhold

- Indledning
- Kvælstofgødskning og nitratudvaskning
- Kvælstofgødskning, nitrat i drænvand og udbytte i forsøg ved Agervig og Sdr. Stenderup
- Ikke udnyttet kvælstofgødning ved høst og betydningen for nitratudvaskningen
- Betydningen af kvælstoftilførsel for mængden af nitrat i jorden ved høst
- Sammenhæng mellem kvælstoftilførsel, kvælstofoptagelse og N-min efterår
- Kvælstofgødskning og nitrat i jorden efter høst af vinterraps
- Nitratudvaskning og udbytte i majs ved forskellig N-gødskning
- Langvarige udvaskningsforsøg, Rothamsted
- N-min ved høst i fastliggende kvælstofforsøg
- Nitrat i jorden på forskellige arealtypen
- Oversigt over udvaskning fra naturarealer

Resume

For at belyse følgende to spørgsmål:

- Hvordan er sammenhængen mellem kvælstoftilførsel og udvaskningen af kvælstof fra rodzonen?
- Hvordan er udvaskningen fra landbrugsarealer i forhold til naturarealer?

er forskellige undersøgelser gennemgået, hvor disse sammenhænge er belyst ved målinger.

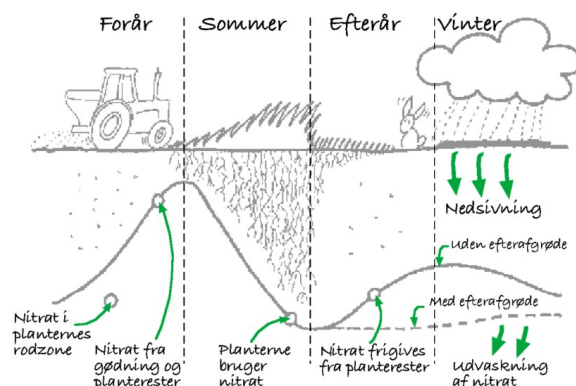
En lang række undersøgelser viser, at kvælstofudvaskningen kun stiger meget svagt op til tilførsel af en kvælstofmængde svarende til den økonomisk optimale kvælstofmængde. Ved en tilførsel af kvælstof derudover stiger udvaskningen relativt mere. Resultaterne viser således, at effekten på kvælstofudvaskningen af at reducere kvælstoftilførslen til under den økonomisk optimale kvælstofmængde er begrænset. Undersøgelserne viser også, at afgrødetype, forfrugt og jordtype har større betydning for kvælstofudvasknings størrelse end den kvælstofmængde der tilføres.

Undersøgelser i Kvadratnettet først i 1990'erne og en række udenlandske undersøgelser viser, at udvaskningen af kvælstof fra landbrugsarealer i dag er 3-5 gange større end fra naturarealer herunder skove, heder, strandenge og ferske enge. Store udvaskninger fra naturarealer kan forekomme i visse situationer som f.eks. ved renaftdrift i skov.

Indledning

I notatet er gennemgået et antal udvalgte artikler. Artiklerne er vist i kronologisk rækkefølge.

I gennemgangen er fokuseret på sammenhængen mellem kvælstofgødskning og kvælstofudvaskning eller på sammenhængen mellem kvælstofgødskning og nitrattmængden i jorden om efteråret efter høst. Nitrattmængden i jorden om efteråret efter høst viser potentialt for nitratudvaskning, som det er skitseret på figuren nedenfor.



Forløbet af jordens nitrattindhold året igennem:

Forår: Ved vækstsæsonens begyndelse er indholdet af nitrat stort som følge af tilførsel af gødning.

Sommer: I vækstsæsonen tømmes jorden næsten helt for nitrat som følge af afgrødens kvælstofoptagelse. Ved høst er nitrattindholdet i jorden derfor lavt. Fordampningen af vand fra afgrøden om sommeren betyder, at der ikke løber vand ud af rodzonen, og derfor sker der ingen nitratudvaskning.

Efterår: Hvis jorden er ubevokset om efteråret, vil den frigive af kvælstof fra planterester og organisk stof, der fortsætter efteråret igennem, før til, at nitrattindholdet igen stiger. Hvis jorden er bevokset med en efterafgrøde af f.eks. græs, vil den optage en stor del af kvælstoffet, og indholdet af nitrat i jorden vil forblive lavt.

Vinter: En større eller mindre del af det nitrat, som jorden indeholder om efteråret, kan – afhængigt af nedbørsmængde og jordtype – udvaskes i vinterhalvåret. Indholdet af nitrat i jorden falder derfor.

I gennemgangen af artiklerne er der lagt vægt på at gøre teksten kort og præcis med fokus på emnet: Hvad betyder tilførsel af kvælstof for udbytte og kvælstofudvaskning. Sidst i notatet er vist resultater af målinger på naturarealer.

[Til top](#)

Kvælstofgødskning og nitratudvaskning

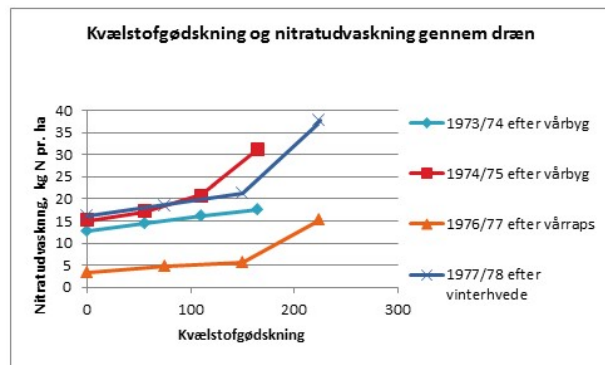
Kilde: V. Kjellerup og Dam Kofoed 1979. Tidsskrift for Planteavl 83, 330-348. Kvælstofgødskningens indflydelse på drænvandets indhold af plantenæringsstoffer.

Sammenhængen mellem kvælstofgødskning og nitratudvaskning er undersøgt i et markforsøg ved Sdr. Stenderup i årene 1973/74 til 1977/78 på en lokalitet med jordtypen JB 6 i pløjelaget. Kvælstofudvaskningen er målt ved udtagning af drænvandsprøver til nitratbestemmelse og ved måling af afstrømningen gennem drænene. I markforsøgene er målt udbytte og beregnet økonomisk optimal kvælstofmængde. Resultaterne er vist i tabel 1 og på figur 1.

Tabel 1. Afgrøde, gødskning, afstrømning og målt nitratudvaskning gennem drænen i markforsøg ved Sdr. Stenderup

År	Afgrøde	N-optimum	Afstrømning, mm	Kvælstofgødskning ¹⁾			
				0N	1N	2N	3N
				Nitratudvaskning gennem drænen, kg N pr. ha			
1973/74	Vårbyg	85	148	13	14	16	18
1974/75	Vårbyg	108	249	15	17	21	31
1975/76	Vårbyg	150	6	2	1	0	0
1976/77	Vårrops	190	98	3	5	6	15
1977/78	Vinterhvede	165	207	16	19	21	38

¹⁾ 1N er 55 kg N pr. ha i vårbyg og 75 kg N pr. ha i vårrops og vinterhvede.



Figur 1. Sammenhæng mellem kvælstofgødskning og nitratudvaskning gennem drænen. Økonomisk optimal kvælstofmængde er vist i tabel 1. På figuren er ikke medtaget forsøgsåret uden afstrømning (1975/76).

Konklusion

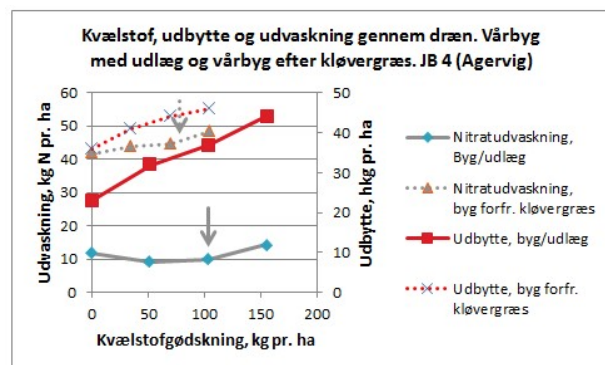
Kvælstofgødskning op til økonomisk optimum har kun medført en svag stigning i nitratudvaskningen, mens tilførsel af større mængder kvælstof har medført en kraftig stigning i nitratudvaskningen. Mængden af kvælstof, der udvaskes, bestemmes hovedsageligt af, hvor meget vand, der strømmer ud af rodzonen.

[Til top](#)

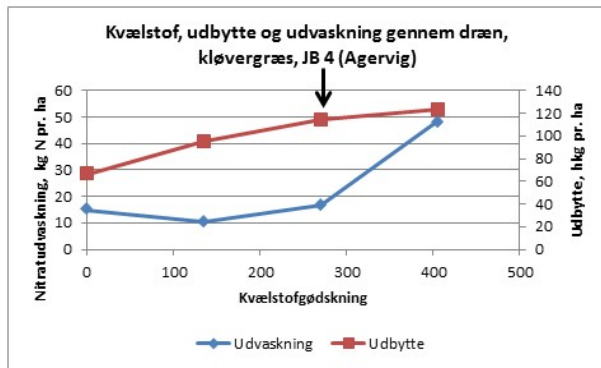
Kvælstofgødskning, nitrat i drænvand og udbytte i forsøg ved Agervig og Sdr. Stenderup

Kilde: Viggo Kjellerup 1983. Meddelelse nr. 1736. Kvælstofgødskningens indflydelse på drænvandets indhold af nitratkvælstof 1973-81.

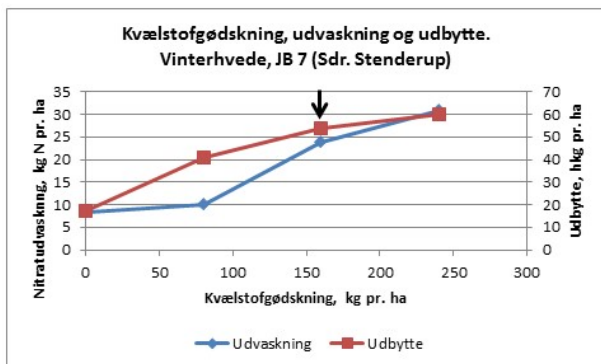
På to arealer blev der i forsøg med forskellig kvælstoftilførsel målt nitratudvaskning gennem drænen samt udbytte ved forskellig kvælstofgødskning. Kvælstofgødning til korn blev udbragt på én gang. Til rødsvingel blev kvælstofgødningen udbragt ad to gange med halvdelen i september og resten i april. Kløvergræs blev tilført kvælstof med 1/3 tidligt forår og resten fordelt efter hvert slæt. Resultaterne af målingerne er vist på figur 2-5.



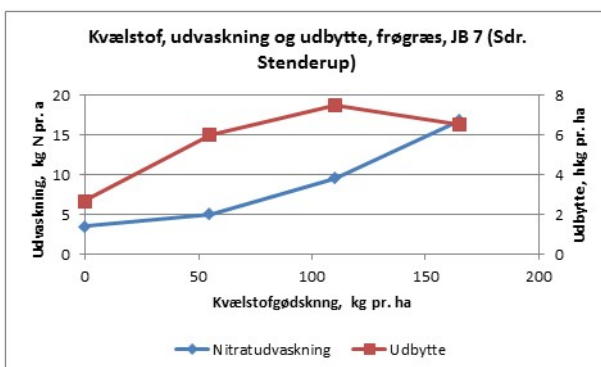
Figur 2. Målt nitratudvaskning gennem drænen (kg N pr. ha) i 1978-79, hvor afgrøden var vårbyg med udlæg af kløvergræs og 1981-82, hvor afgrøden var vårbyg med forfrugt kløvergræs. Afstrømningen var 131 mm i 1978-79 og 260 mm i 1981-82. På denne jord (fin lerblandet sandjord - JB 4) er 15-50 pct. (gns. 37 pct.) af nedbøren i afstrømningsperioden ledt bort gennem drænen. Den fuldt optrukne pil viser, hvad der var normal gødskning til vårbyg med udlæg (103 kg N pr. ha) på arealet. Den stiplede pil viser, hvad der var normal gødskning til vårbyg med forfrugt kløvergræs (70 kg N pr. ha) på arealet. Arealet er beliggende i Agervig 7 km øst for Varde.



Figur 3. Målt nitratudvaskning gennem drænen (kg N pr. ha) i gennemsnit af 1979-80 og 1980-81, hvor afgrøden begge år var kløvergræs. Afstrømningen var 145 mm i 1979-80 og 466 mm i 1980-81. På denne jord (fin lerblandet sandjord - JB 4) er 15-50 pct. (gns. 37 pct.) af nedbøren i afstrømningsperioden ledt bort gennem drænen. På figuren viser pilen, hvad der er normal gødskning til kløvergræs (270 kg N pr. ha) på arealet. Arealet er beliggende i Agervig 7 km øst for Varde.



Figur 4. Målt nitratudvaskning gennem drænen (kg N pr. ha) i 1981-82, hvor afgrøden var vinterhvede med forfrugt frøgræs. Afstrømningen var 242 mm. På denne lerjord (JB 7) blev 52-62 pct. (gns. 56 pct.) af nedbøren i afstrømningsperioden ledt bort gennem drænen. På figuren viser pilen, hvad der er normal gødskning til vinterhvede (160 kg N pr. ha) på arealet. Arealet er beliggende ved Sdr. Stenderup øst for Kolding.



Figur 5. Målt nitratudvaskning gennem drænen (kg N pr. ha) i gennemsnit af 1979-80 og 1980-81, hvor afgrøden begge år var frøgræs (rødsvingel). På denne lerjord (JB 7) blev 52-62 pct. (gns. 56 pct.) af nedbøren i afstrømningsperioden ledt bort gennem drænen. På figuren viser pilen, hvad der er normal gødskning til frøgræs (110 kg N pr. ha) på arealet. Arealet er beliggende ved Sdr. Stenderup øst for Kolding.

Konklusion

Nitratudvaskningen stiger med stigende kvælstoftilførsel, men udvaskningens størrelse afhænger mere af afgrødetype, forfrugt og jordtype end af kvælstofgødskningens størrelse,

Kvælstoftilførsel op til den økonomisk optimale kvælstofmængde resulterer kun i en svag forøgelse af kvælstofudvaskningen. Ved tilførsel herudover siger kvælstofudvaskningen relativt mere.

[Til top](#)

Ikke udnyttet kvælstofgødning ved høst og betydningen for nitratudvaskningen

Kilde: Andrew J. Macdonald, David. S. Powlson, Paul R. Poulton and David S. Jenkinson 1989. *J. Sci. Food. Agric.* 1989, 46, 407-419. *Unused Fertilizer Nitrogen in Arable Soils – Its Contribution to Nitrate Leaching*

Nitrat i jord ved høst kan udvaskes i større eller mindre omfang afhængig af afstrømningen i den efterfølgende vinterperiode. Der blev gennemført 11 forsøg med ^{15}N -mærket gødning for at se, hvor meget kvælstofgødningen direkte bidrager til nitrat i jorden ved høst af vinterhvede. Forsøgene blev tilført 43-234 kg N pr. ha om foråret. Forsøgene lå på forskellige jordtyper i den sydøstlige del af England.

I gennemsnit genfandt man 17 pct. (7-36 pct.) af den ^{15}N -mærkede gødning i pløjelaget ved høst, men kun en meget lille andel i form af nitrat og ammoniumkvælstof. I ingen af forsøgene var der mere end 5 kg N pr. ha af den tilførte ^{15}N -mærkede gødning på mineralsk form ved høst, og andelen af den tilførte gødning udgjorde 1,3 pct. (0,4-3,6 pct.). 79-98 pct. af jordens indhold af nitrat- og ammoniumkvælstof ved høst stammede

fra mineralisering af jordens organiske kvælstofpulje. Jordens indhold af nitrat- og ammoniumkvælstof ved høst var det samme, uanset om der ikke var tilført kvælstofgødning eller om der var tilført op til 234 kg N pr. ha. Forsøgene indikerer, at ved dyrkning af vinterhvede skyldes nitratudvaskningen i altovervejende grad mineralisering af organisk kvælstof, mens udnyttet kvælstofgødning ikke bidrager væsentligt til udvaskningen.

Konklusion

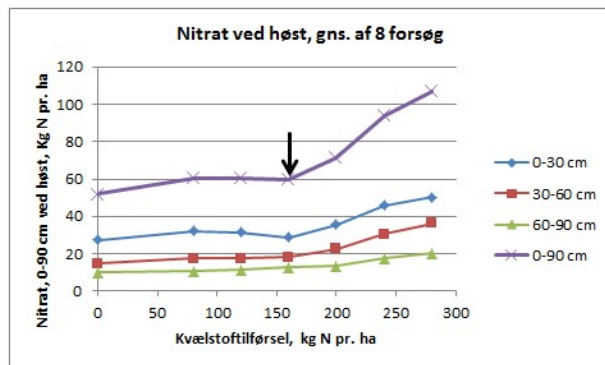
Omfanget af nitratudvaskning bestemmes i høj grad af jordens indhold af nitrat ved begyndelsen på afstrømningsperioden. Jordens nitratinhold ved høst stammer i altovervejende fra mineralisering af organisk kvælstof og ikke direkte fra ikke-udnyttet kvælstofgødning tilført om foråret. Mineraliseringen bestemmes af dyrkningshistorien i årene forud, herunder kvælstofgødsningens størrelse. Forsøg viser, at marker, der er tilført 144 kg N pr. ha i 140 år, nu mineraliserer 50 pct. mere end marker, der kun er tilført 48 kg N pr. ha i den samme periode (Broadbalk Wheat Experiment). Forsøgsresultaterne viser, at der kun opnås en meget begrænset reduktion af nitratudvaskningen ved reduktion af kvælstofgødsningen.

[Til top](#)

Betydningen af kvælstoftilførsel for mængden af nitrat i jorden ved høst

Kilde: Chaney, K. 1990. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* (1990), 114, 171-176. Effect of nitrogen fertilizer rate on soil nitrate nitrogen content after harvesting winter wheat.

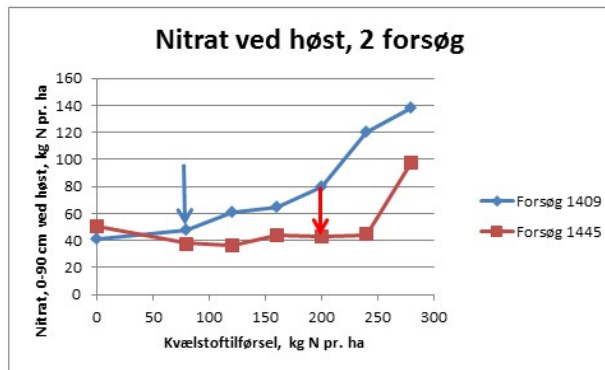
Jordens indhold af nitratkvælstof umiddelbart efter høst er et mål for den mineralske kvælstofmængde, som ikke er udnyttet af afgrøden. I 8 forsøg blev mængden af nitrat i jorden til 90 cm dybde ved høst (17. august – 9. september) målt ved forskellig kvælstofgødsning om foråret. Afgrøden var vinterhvede og de tilførte kvælstofmængder var 0, 80, 120, 160, 200, 240 og 280 kg pr. ha. Forsøgene lå i den centrale og østlige del af England. Resultaterne i gennemsnit af de 8 forsøg er vist på figur 6.



Figur 6. Nitrat ved høst efter tilførsel af forskellige kvælstofmængder om foråret. Resultaterne er vist for dybderne 0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm og for summen af de tre lag 0-90 cm. Målingerne er gennemført i perioden 17. august – 9. september i 1987 og 1988. På figuren angiver pilen den økonomisk optimale kvælstoftilførsel i gennemsnit af forsøgene (162 kg N pr. ha).

Resultaterne viser, at der i gennemsnit af forsøgene er en stigning i nitratinholdet fra 52 til 60 kg N pr. ha, når kvælstoftilførslen forøges fra 0 til 160 kg N pr. ha. Først ved en kvælstoftilførsel betydeligt over den økonomisk optimale (162 kg N pr. ha) er der en kraftig stigning i jordens nitratinhold ved høst. Stigningen i nitratinholdet sker i alle jordlagene, men er mest udtalt i jordlaget 0-30 cm.

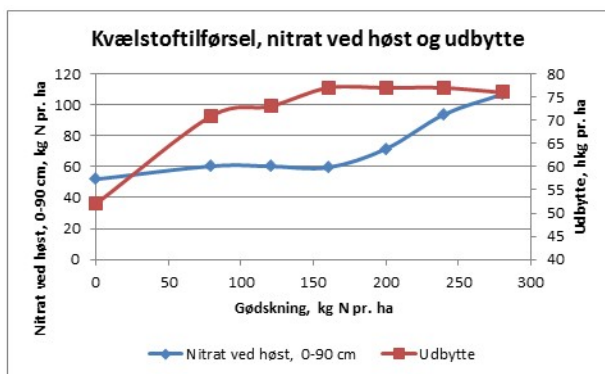
På figur 7 er vist resultaterne fra to forsøg. Forsøgene er karakteriseret ved, at det ene (forsøg 1409 på figur 7) har en meget lille udbytterespons for kvælstoftilførsel med en optimal kvælstoftilførsel på 74 kg N pr. ha. Det andet forsøg (forsøg 1445 på figur 7) har en betydelig udbytterespons på kvælstoftilførsel med en optimal kvælstoftilførsel på 199 kg N pr. ha.



Figur 7. Nitrat ved høst i to forsøg efter tilførsel af forskellige kvælstofmængder om foråret. Resultaterne er vist for jordlaget 0-90 cm. Målingerne er gennemført den 3. september 1987 (forsøg 1409) og den 17. august 1988 (forsøg 1445). På figuren angiver pilene de økonomisk optimale kvælstofmængder i forsøgene.

Stigningen i nitratindholdet ved høst er mindre end stigningen i kvælstoftilførslen. I forsøg 1409 var der en stigning i nitratmængden ved høst på ca. 20 kg N pr. ha, når kvælstoftilførslen blev forøget fra 0 til 160 kg N pr. ha. Ved større kvælstoftilførsel steg nitratmængden ved høst mere. Den økonomisk optimale kvælstoftilførsel i forsøget var 74 kg N pr. ha. I forsøg 1445 var den økonomisk optimale kvælstofmængde 199 kg N pr. ha, og nitratmængden ved høst var uændret eller lavere ved en kvælstoftilførsel helt op til 240 kg N pr. ha end hvor der slet ikke var tilført kvælstof.

På figur 8 er vist sammenhængen mellem kvælstofgødskning, nitrat i jorden ved høst samt udbytte i gennemsnit af de 8 forsøg. I gennemsnit af forsøgene blev den økonomisk optimale kvælstoftilførsel bestemt til 162 kg pr. ha. Figuren illustrerer, at nitratindholdet i jorden ved høst stiger meget svagt med stigende kvælstoftilførsel. Først, når kvælstoftilførslen er over den økonomisk optimale mængde, sker der en betydelig stigning i jordens nitratindhold ved høst.



Figur 8. Nitrat ved høst samt udbytte i gennemsnit af 8 forsøg efter tilførsel af forskellige kvælstofmængder om foråret. Nitratindholdet er vist for jordlaget 0-90 cm. Målingerne er gennemført i sidste halvdel af august eller allerførst i september. I gennemsnit af forsøgene blev den økonomisk optimale kvælstofmængde bestemt til 162 kg pr. ha.

Konklusion

Jordens indhold af nitratkvælstof umiddelbart efter høst er et mål for den mineralske kvælstofmængde, som ikke er udnyttet af afgrøden. Dette ikke udnyttede kvælstof kan optages af en efterfølgende afgrøde, indbygges i jordens organiske stof eller tabes ved denitrifikation og udvaskning. Forsøg med N^{15} (se artiklen af Andrew J. Macdonald ovenfor) har vist, at så godt som alt tilført kvælstofgødning indbygges i jordens organiske stof. Det nitrat, der er i jorden efter høst, er altså mineraliseret fra jordens organiske pulje. Nitratindholdet i jorden ved høst stiger meget svagt med stigende kvælstoftilførsel. Først, når kvælstoftilførslen er over den økonomisk optimale mængde sker der en betydelig stigning i jordens nitratindhold ved høst.

[Til top](#)

Sammenhæng mellem kvælstoftilførsel, kvælstofoptagelse og N-min efterår

Kilde: R. Sylvester-Bradley and B. J. Chambers 1992. *Aspect of Applied Biology* 30, 85-94. The implications of restricting use of fertilizer nitrogen for the productivity of arable crops, their profitability and potential pollution by nitrate.

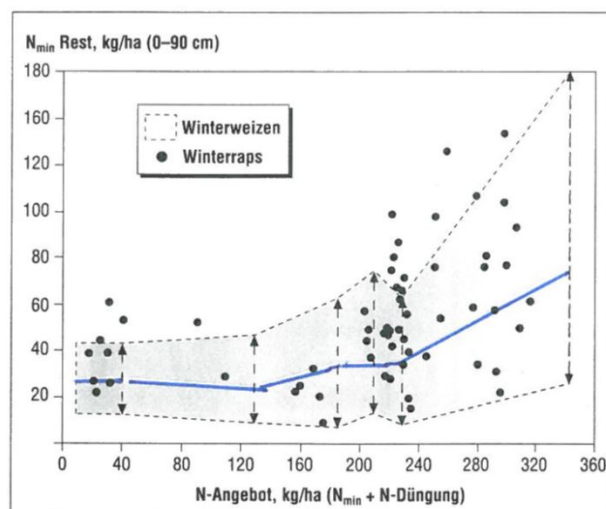
Der er en nær sammenhæng mellem jordens N-min indhold om efteråret, før udvaskningen begynder og den nitratudvaskning, der beregnes med forskellige modeller. Resultater af samvirkende målinger af kvælstoftilførsel og N-min om efteråret i et antal forsøg i England viser, at der i de fleste tilfælde er en positiv sammenhæng mellem kvælstoftilførsel om foråret og N-min om efteråret. I gennemsnit var effekten pr. 100 kg N tilført 7 kg N pr. ha i korn, 13 kg N pr. ha i vinterraps og 26 kg N pr. ha i kartofler ved en kvælstoftilførsel svarende til økonomisk optimum. Det betyder, at en kvælstoftilførsel på f.eks. 40 kg N under økonomisk optimum i et enkelt år i gennemsnit reducerer N-min om efteråret med 3 kg N efter korn, 5 kg N efter vinterraps og 10 kg N efter kartofler. Hvis den begrænsede kvælstofgødskning fastholdes i 10-15 år, reduceres N-min om efteråret med 6-14 kg N pr. ha.

[Til top](#)

Kvælstofgødskning og nitrat i jorden efter høst af vinterraps

Kilde: Gerhard Baumgärtel, *Lantwirtschaft Hannover* 1993. Raps, 11. jg.(2), 90-92. Stickstoffdüngung und Nitratreste nach der Ernte im Rapsanbau.

Resultaterne af et stort antal tyske forsøg er vist på figur 9. Figuren viser på x-aksen kvælstofforsyningen (N-min forår + tilført kvælstofgødning) til afgrøden og på y-aksen N-min ved høst i 0-90 cm dybde. Punkterne på figuren viser resultaterne af målinger efter vinterraps, mens de stiplede linier viser variation i tilsvarende resultater efter vinterhvede. Den fuldtotrukne linie viser det gennemsnitlige N-min indhold efter høst af vinterhvede.



Figur 9. N-min ved høst af vinterraps og vinterhvede.

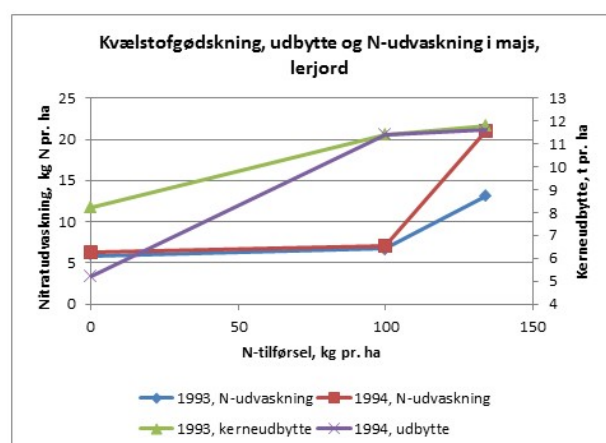
Figuren viser, at N-min ved høst af vinterraps ligger i samme størrelsesorden som efter høst af vinterhvede. Ved økonomisk optimal gødskning ($N_{\min} + N\text{-gødskning} = 210\text{--}230$ for vinterhvede og 200 for vinterraps) er N-min ved høst mellem 30 og 40 kg N pr. ha. N-min ved høst reduceres kun lidt ved en kvælstoftilførsel under optimum. Derimod forøges N-min ved høst betydeligt, hvis kvælstoftilførslen er større end optimum. Efter vinterhvede forøges N-min fra 30 til 80 kg N pr. ha. Resultaterne viser også, at der er meget store forskelle i N-min ved høst ved den samme kvælstofforsyning ($N_{\min} + N\text{-gødskning}$).

[Til top](#)

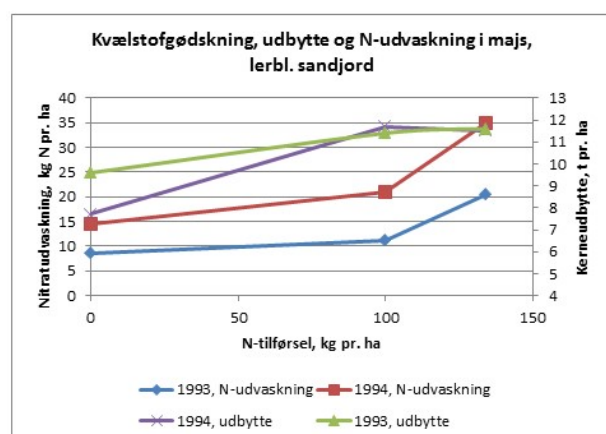
Nitratudvaskning og udbytte i majs ved forskellig N-gødskning

Kilde: Jean M. Sogbedji et al., 2000. *J. Environ. Qual.*, vol. 29. Nitrate Leaching and Nitrogen Budget as Affected by Maize Nitrogen Rate and Soil Type.

På to marker ved New York, USA med forskellig jordtype blev nitratudvaskning og udbytte målt ved forskellig kvælstofgødskning af majs. Der blev gødsket med 22, 100 og 134 kg N pr. ha. Nitratudvaskningen blev målt ved at bestemme afstrømning og nitratkoncentration i dræn. Resultaterne af udbyttmålinger og udvaskningsmålinger på de to lokaliteter er vist på figur 10 og 11.



Figur 10. Nitratudvaskning og kerneudbytte i majs ved forskellig kvælstofgødskning på lerjord.



Figur 11. Nitratudvaskning og kerneudbytte i majs ved forskellig kvælstofgødskning på lerblandet sandjord.

Konklusion

Udnyttelsen af tilført kvælstofgødning falder hurtigt, når tilførsel overstiger afgrødens behov, selv når overgødskningen er begrænset. Når udnyttelsen af kvælstofgødningen falder, stiger nitratudvaskningen også hurtigt. For at undgå stigningen i nitratudvaskningen er det nødvendigt, at kvælstofbehovet kan fastsættes præcist f. eks. ved hjælp af jordanalyser (Pre-sidedress soil nitrate test (PSNT)).

[Til top](#)

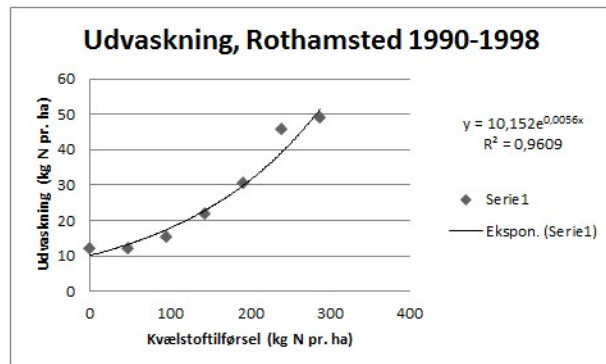
Langvarige udvaskningsforsøg, Rothamsted

Kilde: Goulding, K.W.T., Poulton, P.R., Webster, C.P. and Howe, M.T. (2000), Nitrate leaching from the Broadbalk Wheat Experiment, Rothamsted, UK, as influenced by fertilizer and manure inputs and the weather. *Soil Use and Management*, 16: 244–250.

Nitratudvaskningen blev målt i perioden fra 1990-1998 i hvedeforsøgene i Broadbalk ved Rothamsted i Storbritannien, der startede i 1843.

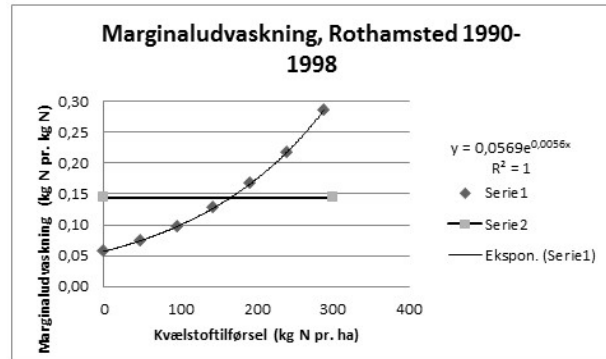
Gennemsnitsudvaskningstabene fra plots, der hvert år får tilført 48, 96, 144, 192, 240 og 288 kg N pr. ha i handelsgødning svarer til 25, 16, 15, 16, 19 og 17 % af tilført kvælstof. I de plots, der ikke fik tilført kvælstof var udvaskningen ligeså så stor, som i de plots, der fik tilført 48 kg N pr. ha.

Ud fra ovenstående procenter beregnes den reelle udvaskning i kg N pr. ha, og udvaskningen ved ingen tilførsel af kvælstof sættes til det samme, som ved en tilførsel på 48 kg N pr. ha. Herefter laves der en graf over udvaskningen, som respons på kvælstoftilførslen (figur 12). Det viser sig, at grafen bedst beskrives ved en eksponentialfunktion.



Figur 12. Udvasning som respons på kvælstoftilførsel, langvarige udvasknings-forsøg hovedsagligt i vedvarende vinterhvede, lavet efter Goulding *et al.* (2000).

For at beregne hvor meget større udvaskningen pr. ekstra tilført kg N pr. ha er, differentieres den tilnærmede eksponentialfunktion i figur 12, hvorefter marginaludvaskningen kan udregnes. Derefter laves der en graf over marginaludvaskningen, som respons på kvælstoftilførslen (figur 13), og en tabel over marginaludvaskningen ved forskellige kvælstoftilførsler (tabel 2).



Figur 13. Marginaludvasning som respons på kvælstoftilførsel, langvarige udvaskningsforsøg hovedsagligt i vedvarende vinterhvede, lavet efter Goulding *et al.* (2000). Den vandrette linje repræsenterer den gennemsnitlige marginaludvasning.

Tabel 2. Marginaludvasningen ved forskellige kvælstoftilførsler.

Handelsgødning	Marginaludvasning
kg N/ha	kg N/kg N
0	0,06
48	0,07
96	0,10
144	0,13
192	0,17
240	0,22
288	0,29

I kvælstofudvaskningsmodellen N-les3 regnes med en gennemsnitlig marginaludvasning på omkring 0,30. Dvs. for hver kg tilført N antages 30 % at blive udvasket (N-LES). Marginaludvasningen stiger med stigende kvælstoftilførsel, men stigningen er kun begrænset.

Af figur 13 ses, at marginaludvasningen stiger, jo mere kvælstof der tilføres, men den når ikke et niveau på 0,30 selv ved en tildeling på 288 kg N pr. ha. Desuden ses det, at hvis marginaludvasningen i Rothamsted forsøget regnes for værende konstant, er den gennemsnitligt på 0,14, hvilket er langt under 0,30.

Desuden ses det, at det ikke er lige meget, om man reducerer sin kvælstoftildeling fra 192 til 144 kg N pr. ha ift. fra 144 til 96 kg N pr. ha. Ved en reduktion fra 192 til 144 kg N pr. ha er marginaludvasningen i gennemsnit på ca. 0,15 $((0,17+0,13)/2)$ svarende til en reduktion i udvasning på 7kg N/ha, mens der ved en reduktion i tilførslen fra 144 til 96 kg N pr. ha er en gennemsnitsmarginaludvasning på ca. 0,085 $((0,10+0,07)/2)$

svarende til en reduktion i udvaskningen på 4 kg N/ha. Hvis vi derimod antog marginaludvaskningen som værende konstant (her 0,14), ville den i ovenstående eksempler svare til en reduktion i udvaskning på 7 kg N/ha ved begge scenarier.

Ud fra ovenstående betragtning får man ikke den samme reduktion i kvælstofudvaskningen uafhængigt af, hvor man er på kurven. Man får størst reduktion i udvaskningen ved en reduktion i kvælstoftilførsel fra et højt niveau til et mellem niveau (f.eks. 192 til 144 kg N/ha) sammenlignet med fra et mellem niveau til et lavt niveau (f.eks. 144 til 96 kg N pr. ha).

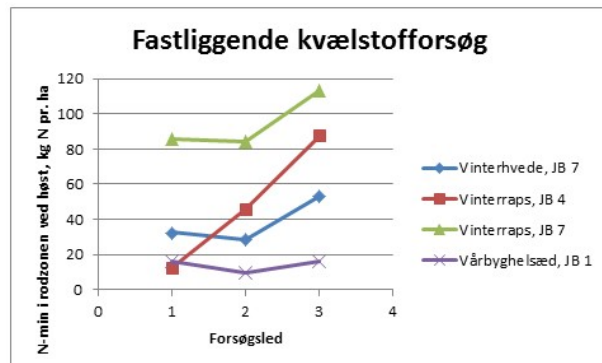
[Til top](#)

N-min ved høst i fastliggende kvælstofforsøg

Kilde: Oversigt over Landsforsøgene 2006, side 197.

For at undersøge denne akkumulerede virkning af en reduktion af kvælstofmængden blev der i 1998 anlagt fastliggende kvælstofforsøg på forskellige brugstyper. Der er gennemført forsøg på fem ejendomme, hvoraf de tre er husdyrbrug. Forsøgene er anlagt i den afgrøde, der er på marken. I forsøg med kartofler, majs og sukkerroer er der gødsket efter planen, men afgrøden er ikke høstet forsøgsmæssigt. Forsøgene er gennemført som almindelige forsøg med stigende mængder kvælstof.

Forsøgene blev afsluttet i 2009, hvor der blev målt N-min i roddebde på tre tidspunkter i efteråret. På figur 14 er vist resultaterne af N-min målingerne ved høst 2009.



Figur 14. N-min målinger gennemført lige efter høst 2009 i forsøg uden tilførsel af husdyrgødning. Forsøgsled 1 er ikke tilført kvælstofgødning, forsøgsled 2 er tilført 100 eller 80 kg N pr. ha og forsøgsled 3 er tilført 200 eller 160 kg N pr. ha afhængig af afgrøden.

Konklusion

Da forsøgene har været fastliggende siden 1998, afspejler forskellene i N-min målt på høsttidspunktet dels effekten af årets kvælstoftilførsel og dels effekten af de foregående 12 års kvælstoftilførsler.

Resultaterne viser, at der på planteavlsbrugene og svinebrugene med enkelte undtagelser har været højere N-min indhold ved høst ved stigende N-tilførsel. Stigningen i N-min er størst ved den højeste kvælstoftilførsel. Desuden, at N-min efter vinterraps er højere end efter vinterhvede og specielt efter vårbygghelsæd.

[Til top](#)

Nitrat i jorden på forskellige arealtyper

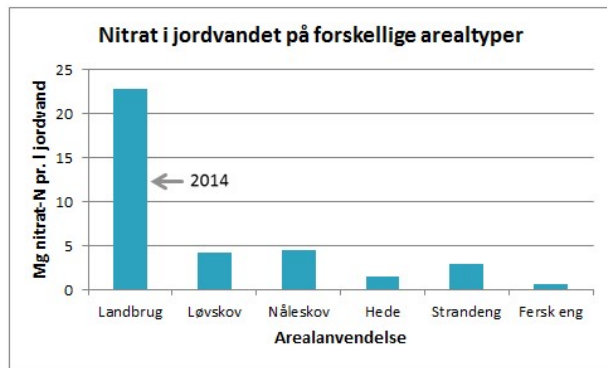
Kilde: Videncentret for Landbrug, Kvadratnet for nitratundersøgelser 2014

I tabel 3 og på figur 15 er vist en opgørelse af nitratmålinger gennemført i Videncentrets Kvadratnet for nitratundersøgelser. Data til figur og tabel er resultater af målinger gennemført i 1990, 1991 og 1992 i oktober, november og december. Værdierne stammer fra jordlagene 50-75 cm og 75-100 cm. Afhængig af nedbøren vil en større eller mindre del af denne nitrat udvaskes fra rodzonen i den følgende vinter. Det kan antages, at forholdet mellem nitratkoncentrationerne på de enkelte arealtyper også er gældende for udvaskningen af nitratkvælstof fra arealerne. I datasættet indgår alle målinger gennemført i den pågældende periode, hvilket betyder, at der kan være flere målinger på samme areal. Det bemærkes, at der i datamaterialet indgår data fra 1992, hvor der blev målt meget høje værdier på landbrugsarealerne på grund af en meget dårlig høst.

Ved tolkning af resultaterne er det vigtigt at erindre, at nitratudvaskningen fra landbrugsarealer er halveret siden begyndelsen af halvfemserne. Nitratkoncentrationen i jordvandet på landbrugsarealer er derfor lavere i dag end vist på figuren. Udvasningen fra naturarealer er formentligt også reduceret lidt, da depositionen af kvælstof fra luften er reduceret siden begyndelsen af 1990'erne.

Tabel 3. Resultater af målinger gennemført i Kvadratnet for nitratundersøgelser i 1990, 1991 og 1992 i månederne oktober, november og december. Værdierne stammer fra jordlagene 50-75 cm og 75-100 cm.

	Arealanvendelse					
	Landbrug	Løvskov	Nåleskov	Hede	Strandeng	Fersk eng
	mg nitrat-N pr. l jordvand, ppm					
Gennemsnit	23	4	5	2	3	1
Min	0	0	0	0	0	0
Maks	589	69	141	26	76	6
Spredning	22	8	14	3	9	1
Antal	7934	857	909	208	144	38



Figur 15. Resultater af målinger gennemført i Kvadratnet for nitratundersøgelser i 1990, 1991 og 1992 i månederne oktober, november og december. Værdierne stammer fra jordlagene 50-75 cm og 75-100 cm. Pilen angiver, hvad koncentrationen af nitrat forventes at være på landbrugsarealer i 2014.

Resultaterne af målingerne viser, at den gennemsnitlige nitratkoncentration under landbrugsjord i jordlaget 50-100 cm i begyndelsen af halvfemserne var ca. 5 gange højere end på skovarealer. Med en halvering af udvaskningen fra landbrugsarealerne siden begyndelsen af 1990'erne vil koncentrationen fra landbrugsarealer i forhold til skov være ca. 3 gange større og 5 gange større end på hede, strandenge og ferske enge. Tallene i tabellen viser, at der også i skovene er arealer, hvor der er målt høje nitratkoncentrationer i jordvandet. De laveste nitratkoncentrationer er målt på hede- og engarealer.

Udvaskningen af nitratkvælstof udgør typisk 90 pct. af den samlede udvaskning på landbrugsarealer. Resten af udvaskningen sker i form af ammoniumkvælstof og organisk kvælstof. Drænvandsmålinger viser, at udvaskningen af organisk kvælstof typisk er af samme størrelsesorden på landbrugs- og naturarealer. Derfor vil forholdet mellem udvaskning fra landbrugsarealer og naturarealer være lidt mindre, end hvad forholdet mellem nitratkoncentrationer udtrykker på de to arealtypier.

[Til top](#)

Oversigt over udvaskning fra naturarealer

Kilder:

Martina Hermann, Jürgen Pust, Richard Pott 2005, *Plant and Soil*, 273, 129-137. Leaching of nitrate and ammonium in heathland and forest ecosystems in Northwest Germany under the influence of enhanced nitrogen deposition

Pirkko Kortelainen, Sari Saukkonen, Tuija Mattsson 1997, *Global Biogeochemical Cycles*, 11, 627-638 Leaching of nitrogen from forested catchments in Finland

Werner Härdtle, Goddert von Oheimb, Marion Niemeyer, Thomas Niemeyer, Thorsten Assmann, Hartmut Meyer 2007, *Biogeochemistry*, 86, 201-215 Nutrient leaching in dry heathland ecosystems: effects of atmospheric deposition and management

Bredemeier, M., Blanck, K., Xu, Y.-J., Tietema, A., Boxman, A.W., Emmett, B., Moldan, F., Gundersen, P., Schleppe, P., Wright, R.F. 1998, *Forest Ecology and Management*, 101, 57-64. Input-output budgets at the NITREX sites

Mats Fröberg, Karna Hansson, Dan B. Kleja, Ghasem Alavi 2011, *Forest Ecology and Management*, 262, 1742-1747. Dissolved organic carbon and nitrogen leaching from Scots pine, Norway spruce and silver birch stands in southern Sweden

Gitte Blicher-Mathiesen, Anton Rasmussen, Ruth Grant, Pia G. Jensen, Birgitte Hansen, Lærke Thorling 2013, *Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 74 pp. 154. Landovervågningsoplände 2012 – NOVANA*

Der er et naturligt baggrundsbidrag til udvaskningen fra naturarealer. For at give et overblik over størrelsesordenen for udvaskningen fra naturarealer er herunder sammenstillet en række internationale undersøgelser, hvor udvaskningen fra naturarealer er målt. Udvasninger fra naturarealer er alle målte udvasninger. For sammenligning er inkluderet målte og beregnede udvasninger fra Landovervågningsopländene. Resultaterne er vist i tabel 4.

Tabel 4. Sammenstilling over udvaskning fra heder og skovsystemer i en række internationale undersøgelser. Resultaterne er sammenlignelige med tilsvarende undersøgelser foretaget i Danmark. Til sammenligning er medtaget målt og modelberegnet udvaskning fra danske landbrugsarealer.

Artikel	Naturtype	Udvaskning (kg pr. ha)	Sted
Hermann et al (2005) ¹⁾	Hede og skov	Hede: 0,2-2,5 Løvskov: 1,2-18,3 Nåleskov: 16	Nordvesttyskland
Härdtle et al (2007) ²⁾	Hede	5-10	Nordvesttyskland
Kortelainen et al (1997) ²⁾	Nåleskov	2,1 (75 pct. af udvaskning sker i form af org. N)	Sydfinland
Bredemeier et al (1998) ¹⁾	Nåleskov	<0,3 3,8 kg 15-23 60-80	DK, NO, SE CH DE, CYM NL (høj deposition)
Fröberg et al (2011) ²⁾	Skov	11 kg N pr. ha	Sydsverige
Blicher-Mathiesen 2013 ³⁾	Landbrug	Sand: 91 kg N pr. ha Ler: 47 kg N pr. ha	Danmark NB! Model beregnet
Blicher-Mathiesen 2013 ³⁾	Landbrug	Sand: 52-70 Ler: 19-34	Danmark Målt

¹⁾ Data er opgivet som kg nitrat + ammonium pr. ha.

²⁾ Data er opgivet som kg total-N pr. ha.

³⁾ Data fra landovervågningsoplände (NOVANA programmet)

Konklusion

Udvaskningen fra naturarealer er typisk en tiendedel til en tredjedel af udvaskningen fra landbrugsarealer. Der er dog også naturarealer, der har en udvaskning i sammen størrelsesorden som landbrugsjord. Disse arealer har typisk over en længer årrække været belastet af en høj atmosfærisk kvælstofdeposition, og udvaskningen falder, når depositionen mindskes (Bredemeier et al., 1998). Udvasningen kan generelt siges kun at være høj fra naturarealer når depositionen overstiger kvælstofoptaget ved plantevækst. Dette vurderes kun at ske ved høje depositions-rater (Bredemeier et al., 1998). En anden situation, hvor udvaskningen fra skov kan være betydelig, optræder i forbindelse med fældning af hele skovområder.

En stor andel af udvaskningen fra naturarealer kan forekomme som organisk kvælstof (for eksempel Kortalainen et al. 1997). Høje andele af organisk N i det udvaskede N vurderes dog primært at forekomme ved meget lave udvaskninger, idet høje udvaskninger som nævnt kun forekommer i kvælstofmættede systemer med høj deposition.

Medforfatter:

Johannes Jensen, Aarhus Universitet, Institut for Agrohydrologi

[Til top](#)