

Notat om status for N-udledning fra lavbundsarealer

Bidrag til diskussion af landbrugsarealers sårbarhed med hensyn til N-udledning til vandmiljøet. Workshop afholdt 13. december 2011 hos Videncenter for Landbrug

Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi

Dato: 22. februar 2012

Gitte Blicher-Mathiesen

Institut for Bioscience

Rekvirent:
Videncenter for Landbrug
Antal sider: 16

Faglig kommentering:
Ruth Grant, Charlotte Kjærgaard
Kvalitetssikring, centret:
Poul Nordemann Jensen



AARHUS
UNIVERSITET

DCE - NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Tel.: +45 8715 0000
E-mail: dce@au.dk
<http://dmu.au.dk>

Indhold

Resumé	3
Indledning	4
Landbrug i og uden for omdrift på Lavbundsarealer	5
Kvælstofudvaskning fra lavbundsarealer via dræn	6
Grundvandsbidrag fra lavbundsområder til vandløb og grøfter	8
N-markbalancer giver begrænset information om lavbundsarealers potentielle N-udledning	10
Risiko for P udvaskning fra reetablerede lavbund	10
Kvælstoffjernelse i enge og vådområder	10
Grundvandstilstrømning til enge og vandløb	10
Ådalens potentiale for N-fjernelse fra dræn og grundvand	13
Referencer	15

Resumé

Ådalen er central, når der skal udtages areal fra landbrugsproduktion med det formål at formindske N-udledningen til vandmiljøet. Vi har dog meget lidt viden om, hvor meget kvælstof disse lavbundsarealer i landbrugsdrift udleder og dermed viden om, hvor meget kvælstofudledningen til vandløbet reduceres, hvis der udtages specifikke lavbundsarealer fra landbrugsproduktion.

Lavbundsarealet udgør ca. 667.800 ha ifølge den Danske Jordklassificering, heraf udnyttes ca. 70 pct. som landbrug, hvilket arealmæssigt svarer til 17 pct. af landbrugsarealet i landet. Heraf er ca. $\frac{3}{4}$ opgjort som værende i omdrift, hvor det meste forventes at være veldrænet. Den restende del er ikke i omdrift og hvor meget af dette, der er drænet og grøftet, er uvist.

Hovedparten af den danske lavbundsjord er minerogen. Ny kortlægning af humusjordene viser at kun 177.231 ha har mere end 3 pct. kulstof, mens 107.000 ha har mere end 12 pct. kulstof.

Fra NPo-forskningsprogrammet blev N-udvaskning fra 3 lavbundsområder i omdrift målt. Der var tale om nydrænet tørvejord, og derfor er resultaterne ikke repræsentative for tørveholdigt lavbundsjord, der har været drænet en årrække. Der er kun et enkelt forsøg, hvor N-udledningen på et nydrænet tørvejord er målt over 14 år. Resultaterne viser, at den årlige drænafstrømning af kvælstof falder fra ca. 57-237 kg N/ha til 38-67 kg N/ha over disse 14 år, intervallet er afhængig af drænafstand. Der har desuden været enkelte punktmålinger af N i drænvand fra lavbundsområder, men en præcis kvantitativ opgørelse af N-udledning kræver at både vandafstrømning og N-koncentration måles forholdsvis hyppigt – ca. 1 gang pr uge, idet der kan strømme reduceret grundvand til fra andre arealer og dermed fortynde N-koncentration i lavbundsområder.

Hvis lavbundsområdet dyrkes som varigt græs og ikke omlægges men stadig drænes, forventes N-udvaskningen via dræn at ligge forholdsvis lav, hvilket foreløbige målinger (1-10 kg N/ha/år) fra 2 arealer i oplandet til Gjærn å indikerer (Hoffmann & Grant, 2004). Data fra NPo forskningsprogrammet indikerer, at lavbundslande, der ikke drænes og ikke gødes, synes at have en meget lav N-udvaskning til vandmiljøet.

Ofte har der været fokus på, om tørveholdige lavbundslande i omdrift (og dermed dræned) vil have en stor N-udledning til vandløb. I dag har vi ikke målinger, der underbygger dette. Målinger på en lokalitet over 14 år, som nævnt ovenfor, er ikke tilstrækkelig til at drage konklusioner med hensyn til N-udledning. Vi har ikke målinger, der viser, hvordan nitratholdigt grundvand transporteres eller omsættes under strømning gennem lavbundsområder til vandløb. Det kan vise sig, at de lavbundsområder, der er minerogene, kan have en stor N-udledning til vandløb, hvis let omsættelig organisk stof er nedbrudt af mange års tilstrømning af nitratholdigt grundvand. Da grundvand i ådalen ofte strømmer i små lag af grus, sand eller i grænsen mellem tørv og andet materiale, ofte med høj hydraulisk ledningsevne og hvis N-reduktionen er opbrugt i denne strømningsskanal, vil nitratholdigt grundvand kunne strømme direkte ud til vandløbet. I sådanne tilfælde vil man kunne opnå en stor reduktion i N-udledningen/ha ved at udtage omdriftsarealer.

Konklusionen fra denne udredning er, at datagrundlaget for at opgøre N-udledning fra lavbundsarealer er begrænset, men de minerogene lavbundsarealer (eller hvor tørven er omsat) kan måske vise sig at være meget sårbare og evt. give anledning til stor N-udledning.

Derimod kan denitrifikationen i områder, hvor der stadig er tørv tilstede, være stor med en deraf resulterende lav udledning til vandløbene indtil tørven er omsat.

N-fjernelse via denitrifikation på lavbundsarealer afhænger af sedimentets indhold af organisk stof og/eller pyrit samt af grundvandsstand, flow og evt. tilstrømning af grundvand fra højjord. Derfor vil N-markbalancer ikke kunne give et retvisende billede af N-tabspotentialet for lavbundsarealer.

Videngrundlaget vedr. effekten på N-udledningen af at udtage arealer i ådalene herunder mulighed for i højere grad at målrette en udtagning bør derfor styrkes, såfremt dette virkemiddel ønskes bragt i anvendelse.

Indledning

Videncenter for Landbrug har bedt Institut for BioScience, Aarhus Universitet om en vidensbaseret udredning om landbrugsarealer vurderede sårbarhed for udledning af kvælstof til ferskvand og havmiljø. Institut for BioScience har i nærværende notat beskrevet det nuværende vidensgrundlag med hensyn til N-udledning fra lavbundsarealer.

N-udledning fra lavbundsarealer er primært knyttet til omsætningen af organisk stof og den overfladenære transport bl.a. via dræn og grøfter. I notatet beskrives hvordan lavbundsjordene er afgrænset og hvor meget de arealmæssigt udnyttes til landbrug. Hidtil har der ikke været så meget fokus på hvor stor N-udledningen er på minerogen lavbundsjord, der udnyttes landbrugsmæssigt. Disse typer af lavbundsjord kan måske vise sig at blive meget kritiske med hensyn til N-udledning til vandmiljøet og bliver gennemgået nedenfor.

Selvom en relativ lille andel af lavbundsjordene er organogen og i omdrift har der ofte været fokus på eller en forventning om at disse arealer giver et relativt stort bidrag af kvælstof til vandløb og grøfter, primært fordi jordens organiske stof omsættes, når dræning og ompløjning lugter og ilter jorden. Nedenfor gennemgås lavbundsjordenes N-udledning til grøfter og vandløb, og der skelnes mellem kvælstofudledning via dræn og udledning, som er grundvandsbetinget. Den grundvandsbetingede N-udledning er svær at måle. I dag findes der ikke specifikke danske målinger, der redegør for hvor stort dette bidrag udgør fra lavbundsjord hvilket jo så også gælder for de arealer, der udnyttes landbrugsmæssigt.

Ådalen er attraktiv både for landbruget og til rekreative formål. Landbrugsmæssigt er lavbund og ådalen attraktive idet disse arealer har et stort udbyttepotentiale betinget af god vandforsyning til afgrøder og fra de organogene jorde også ekstra N forsyning til planterne, når tørven omsættes.

Med hensyn til N-udledning gør vand og stofstrømme samt interne processer for N-fjernelse i ådalen det muligt at udnytte naturens naturlige hydrologi og stofomsætning til at fremtidssikre og forbedre retentionen af både N

og P på vandets og stoffernes transportvej til vandmiljøet. I det sidste afsnit gennemgås kort de mulige processer der kan fjerne N fra lavbundsområderne.

Landbrug i og uden for omdrift på Lavbundsarealer

Lavbundsjord har naturligt et relativt højtliggende grundvandsspejl, da disse arealer ligger relativt lavt i forhold til den nærliggende recipient. I den Danske Jordklassificering (Madsen et al., 1992) udgør lavbundsjordene 667.800 ha. Der findes ikke nogen entydig naturvidenskabelig definition på lavbundsjord. I jordklassificeringen blev lavbund afgrænset på Geodætisk Instituts målebordsblade 1:20.000, ud fra kortenes eng-, mose- og marsksignatur. Også landskabselementerne marsk, tørlagt inddæmet areal og littorina inkusiv marint forland er klassificeret som lavbund. Det betyder at lavbundsjordene dækker over den lavbund, der eksisterede i den første halvdel af 1900'erne. Da en del af littorina fladen ligger så højt at det formentlig ikke er grundvandpåvirket er det aktuelle lavbundsareal mindre end ovenfor angivet.

Landbrug dækker knap 70 pct. af lavbundsområderne og er opgjort ud fra ansøgte hektar til Enkeltbetalingsordningen i 2010, svarende til at 17 % af landbrugsarealet for hele landet ligger på lavbund (tabel 1).

Af landbrug på lavbund er ca. $\frac{3}{4}$ opgjort som værende i omdrift, hvor det meste forventes at være veldrænet. Den øvrige ca. $\frac{1}{4}$ er ikke i omdrift og hvor meget af dette, der er drænet og grøftet er uvist. Landbrugsarealet på lavbund i omdrift er opgjort med to metoder. Dels for de markblokke, hvor hele arealet udgøres af lavbund og dels for det landbrugsareal hvor også dele af markblokke udgøres af lavbund og hvor den andel af markblokken der ligger i lavbund er vægtes med hele markblokkens omdriftsandel. Begge metoder kan overestimere andel af arealet i omdrift, det er dog uvist hvor meget. For de markblokke hvor hele arealet udgør lavbund vil en stor andel ligge i Store og Lille Vildmose, begge har en stor andel af omdrift. I opgørelsen hvor kun dele af markblokke ligger i lavbund vil man forvente at omdriftsarealet primært ligger uden for lavbundsområdet.

Hovedparten af den danske lavbundsjord er minerogen. Ifølge ny kortlægning af humusjordene i Danmark udgør jord med mere end 3 pct. kulstof 177.231 ha, hvoraf 73 % er i omdrift, mens 107.000 ha har mere end 12 % C, hvoraf 65 % er i omdrift (Mogens Greve pers. komm.).

Nye målinger af netto nedbrydning af kulstof på drænede organogene og ugødede landbrugsjord på lavbund udgør mellem 35 og 136 kg C/ha/år og var ca. en faktor 1,7 højere på arealer i omdrift end på permanente græsarealer omend denne opdeling ikke var signifikant (Elsgaard et al., 2012 in prep.). Nedbrydning af tørven vil forventelig være noget større på gødede arealer. F.eks. fandt Pedersen (1978) at omsætning af tørven årligt fjernede 1 cm tørv i Store Vildmose for perioden 1930-1974, derudover var der en mekanisk sammensynkning af tørven på yderligere 176 cm.

Tabel 1. Arealpotentialet for landbrugsjord er opgjort hvor hele markblokke er dækket af lavbundsjord og hvor også en del af markblokke er vægтет i forhold til, hvor stor en andel af markblokken der er dækket af lavbund. Summen af det ansøgte landbrugsjord i alt og i omdrift er vist for de 23 hovedvandopland.

Område	Markblokke med 100 % areal inden for lavbund				Lavbund på ansøgt areal inkl. del af markblokke		
	Mark-blokke n	Ansøgt areal (ha)	Omdrift på ansøgt areal (ha)	Pct. omdrift (%)	Ansøgt areal (ha)	Omdrift på ansøgt areal (ha)	Pct. omdrift (%)
1.1. Nordlige Kattegat	3651	21358	17671	83	42132	31855	76
1.2. Limfjorden	8822	63927	54999	86	141861	111333	78
1.3. Mariager Fjord	352	4138	3761	91	7918	6475	82
1.4. Nissum Fjord	672	3028	2400	79	16266	13133	81
1.5. Randers Fjord	1450	7394	5155	70	26485	18958	72
1.6. Djursland	756	4721	3696	78	11539	8517	74
1.7. Århus Bugt	65	244	59	24	3481	2241	64
1.8. Ringkøbing Fjord	1122	6463	5053	78	38796	31426	81
1.9. Horsens Fjord	121	482	242	50	4339	2917	67
1.10. Vadehavet	1715	12470	8065	65	57719	41016	71
1.11. Lillebælt-Jylland	224	549	170	31	9500	5751	61
1.12. Lillebælt-Fyn	122	530	152	29	3677	1957	53
1.13. Odense Fjord	249	1328	983	74	6253	4510	72
1.14. Storebælt	52	142	92	65	1696	1156	68
1.15. Sydfynske	103	587	84	14	2794	1292	46
2.1. Kalundborg	373	1900	757	40	6849	3485	51
2.2. Isefjord og Roskilde Fjord	828	6327	4787	76	15252	10543	69
2.3. Øresund	130	798	578	72	3457	1216	35
2.4. Køge Bugt	252	2202	415	19	3307	1040	31
2.5. Smålands-farvandet	412	3051	1999	66	15640	10714	69
2.6. Østersøen	227	2522	1696	67	8033	5381	67
3.0. Bornholm	4	3	2	58	502	353	70
4.0. Kruså	1055	6844	4506	66	21568	16412	76
Sum	22757	151007	117323	78	449067	331683	74

Kvælstofudvaskning fra lavbundsarealer via dræn

Vores viden om hvor stor N-udledning via dræn er fra lavbundsjord er forholdsvis lille både for lavbundsarealer med natur og de lavbundsarealer der udnyttes landbrugsmæssigt.

N-udvaskning fra gødede humusholdige lavbundsjord i omdrift viser stor spredning som ud over mængden af gødning og sædskifte påvirkes af tørvens omsætningsgrad og vandpåvirkning. Vandstanden i tørven og N-udledning er betinget af hvor detaildrænet og grøftet områderne er. I Danmark er der meget få målinger af N og P udvaskning på humusholdige lavbundsjord. Og på nogle af de målte lokaliteter er N-udvaskningen via dræn meget høj, fordi området er drænet lige inden eller få år inden målinger startede (tabel 2).

Tabel 2. Målt N-udvaskning fra humusholdige lavbundsjord med og uden dræning i Danmark

Lokalitet	Jordtype	N-tilførsel (kg N/ha/år)	N-udvaskning (kg total N/ha/år)			Dræn
			Dræn	Nedsivning	Måleår	
<i>Gødet og drænet i omdrift</i>						
Moræne ¹			22	lille	14	
Marsk, Højer ¹	12 % ler	50-200	28	lille	14	
Tørv, Skjernådal ¹	26 % C	30-120	126	lille	14	Nydrænet
Volsted ³	85-90 % humus	Græs slet /Vinterhvede 110-285	45 & 111	43 & 50	2	Nydrænet
Gøderup ^{3*}	29 % humus	100	289		1	Nydrænet
Skovsbjerg ³	78-89 % humus	100	21 & 27	68 & 84	2	Nydrænet?
<i>Gødet og drænet vedvarende græs</i>						
Gjern ²	Tørvejord		1		1	
Gjern ²	Tørvejord		11		1	
<i>Ikke drænet vedvarende græs eller mose</i>						
Kærhuset ³	70-86 % humus	75	-	20 & 35	2	udrænet
Gøderup ³ mose	44 % humus		-	8	1	udrænet
<i>Reference for deloplande</i>						
Fussingø ⁴	Lavbund	Skov 50 ha Eng 59 ha	6		3	
Fussingø ⁴	Lavbund	122 ha lavbund 70 ha landbrug 95 ha skov	15		3	
LOOP 1 – Lolland ⁵	Lerjord		25			90/91-94/95
	Lerjord		16			01/02-09/10
LOOP4 - Fyn ⁵	Lerjord		41			90/91-94/95
	Lerjord		17			01/02-09/10

1) Pedersen (1985). 2) Hoffmann & Grant (2004). 3) Hansen et al. (1990). 4) Hoffmann & Ovesen (2003) 5) Grant, R. (Pers. Kom.)

* høsten druknede idet drænpumpen ikke var sluttet til, vinterhveden blev nedpløjet

N-udvaskning via dræn fra en gødet lavbundsjord der er i omdrift og som for nylig er blevet drænet med tilsvarende landbrugsmæssige udnyttelse er for en 14 årig periode målt til gennemsnitlig 126 kg N/ha. Den høje udvaskning skyldes at området blev drænet lige før målingerne startede, hvorved der foregik en stor mineralisering af tørv, og hvor udvaskningen primært var ammonium. I løbet af de 14 år falder ammonium koncentrationen fra ca. 50 mg N/l i de første 6 år til 15-17 mg N/l de sidste 3 måleår. Drænafstrømningen for det hydrologiske år stiger i forhold til hvor intensiv arealet er drænet, gennemsnitlig 395, 350 og 227 mm med en drænafstand på henholdsvis 7½, 15 og 30 m. Ganges den gennemsnitlige ammoniumkoncentration på 17 mg N/l målt for det sidste måle år, giver det et overslag over N-udvaskningen via dræn på henholdsvis 67, 60 og 38 kg N/ha for det hydrologiske år. Til sammenligning udgør den årlige drænafstrømning for landbrugsjord 10-30 kg N/ha målt på 15 lokaliteter igennem 7 eller 10 år (Pedersen, 1983, Simmelsgaard, 1994).

Også de 3 lokaliteter der er målt i Hansen et al. (1990) er forholdsvis nydrænedede og N-udvaskningen via dræn udgør 21 og 27 kg N/ha for lokaliteten Skovsbjerg og 45 og 111 for lokaliteten Volsted, hvor den høje udvaskning

kan relateres til ompløjning af intensiv dyrket sletgræs efter fulgt af vinterhvede. Den tredje lokalitet i Hansen et al. (1990) har en meget høj drænvaskning på 289 kg N/ha, som kan relateres til at vinterhveden druknede og derfor blev nedpløjet..

Hvis lavbundsområdet dyrkes som varigt græs og ikke er i omdrift men stadig drænet forventes N-udvaskningen via dræn at ligge forholdsvis lav, hvilket foreløbige målinger (1-10 kg N/ha/år) fra 2 arealer i oplandet til Gjærn å indikere (Hoffmann & Grant, 2004). Lavbundslande der ikke drænes og ikke gødes synes at have en meget lav N-udvaskning til vandmiljøet. Målinger af ammonium og nitrat i jordvand og grundvand for 3 lokaliteter viser meget lave koncentrationer sammenlignet med tilsvarende arealer der gødes, drænes og er i omdrift (Hansen et al, 1990) (Tabel 3).

Tabel 3. Nitrat koncentration i jordvand fra tørv og koncentrationer af Total opløst kulstof (TOC), ammonium, nitrat og total N målt i grundvand på dræned og udræned humusjorde (efter Hansen et al. 1990).

Lokalitet	Humus (%)		Afgroeder	Nitrat i jordvand (mg NO ₃ -N/l)				Grundvand (mg/l)				
	0-25	75-100		0-25	25-50	50-75	75-100	TOC	NH ₄ -N	NO ₃ -N	t-N	cm ut.
Drænet og gødet												
1	58	28	Omdrift	42	38	44	25	31	1	13	17	59-72
4	23	34	Omdrift	40	47	35	35	21	7	5	12	34-87
7	13	11	Omdrift	19	24	19	3	29	16	1	21	34-78
8	27	26	Omdrift	8	18	21	16	-	2	17	-	0-30
9	58	51	Varigt græs	3	3	0	0	-	2	8	-	80-150
6	28	19	Omdrift med græs	2	2	1	1	-	2	3	-	65-150
Ikke drænet og uden gødning												
2	36	16	Mose	3	0	0	0	8	1	0	2	7-15
3	14	21	Varigt græs	1	1	0	0	18	1	0	3	17-43
5	27	27	Varigt græs	3	3	0	0	-	2	8	-	0-60

Vores vidensgrundlag omkring N-udledning fra lavbund og pumpede områder er langt fra fyldestgørende. Blandt andet viser målinger på både dræned og pumplede nordjyske lavbundsarealer meget lave kvælstofkoncentrationer. Det kan ikke udelukkes at den lave kvælstofkoncentration fra nogle lavbundsarealer, kan skyldes en stor kvælstofreduktion ved denitrifikation. (Charlotte Kjærsgaard pers. komm.). Det er dog væsentligt at der for lavbundsarealer redegøres for vandbalancen da en lav kvælstofkoncentration kan skyldes en stor tilstrømning af reduceret grundvand, hvor en stor afstrømning selv med lav kvælstofkoncentration kan bidrage til en betydende belastning. For kulstofrige arealer kan ammonium og total N udgøre et betydeligt bidrag til kvælstoftabet, hvorfor målinger af kvælstoftab også bør inkludere disse former.

Grundvandsbidrag fra lavbundsområder til vandløb og grøfter

I dag har vi ikke viden og målinger af hvor meget kvælstof det strømmer til grøfter og vandløb via grundvand fra lavbundsområderne og slet ikke nogen viden om sammenspillet imellem kvælstofomsætning, vandpåvirkning og udledning for de forskellige typer af lavbundsområder der eksisterer i landet. Grundvandsbetinget N-udvaskning til vandløb og grøfter fra lavbundsområder vil i de områder, hvor der er vandmættet tørv eller pyrit være forholdsvis lav, mens udledningen formentlig vil være højere, hvis tørven er nedbrudt og pyriten allerede er oxideret. Det kan vise sig at de lavbundsområder der er minerogene kan være kritiske med hensyn til N-udledning til vandløb, hvis let omsættelig organisk stof er nedbrudt gennem mange års

tilstrømning af nitratholdigt grundvand. Netop fordi grundvand i ådalen ofte strømmer i små lag af grus, sand eller i grænsen mellem tørv og andet materiale, ofte med høj hydraulisk ledningsevne. Når N-reduktionen er opbrugt i denne strømningskanal vil nitratholdigt grundvand kunne strømme direkte ud til vandløbet.

På nydrænet tørvejord i Skjern å dalen blev et relativt stort pyrit-indhold i 0-60 cm's dybde på mellem 4 og 29 tons/ha nedbrudt i løbet af 14 år, mens indholdet på 66 tons /ha i 60-90 cm's dybde blev reduceret til ca. $\frac{1}{4}$ (Pedersen, 1985). Grundvandsbidrag af kvælstof kan være en "tikkende bombe" i de tilfælde hvor organisk stof og pyrit er iltet og/eller omsat. I disse iltede og/eller anoxiske miljøer vil der være en risiko for at nitraten ikke blive omsat inden de når ud til grøfter og vandløb. Pyrit vil dog stadig kunne dannes i anaerobe miljøer, hvis sulfat og jern tilføres med grundvand.

Afhængig af hvor omsat tørven er, vil mineralisering af tørven i sommerhalvåret kunne bidrage med en stor intern N-tilførsel, hvilket ikke i samme omfang vil være tilfældet for de minerogene lavbundsarealer. En ændring i management fx ingen pløjning vil forventelig have en større effekt på drænudledningen fra organogen end fra minorogene lavbundslande. Omvendt vil man kunne forvente at N-reduktionen defineret som N fjernelse fra bunden af rodzonen og ud til grøfter og vandløb vil være større på organogene jorde, hvis tørven er dybere end rodzonen og/eller dybere end grundvandspejlet, mens på minorogen lavbund og lavbund med lille tørvedybde er der måske en lavere N fjernelse hvis der ikke er kulstof fra tørv eller pyrit der kan omsætte nitrat. Som før nævnt har vi ikke danske målinger der kan afdekke N-udledning relateret til mængde af tørv og/eller pyrit og strømningsveje dræn eller grundvandsbetinget. Desuden er det uklart hvor stor dræningseffekten isoleret er på tørvmineraliseringen for fx drænedede lavbundsarealer med vedvarende græs.

N-reduktionspotentialiet i vandmættede tørvarealer i vinterhalvåret forventes at været betydeligt, mens minerogene / sandede lavbundsarealer ikke har tilsvarende høje N-reduktionspotentialer. I forhold til effekten på N-udledning kan en øget N-mineralisering i sommerhalvåret teoretisk kompenseres ved et højere N-reduktionspotential i vinterhalvåret, hvor den endelige effekt på N-udledningen vil afhænge af afstrømningsforholdene (se nedenfor). For arealer med høj denitrifikation kan der dog forekomme N-tab i form af $\text{NH}_4\text{-N}$ og/eller organisk-N, igen afhængigt af afstrømningsforholdene.

Lavbundsarealer (også drænedede) vil i vinterhalvåret typisk være påvirket af til/gennem-strømmende grundvand med deraf følgende højt grundvandspejl (terræn nært). Afhængigt af grundvandspejlets beliggenhed, trykpotentialer og hydraulisk ledningsevne kan der på lavbundsarealer både forekomme vertikal nedsivning til dræn og/eller vertikal/horisontal grundvandstilstrømning. De lokale hydrauliske forhold vil således påvirke afstrømningsforholdene via drænen. Tilsvarende vil vandstanden i grøft/vandløb påvirke afstrømningen fra lavbundsarealet. De lokale (og års-tidsbestemt) hydrauliske forhold vil således kontrollere afstrømningen af vand fra rodzonen.

N-markbalancer giver begrænset information om lavbundsarealers potentielle N-udledning

N-markbalancer anvendes ofte til at give et estimat af hvor stor N-udvaskningen er fra rodzonen. Markbalancerne opgøres som tilført kvælstof med handelsgødning, husdyrgødning, slam og affaldsprodukter fra industri, N-fixering, deposition og tilførsel med såsæd minus den kvælstofmængde der fjernes med høstede produktioner. N-markbalancen er et samlet udtryk for tabsposterne N-udvaskning fra rodzonen, denitrifikation, ammoniakfordampning og ændringer i de organiske puljer. I nogle tilfælde opgøres N tabet via denitrifikation og ændringer i de organiske puljer med empiriske eller andre modeller (Jensen et al., 2006). Da N-fjernelse via denitrifikation på lavbundsarealer som ovenfor nævnt i høj grad afhænger af sedimentets indhold af organisk stof og/eller pyrit samt af grundvandsstand, flow og evt. grundvandstilstrømning fra andre arealer vil disse N-markbalancer ikke give det samme revisende billede af det potentielle N-tab fra rodzonen for lavbundsarealer, som markbalancen giver for minerogen højjord. I dag er der ikke modeller og tilstrækkelig måledata, der kan beskrive den heterogene omsætning og vanddynamik, der fjerner N via denitrifikation eller nedbryder tørv i lavbundsområderne.

Risiko for P udvaskning fra reetablerede lavbund

Den landbrugsmæssige udnyttelse med dræning og gødskning af de ånære lavbundslande har bevirket, at mange af disse arealer i dag indeholder betydelige mængder akkumuleret fosfor (Kjærgaard, 2007), der ved restaurering og med højt grundvandsspejl til følge kan være en potentiel fosforkilde til vandmiljøet.

Kvælstoffjernelse i enge og vådområder

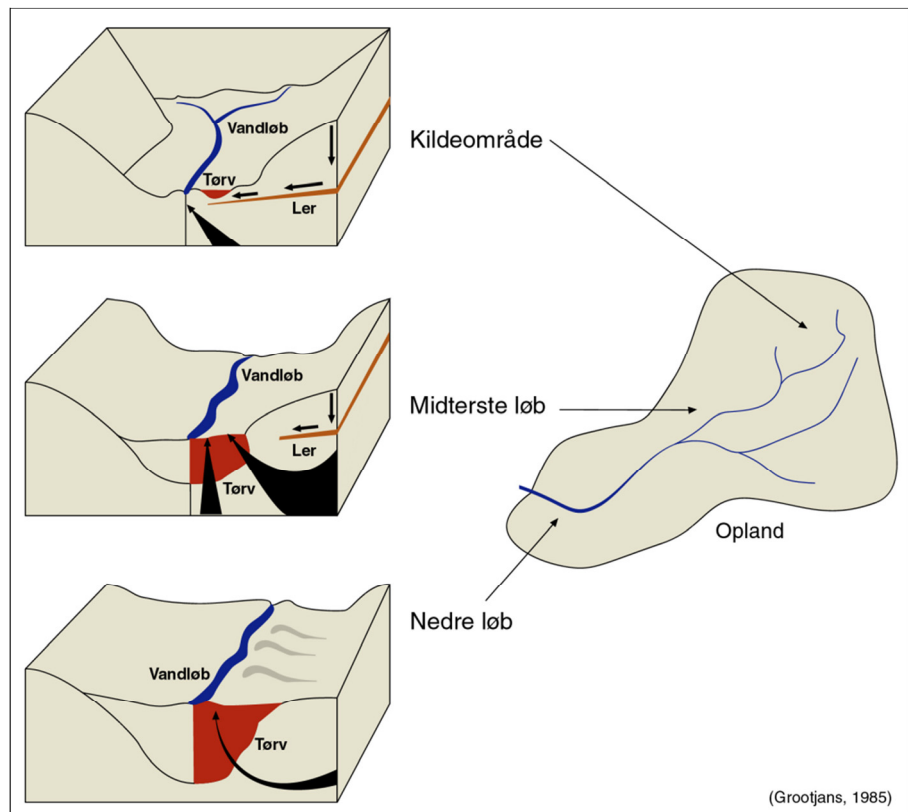
I de vandløbsnære arealer kan nitrat fjernes ved overrisling med drænvand, ved oversvømmelse med vandløbsvand, ved gennemstrømning af nitratholdigt grundvand i reducerende sedimenter enten i enge eller gennem vandløbsbunden og ved oversvømmelse. Stor N-fjernelse i vådområder opnås på lokaliteter, hvor meget grundvand med forholdsvis høje nitratkoncentrationer strømmer igennem et vådområde i geologiske lag, som kan reducere nitraten.

Grundvandstilstrømning til enge og vandløb

I et idealiseret afstrømningsopland vil den største grundvandstilstrømning foregå i midten af vandløbssystemet, mens tilstrømningen øverst i et vandløbssystem er lille og evt. fra sekundære grundvandsmagasiner (Grootjans (1985) (Figur 1).

Tilstrømningen nederst i vandløbssystemet kan også være forholdsvis stor, men hovedparten af tilstrømningen foregår i vandløbsbunden, således at de vandløbsnære arealer mere er påvirket af oversvømmelse end direkte af grundvands-gennemstrømning. På vandløbsnære arealer findes ofte et meget heterogent jordbundsprofil med varierende lag; bånd af tørv og tynde lag af grus, sand, ler eller silt som kan være aflejret ved oversvømmelse af vandløbet eller ved erosion af ådalsskrænten.

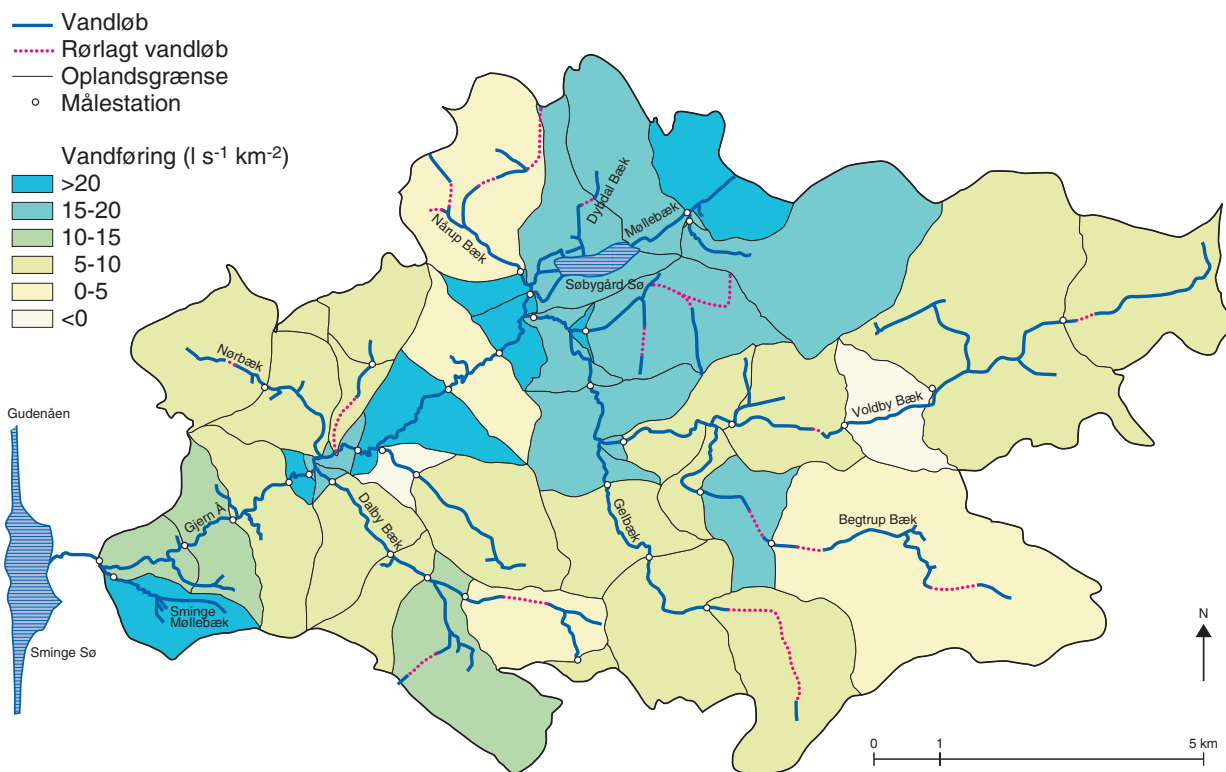
Figur 1. Stileret grundvandstilstrømning til ådal og vandløb (efter Grootjans, 1985).



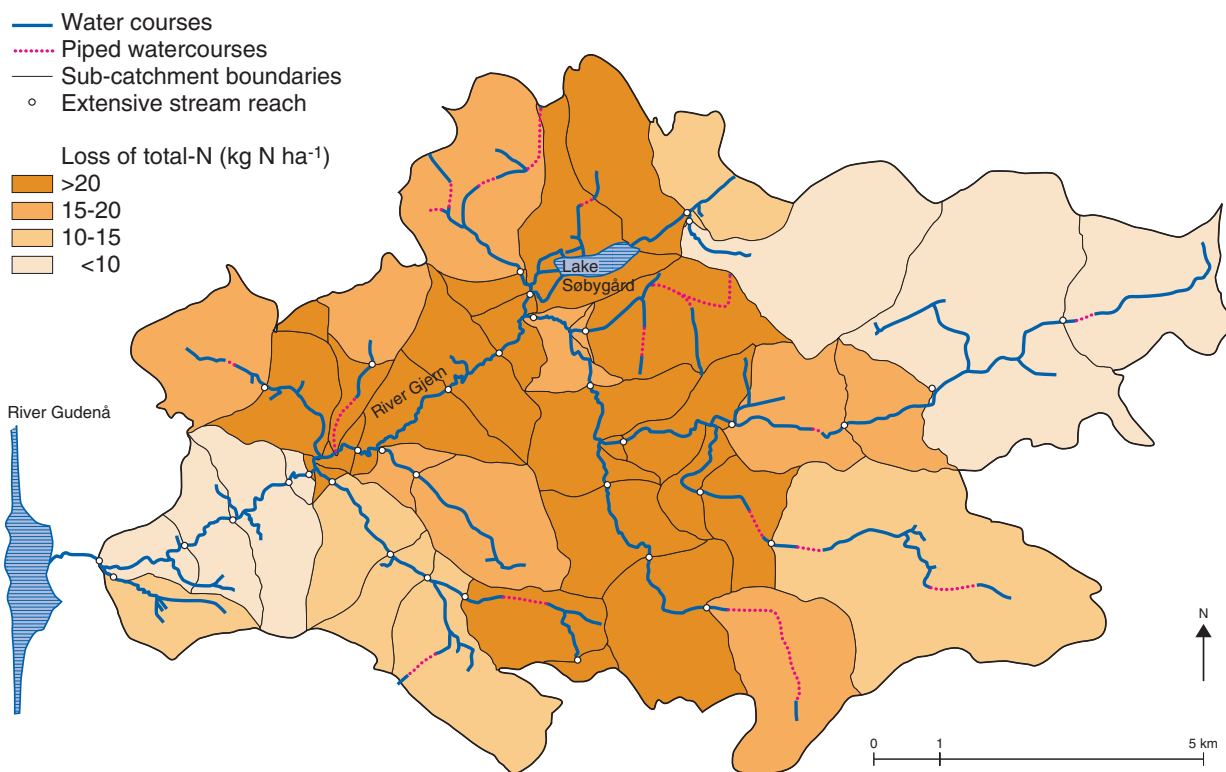
Målinger af vand- og total N-afstrømningen i 35 deloplande i Gjern å viser stor variation i mellem deloplandene (Kronvang et al., 1999a)(Figur 2 og 3). Deloplandene er optegnet som topografiske oplande. Grundvandsdannelsen foregår i grundvandsoplande, der er relateret til placering af vandskel og udbredelsen af vandførende geologiske sedimenter. Til et sårbarhedskort for N-udledning opdelt på deloplande i oplandet til Gjern å vil det ikke være nok at kigge på de topografiske deloplande fordi grundvandet er dannet på tværs af deloplandenes topografiske skel.

Karakteristik for vådområder er at transportvejen til vandløbet oftest er meget kompliceret. Grundvand kan løbe under selve engen eller vådområdet og først strømme til vandløbet i vandløbsbunden eller grundvand kan strømme mere eller mindre parallelt med vandløbet eller i specielle geologiske lag, hvor stor gennemstrømning foregår i små lag af grus eller sand. Endelig kan det forekomme at vand strømmer fra vandløbet og ind i brink og eng og ud igen til vandløbet. N-fjernelsen i enge og vådområder er derfor variabel primært fordi de geologiske, fysiske og hydrologiske forhold er heterogene.

Målingerne af vand og kvælstofafstrømningen i oplandet til Gjern å viser at det vil kræve ret nøjagtige målinger og beskrivelser af geologi, vandets strømningsveje og lokalisering af N-reduktionen både i grundvand og i de ånære arealer for at kunne give et realistisk kort over et oplands sårbarhed for N-udledning til vandløb.



Figur 2. Årlig afstrømning fra 35 deloplade målt i perioden marts 1994-juni 1996 i oplandet til Gjern Å (figur delvis fra Kronvang et al., 1999a).



Figur 3. Total N afstrømning til 35 deloplade er målt i perioden marts 1994-juni 1996 i oplandet til Gjern Å (figur delvis fra Kronvang et al., 1999b).

Ådalens potentiale for N-fjernelse fra dræn og grundvand

Ådalens potentiale for mindre N-udledning til vandløbet kan inddeles i flere elementer i) en mindre N-udledning der er betinget af en ændret landbrugsdrift i ådalen ii) N-fjernelse der potentielt kan opnås ved at stoppe dræn i selve ådalen iii) overrisling af drænvand fra opstrømsarealer hvorved der vil ske en fjernelse af nitrat fra det overrislende drænvand. iv) en N fjernelse ved at nitratholdigt grundvand strømmer igennem et vådområde kan bl.a øges ved at reducere vandløbsvedligeholdelsen eller restaurere vandløbet og dermed øge vandstanden i vandløb og ådal.

Målte N-fjernelser ved overrisling med drænvand dannet i oplandet til ådalen, fjernelse hvor nitratholdigt grundvand strømmer igennem vådområder og oversvømmelse af enge med vand fra vandløbet er beskrevet i Hoffmann og Grant (2004). Resultaterne fra denne gennemgang er kort vist nedenfor.

Overrisling og infiltration af nitratholdigt drænvand (iii) kan fjerne betydelig mængde nitrat. Målinger viser fjernelse på 133 – 2.725 kg NO₃-N /ha/år. De største procentuelle fjernelser er i de undersøgelser hvor mængden af drænvandet der overrisler engen er afstemt, så vandet kan nå at infiltrere jorden. Dette er tilfældet på engene ved Stevns, mens de målte høje N-fjernelser fra Glumsø skyldes at dette er et forsøg hvor rørskoven har forskellige vand og nitratbelastninger (tabel 4). Ved høj belastning eroderer vandet en strømrende i engen og N-fjernelsen bliver mindre og med risiko for sedimenttransport til vandløbet.

Tabel 4. Oversigt over nitratfjernelse ved overrislingsforsøg med drænvand eller åvand. Ved opgørelsen er der taget højde for at drænvand ikke løber hele året, tabel fra Hoffmann og Grant (2004).

Lokalitet	Kg NO ₃ -N ha ⁻¹ år ⁻¹	%
Glumsø, rørskov§	520	65
Glumsø, rørskov§	975	62
Glumsø, rørskov§	2725	54
Glumsø, fuldskala	569	94
Stevns å, eng*	350	99
Stevns å, eng med gammelt drænrør	-	99
Syv bæk, eng	300	72
Stor å, genskabt eng	530	48
Gjern å, eng*§ (min)	34	88
Gjern å, eng*§ (max)	200	98

* korttidsforsøg

§ Forskellig hydraulisk belastning og forskellig nitratbelastning.

Kvælstoffjernelse via denitrifikation af nitratholdigt grundvand der strømmer igennem udrænedede ånære arealer (iv) er meget effektiv, mellem 50 og 100 % af det tilførte nitrat fjernes under vandets transport igennem eng og/eller vådområde (tabel 5). Fjernelsesraten varierer mellem 10 og 2100 kg N/ha/år hvilket især afhænger af mængden af grundvand og nitratkoncentration der strømmer igennem vådområdet. Forudsætning for en god fjernelse er at der er organisk stof der fungerer som energikilde for de bakterier der omsætter nitraten. I nogle områder primært okkerpotentielle kan pyrit være energikilde til nitratomsætningen.

Tabel 5. Oversigt over nitratfjernelse i forskellige vådområder, hvor nitratholdigt grundvand løber igennem området.

Lokalitet	Kg NO ₃ ⁻ -N ha ⁻¹ år ⁻¹	%
Stevns å, eng	57	97
Rabis bæk, eng	398	56
Gjern å:		
A, eng, 1992	326	59
1993	340	65
1994	119	68
B, mose (1993)	2100	97
B, mose (5 års målinger)	1079	97
C, eng (5 års målinger) OBS	541	96
D, eng (5 års målinger) OBS	398	97
E, eng *	10.4	100
Brede å, storskala enge (63 ha) 1996	92	71
Brede å, storskala enge (94 ha) 2000	108	96
Gudenåens Kilder, storskala enge (57 ha)	8.4	57

* hertil kommer et bidrag på 52,7 kg N ha⁻¹ år⁻¹ fra oversvømmelse.

Under Vandmiljøplan II blev N-fjernelsen i re-etablerede vådområder overvåget. Før re-etablering beregnede de daværende amter en N-fjernelse ud fra metoder der er beskrevet i en teknisk anvisning til dette formål (Hoffmann et al., 2000; 2003). Den gennemsnitlige beregnede N-fjernelse udgjorde 257 kg N/ha/år, men den målte fjernelse varierede mellem 39 og 372 kg N/ha/år.

Resultaterne viser at for 4 vådområder (Lindkær, Horne Mølleå, Karlsmosen og Snaremose) svarede den målte og den beregnede N-fjernelse nogenlunde til hinanden, dog var de målte fjernelser lidt højere end de beregnede (Tabel 6).

Tabel 6. Målt og/eller beregnet N-fjernelse i 10 reetablerede VMP II vådområder (opdateret tabel af C.C. Hoffmann fra Hoffmann og Baattrup-Pedersen (2007)).

Projektområde	Målt N-fjernelse (kg N ha/år)	Ændret areal- anvendelse (kg N ha/år)	Målt og ændret areal- anvendelse (kg N ha/år)	Beregnet N (kg N ha/år)
Egebjerg enge	53	-	53	200
Hellegård å	!	-	!	280
Kappel	14	25	39	140
Geddebækken	90	35	125	215
Horne Mølleå	220	35	255	200
Karlsmosen	337	35	372	270
Lindkær	191	35	226	235
Snaremose "Sø"	256	35	291	200
Frisvad Møllebæk	(op til 95)		(279)!	279
Ulleruplund	133	37	170	210
Gammelby Bæk	83	22	105	343
Nagbøl Å	163	24	187	300
Hjarup Bæk	170	30	200	475

For 6 vådområder (Egebjerg Enge, Kappel, Geddebækken, Gammelby Bæk, Nagbøl Å og Hjarup Bæk) er der stor forskel imellem den målte og den beregnede N-fjernelse. En af grundene til den store forskel kan skyldes at vand og kvælstoftilførslen er anderledes end beregnet ud fra den tekniske anvisning. De ovenfor viste målinger af vand- og N-afstrømningen for deloplande i oplandet til Gjern å viser at der er stor variation inden for et opland som det ikke er muligt at inddrage i de overordnede beregningsforudsætninger beskrevet i den tekniske anvisning for beregning af N-fjernelse ved reetablering af vådområder (Hoffmann et al., 2000).

Referencer

Elsgaard, L., Schäefer, C.M., Hoffmann, C.C., Blicher-Mathiesen, G., Schelde, K. og Petersen, S.O. (2012). Net ecosystem exchange of CO₂ and carbon balance for eight agricultural and organic soils in Denmark. (In prep).

Grootjans, A.P. (1985). Changes of groundwater regime in wet meadows. Thesis, University of Groningen.

Hansen, B., Hansen, A.C., Hoffmann, C.C. & Nielsen, H. (1990). Vand- og stofbalance på lavbundsjord. NPO forskning fra Miljøstyrelsen no. C14. 74 s.

Hoffmann, C.C., Nygaard, B., Jensen, J.P., Kronvang, B., Madsen, J., Madsen, A.B., Larsen, S.E., Pedersen, M.L., Jels, T., Baattrup-Pedersen, A., Riis, T., Blicher-Mathiesen, G., Iversen, T.M., Svendsen, L.M., Skriver, J., Laubel, A.R., 2000. Overvågning af effekten af reetablerede Vådområder Teknisk Anvisning fra DMU nr. 19. National Environmental Research Institute, 112 s.

Hoffmann, C.C. & Grant, R. (2004). Ophør af omdrift på lavbundsarealer. I: U. Jørgensen (red.) Muligheder for forbedret kvælstofudnyttelse i marken og for reduktion af kvælstoftab. Faglig udredning i forbindelse med forberedelsen af Vandmiljøplan III. DJF rapport Markbrug no. 103, Danmarks Jordbrugsforskning, Tjele. S. 180-187.

Hoffmann, C.C. & Baattrup-Pedersen (2007). Re-establishing freshwater wetlands in Denmark. *Ecological Engineering* 30, 157-166.

Hoffmann, C.C., Baattrup-Pedersen, A., Kjærgaard, C. og Hasler, B. 2010. Vådområder. I: Kronvang et al. (red.) Kortlægning af risikoarealer for fosfortab i Danmark. B6. Arealændringer i risikoområder. Årg. 1, 2010. Tilgængelig via <http://www.nprisikokort.dk/virkemidler/virkemidler.html> (verificeret 7/1 2011).

Petersen, J., Petersen, B. M., Blicher-Mathiesen, G., Ernsten, V. og Waagepetersen, J. 2006. Beregning af nitratudvaskning: Forslag til metode, der sikrer ensartethed i sagsbehandlingen i forbindelse med fremtidig miljøgodkendelse af husdyrbrugs-udvidelser. Danmarks JordbrugsForskning. 144 s. DJF rapport Markbrug nr. 124.

Kronvang, B., Svendsen, L.M., Jensen, J.P. & Dørge, J. (1999a). Scenario analysis of nutrient management at the river basin scale. *Hydrobiologia* 410: 207-212.

Kjærgaard, C. (2007). Fosforstatus, binding og tabsrisiko fra danske organogene lavbundsjord. I: Udpegning af risikoområder for fosfortab til overfladevand. DFFE-projekt under VMPIII 2004-2006.

Kronvang, B., Hoffmann, C.C., Svendsen, L.M., Windolf, J.W., Jensen, J.P. & Dørge, J. (1999b). Retention of nutrients in river basins. *Aquatic Ecology* 33, 29-40.

Pedersen, E.F. (1978). Tørvelagets sammensynkning og mineralisering I Store Vildmose. Statens Planteavlsvforsøg, Beretning nr.1425.

Pedersen, E.F. (1985). Drænvandsundersøgelser på marsk- og dyb tørvejord 1971-84. *Tidsskrift Planteavl* 89: 319-329.

Pedersen, E.F. (1983). Drænvandsundersøgelser 1971-91. *Tidsskrift for Planteavls Specialserie*. Beretning nr. S1667. 53s.