

<b>Kvælstofudvaskning i to meters dybde – konsekvenser for udvaskning til grundvandsmagasi-</b> Projekt: 4591, Kvælstofudvaskning målt med sugeceller	Ansvarlig	KRP
	Oprettet	18-03-2020
	Side	1 af 13

STØTTET AF

Promilleafgiftsfonden for landbrug

## **Kvælstofudvaskning i to meters dybde – konsekvenser for udvaskning til grundvandsmagasiner**

### **Introduktion/ Baggrund**

I EU's nitratdirektiv er det fastsat at kvælstofkoncentrationen i grundvand og overfladevand ikke må overstige 11,3 mg nitrat N pr. liter. Denne grænseværdi gælder også for grundvand der anvendes til drikkevand, og kendes i daglig tale som "drikkevandsgrænsen". En væsentlig del af den danske drikkevandsbeskyttelse går derfor ud på at sikre, at nitratkoncentrationerne i det vand der nedsiver til grundvandsmagasinerne, er under 11,3 mg nitrat-N pr. liter.

Indsatsbehovet i grundvandsbeskyttelsen kvantificeres ofte ved, at man modellerer nitratkoncentrationen i det vand der afstrømmer til grundvandsmagasiner enten ud fra bl.a. nedbør, tilført gødningsmængde og afgrødefølge (f.eks. NLES modellerne), eller ud fra simple relationer mellem nedbør og kvælstofoverskud. NLES modeller beregner kvælstofkoncentrationen i det vand der forlader rodzonen, hvor rodzonens udstrækning defineres operationelt til en meters dybde. Når vandet har forladt rodzonen antager man, at nitratkoncentrationen stort set ikke ændres før den eventuelt møder et nitrat reducerende lag der beskytter grundvandsmagasinet. Der regnes kun sjældent med, at der kan ske mikrobiologisk denitrifikation baseret på nedsivende opløst kulstof, i jordlagene umiddelbart under rodzonen, eller at visse afgrøder kan optage kvælstof fra større dybder end en meter, fordi deres rodnet på veldrænet lerjord kan strække sig dybere end en meter. Sidstnævnte gælder f.eks. vinterhvede og raps, hvor rodtybden kan nå ned til to meter.

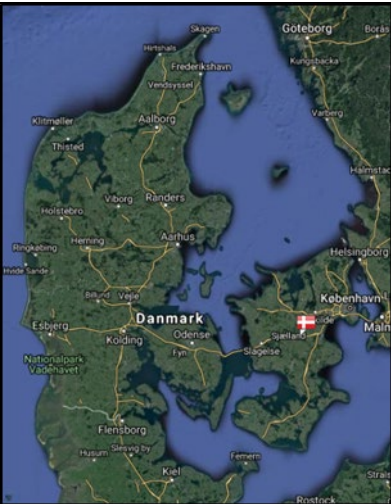
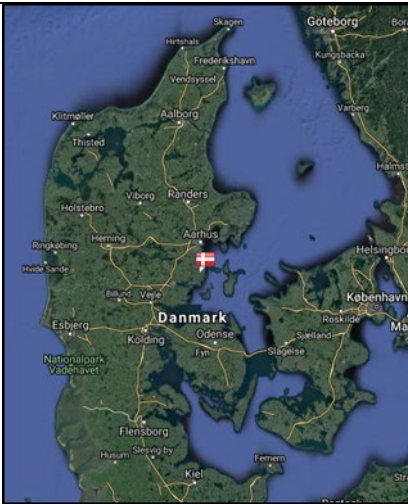
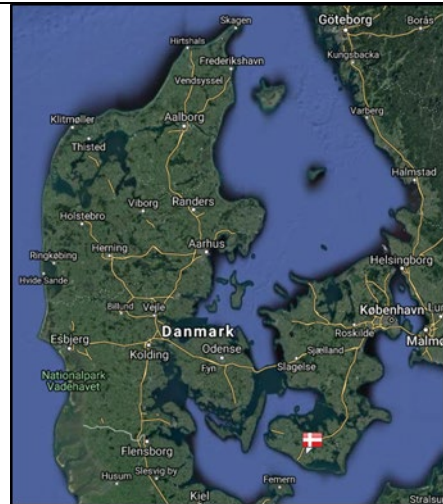
For at klarlægge i hvor høj grad der sker kvælstoffjernelse under en meters dybde, har SEGES i de senere år gennemført forsøg, hvor nitratudvaskningen fra rodzonen bliver målt med sugeceller, i både en og to meters dybde. Udvasningsforsøg fra tre lokaliteter i Danmark blev gennemført fra 2017 til 2019 for at bestemme forskellen i kvælstofudvaskning i en og to meters dybde.

### **Metode**

Udvasningsforsøgene blev udført fra tre lokaliteter i Danmark: Ringsted på Sjælland, Odder i Østjylland og Holeby på Lolland. I forsøgene er der målt kvælstofkoncentrationer i jordvandet med sugeceller gennem et til tre år. Forsøgene på Sjælland og Østjylland er forsøg med stigende kvælstoftilførsel, hvor der tilføres mellem 0 – 300 kg N pr. ha til afgrøden. Sugeceller i to meters dybde er i disse forsøg alene monteret i det forsøgsled, der er tilført 300 kg N pr. ha. For forsøget på Lolland er der tale om et sædskifteforsøg, hvor alle afgrøder er tilstede i forskellige parceller i hvert år. Sædskiftet er et korn-rapssædskifte, med og uden efterafgrøder og ved to kvælstofniveauer, norm og 1,5 x norm. I forsøget på Lolland er der sugeceller i to meters dybde i halvdelen af parcellerne, og resultaterne omfatter således forskellige behandlinger af N-gødsning, afgrøder og efterafgrødestrategier. Placering på kort, jordtyper og afgrøder er vist i tabel 1.

Forsøgene gennemføres med fire gentagelser af hver behandling, og i forsøgene på Sjælland og i Østjylland er der således tale om fire samhörende par af kvælstofkoncentrationer for hver måledato.

**Tabel 1.** Placering på kort, jordtyper og afgrøder på forsøgsarealerne.

Sted	Sjælland, DK	Østjylland, DK	Lolland, DK
Placering på kort			
Jordtyper	JB 6	JB 6	JB 6
Afgrøder	Vintersæd og raps	Vintersæd	korn-rapssædskifte
Behandling	300 kg N ha <sup>-1</sup>	300 kg N ha <sup>-1</sup>	Norm kvælstof

Målinger af NO<sub>3</sub>-N-koncentration i en- og to meters dybde blev målt ved anvendelse af sugeceller. Resultaterne er opdelt i agrohydrologiske år (1. april til 31. marts), i stedet for kalender år.

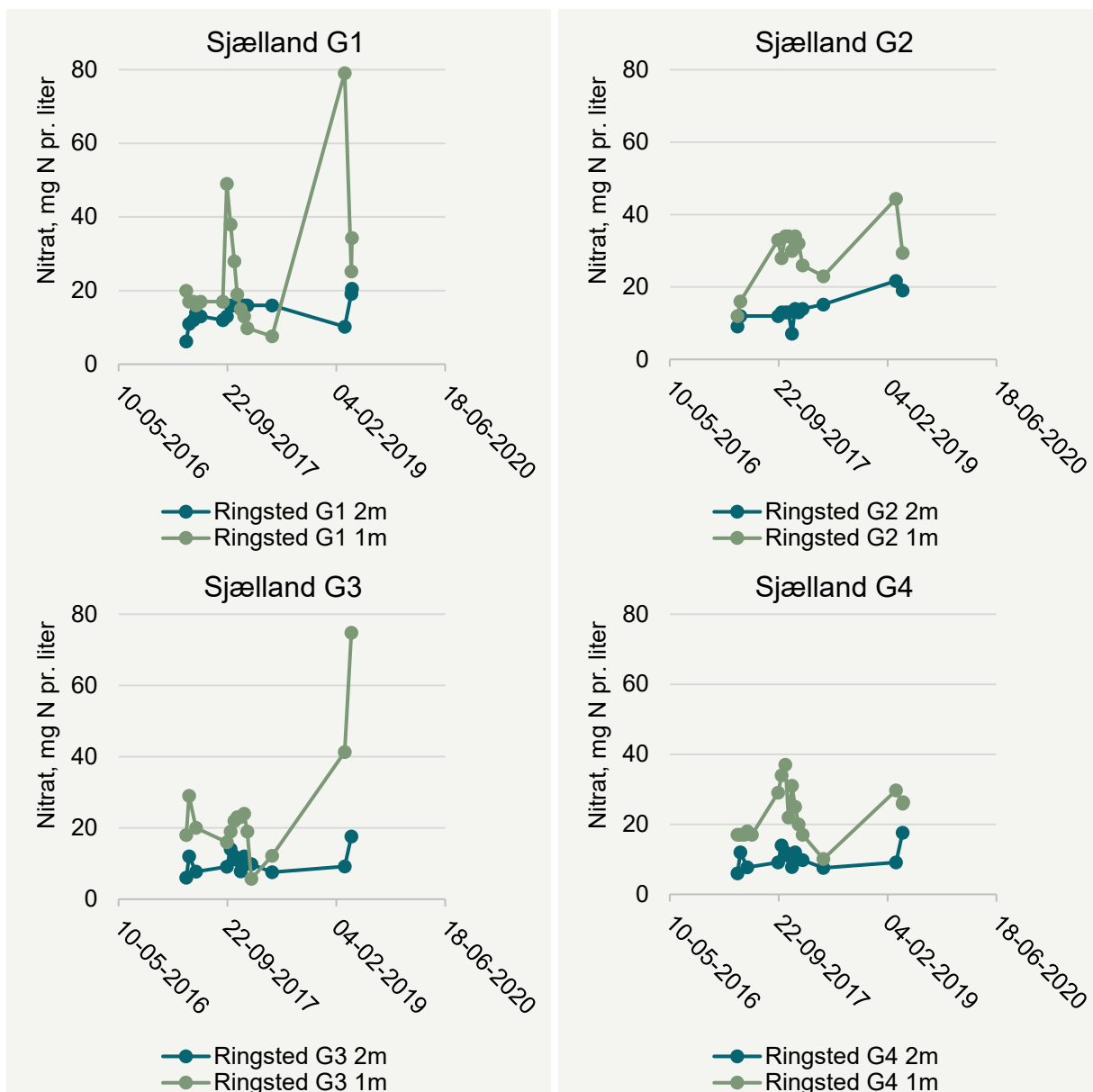
### Resultater

For forsøgene i Østjylland og på Sjælland er kvælstofkoncentrationerne på næste alle prøvetagningsdatoer lavere i en meters dybde end i to meters dybde. I figur 1 og figur 2 ses koncentrationerne i henholdsvis en og to meters dybde for alle prøvetagningsdatoer i en og to meters dybde i hver gentagelse.

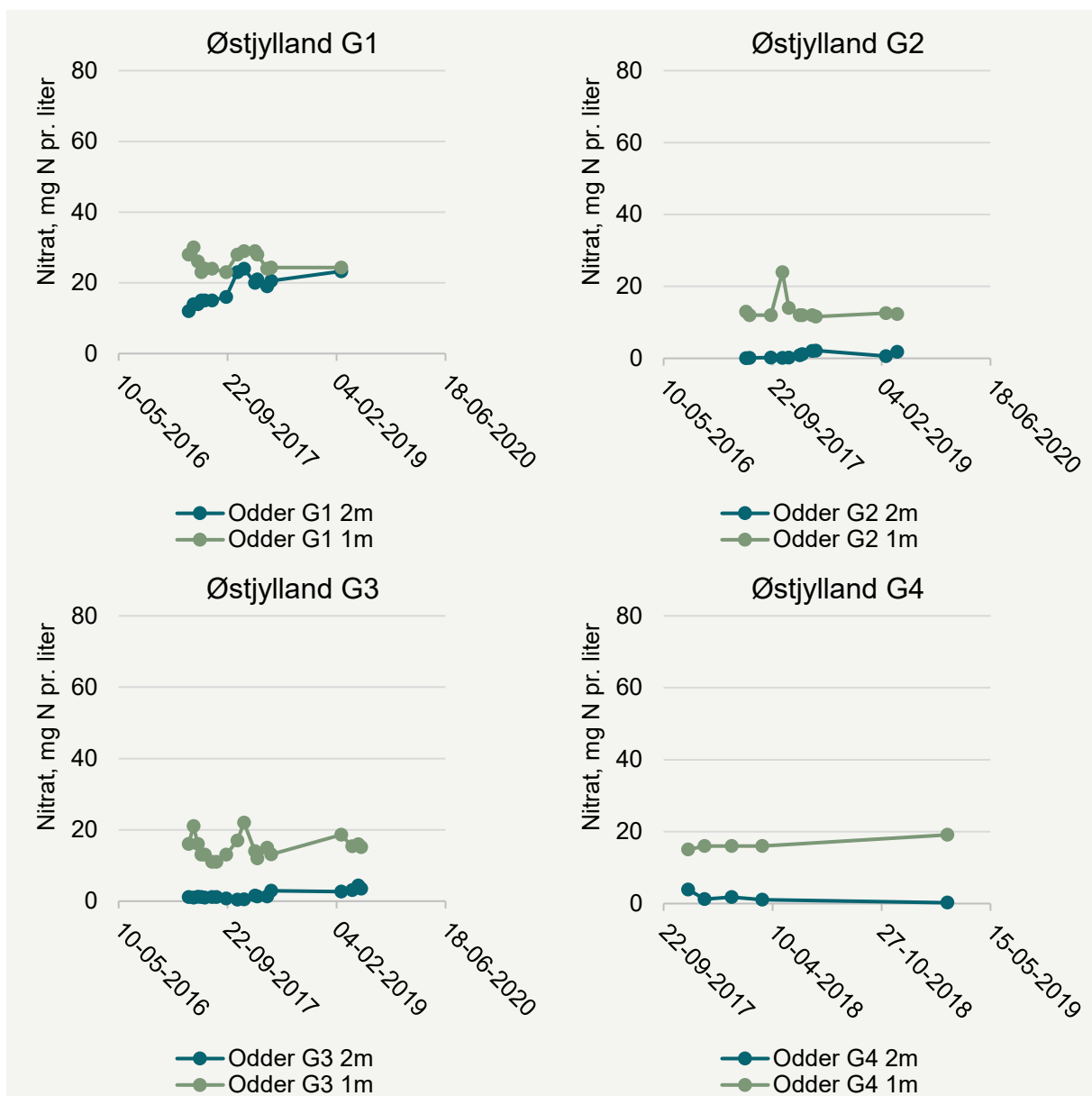
Kvælstofkoncentrationerne i både en og to meters dybde er højere i forsøget på Sjælland end i forsøget i Østjylland. Koncentrationerne i to meters dybde er i Østjylland nær nul i alle gentagelser på nær gentagelse 1. Koncentrationerne i en meters dybde er i begge forsøg lavest i dyrkningssæsonen og højest i efteråret og vinteren. Dog er der i visse tilfælde også observeret høje koncentrationer i foråret.

Der sker på de fleste prøvetagningsdatoer et betydeligt fald i kvælstofkoncentrationerne fra en til to meters dybde. På nogle få prøvetagningsdatoer er koncentrationen højere i to meters dybde end i en meters dybde i forsøget på Sjælland. Det kan muligvis skyldes høj grundvandsstand på arealerne på nogle tidspunkter af året.

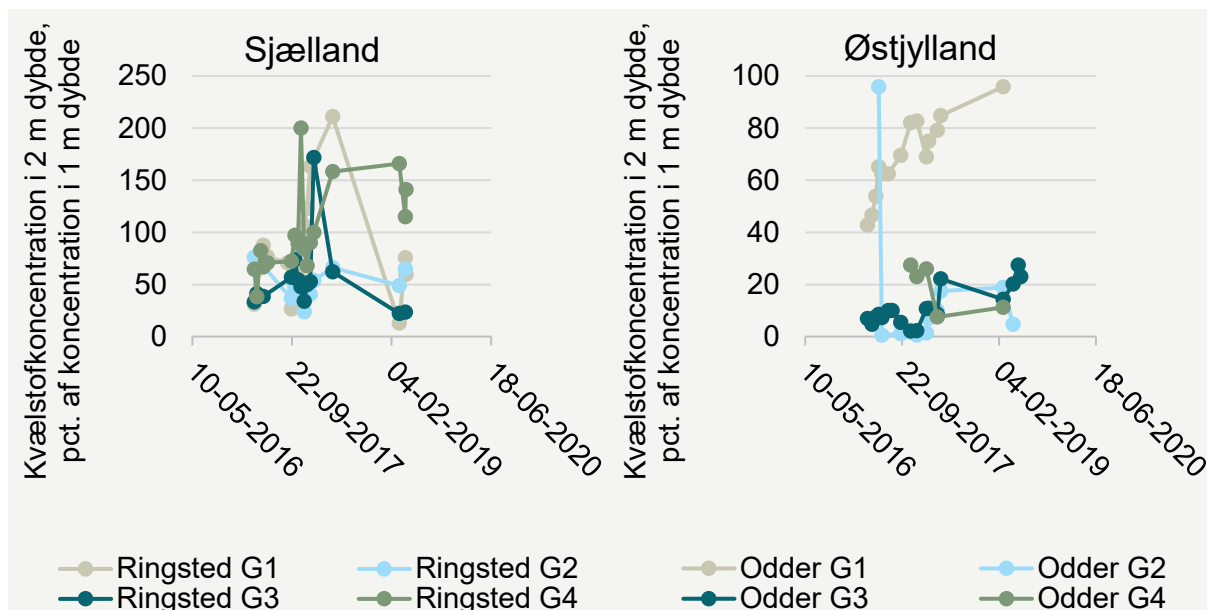
For bedre at anskueliggøre kvælstofreduktionen fra en til to meters dybde er der i figur 3 vist, kvælstofkoncentrationen i to meters dybde som procent af koncentrationen i en meters dybde. Dette er gjort for alle gentagelser og for hver prøvetagningsdato i de to forsøg. I Østjylland er kvælstofkoncentrationen i to meters dybde mellem pct. og 20 pct. af koncentrationen i en meters dybde i alle gentagelser, undtagen gentagelse 1. Her er kvælstofkoncentrationen i to meters dybde mellem 40 og 100 pct. af koncentrationen i to meters dybde. I forsøget på Sjælland, er reduktionen langt mere variabel over tid, og der er ikke samme systematiske forskel mellem gentagelserne. I en del af måleperioden er kvælstofkoncentrationerne i to meters dybde højere end i en meters dybde. I den videre analyse er disse observationer taget ud af datasættet, men alle de originale data fremgår af appendikset.



**Figur 1.** Kvælstofkoncentrationer i en og to meters dybde i forsøget på Sjælland



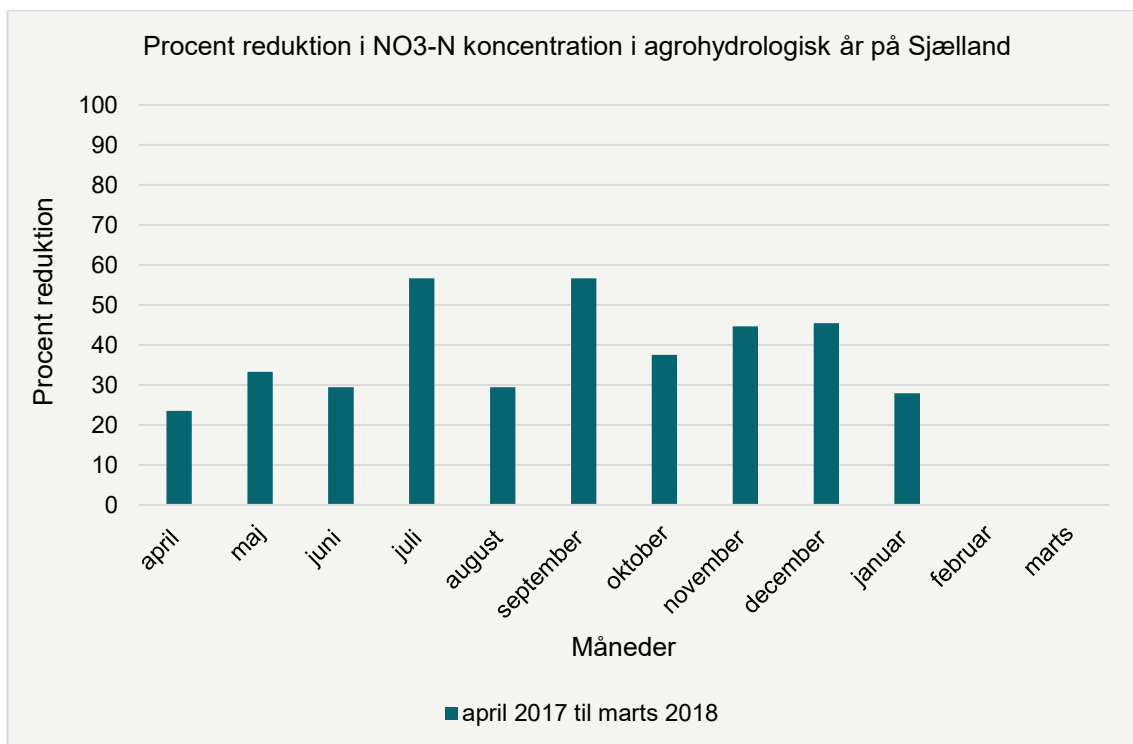
**Figur 2.** Kvælstofkoncentrationer i en og to meters dybde i forsøget i Østjylland



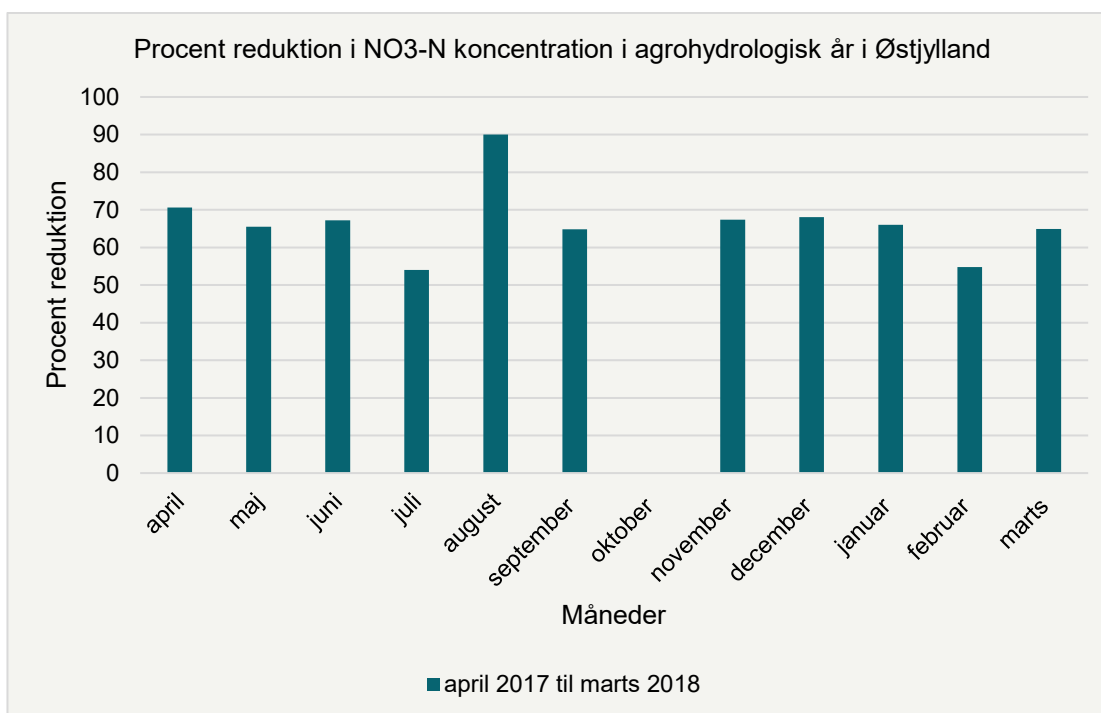
**Figur 3.** Kvælstofkoncentration i to meters dybde i procent af koncentrationen i en meters dybde. Bemærk af skalaen er forskellig for de to forsøg.

For at få et bedre overblik over den gennemsnitlige kvælstoffjernelse fra en til to meters dybde, er den gennemsnitlige reduktion i kvælstofkoncentrationen beregnet for hvert forsøgssted og for hver måned i det agrohydrologiske år 2017/2018. Det vil sige i perioden 1. april 2017 til 31. marts 2018. Reduktionen er beregnet som den procentdel af kvælstof i en meters dybde, der er fjernet inden kvælstoffet når to meters dybde. Data er vist i figur 4 og figur 5. På grund af tørken i 2018 er der meget få datoer, hvor der har været muligt at udtage vandprøver i både en og to meters dybde i det agrohydrologiske år 2018/2019, hvorfor data for dette år ikke er vist her. I forsøget på Sjælland, figur 4, ses manglende data i februar og marts 2018, hvilket skyldes frostvejr, der forhindrede prøvetagning fordi prøvetagningslangerne spærres af frostpropper.

I forsøget i Østjylland, fjernes omtrentlig 70 pct. af kvælstoffet hele året rundt. Det dækker som tidligere vist over, at næsten alt kvælstof fjernes i tre gentagelser året rundt, og derfor er det ikke overraskende, at der kun er begrænsede sæsonudsving i kvælstoffjernelsen. På Sjælland fjernes ca. 30 pct. af kvælstoffet fra en til to meters dybde. Der er en tendens til en højere kvælstoffjernelse i sommer og efterår.



**Figur 4.** Procent reduktion i NO<sub>3</sub>-N koncentration fra en til to meters dybde i agrohydrologisk år på Sjælland. Tre observationer hvert år blev foretaget fordi sandsynlige grundvand indflydelse.

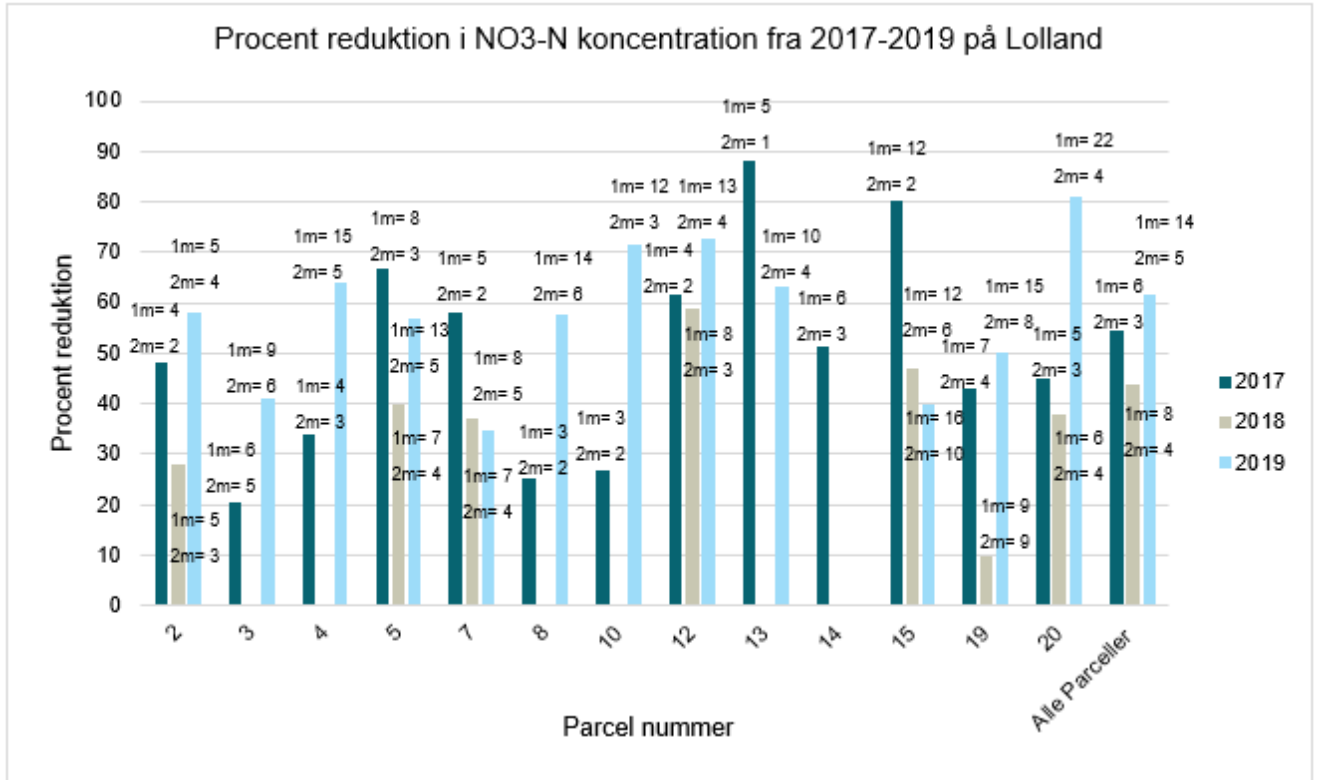


**Figur 5.** Procent reduktion i NO<sub>3</sub>-N koncentration fra en til to meters dybde i agrohydrologisk år i Østjylland.

### Resultater fra Lolland

Figur 6 ses den procent reduktion i kvælstofkoncentration fra en til to meters dybde i forskelle gentagelser på Lolland fra 2017-2019. I en hel del observationer fra forsøget på Lolland er kvælstofkoncentrationen højere i to meters dybde end i en meter. I figur 6 er disse observationer fjernet, men alle de originale data

findes i appendikset. De mange observationer med stigende kvælstofkoncentration med dybden skyldes formentlig, at kvælstofkoncentrationerne er meget lave, dvs. <5 mg nitrat-N pr. liter, i både en og to meters dybde. Årsagen til de lave koncentrationer kan måske være at grundvandet i flere perioder står meget højt på arealet, ofte så højt som <0,5 meter under terræn. Det kan både medføre denitrifikation allerede i en meters dybde. Variationen mellem de målte NO<sub>3</sub>-N-koncentrationer i de forskellige gentagelser er høj. Dette er især tilfældet i 2017 hvor forskelle mellem blokke er størst.



**Figur 6.** Procent reduktion i NO<sub>3</sub>-N koncentration fra en til to meters dybde på Lolland. 38 observationer blev taget ud af analysen i 2017-data, 162 observationer fra 2018 og 29 observationer i 2019, fordi koncentrationerne var højere i en meters dybde end i to meters dybde. Analysen er lavet på kalender år.

## Diskussion

Resultaterne viser, at der i to af de tre undersøgte forsøg sker en kvælstoffjernelse fra en meters dybde til to meters dybde. Begge forsøgsarealer med kvælstoffjernelse fra en til to meter er veldrænde og har ikke høj grundvandsstand. Kvælstoffjernelsen kan skyldes flere ting. For det første er det velkendt, at rødderne på f.eks. vinterhvede og vinterraps kan nå ned i dybder på to meter. Her vil planterne kunne opsamle kvælstof i vækstsæsonen. I forsøget ved Ringsted, ses de højeste kvælstoffjernelser i vækstsæsonen, men tildels også i efteråret. I forsøget i Østjylland, er kvælstoffjernelsen konstant hen over året i de tre parceller hvor næsten alt kvælstoffet fjernes. Kvælstoffjernelsen på arealet i Østjylland kan således ikke skyldes afgrødeoptag, ligesom fortsat kvælstoffjernelse efter høst i forsøget på Sjælland viser, at afgrødeoptaget ikke alene forklarer kvælstoffjernelsen, og at denitrifikation må spille en væsentlig rolle. Denitrifikation er en biologisk eller kemisk proces hvor nitrat omsættes til frit kvælstof, og dermed fjernes permanent fra jorden. I forsøget i Østjylland må denitrifikation være den helt afgørende proces de tre gentagelser hvor kvælstof fjernes næsten fuldstændigt, idet denne fjernelse sker året rundt.

Denitrifikationen vil forløbe hurtigere ved en højere jordtemperatur og ved en længere opholdstid i jorden. Det tilsiger, at den relative kvælstoffjernelse vil være større om sommeren, fordi jordtemperaturen er højere, og der ikke nedadgående vandbevægelse på forsøgsarealerne om sommeren. Dermed ligger vandet i to meters dybde væsentligt længere inden det transporteres dybere ned i jorden. Omvendt kræver denitrifikationen iltfrie forhold for at kunne forløbe, og en mere vandmættet jord i vinterhalvåret, vil

medføre at det jordvolumen hvor denitrifikationen kan forløbe er større, fordi mere af jorden er vandmættet om vinteren.

Den relative betydning af planteoptaget denitrifikation er vanskelig at kvantificere ud fra det nuværende datasæt. Det skal desuden indsamles data over flere år, for at kunne konkludere, om reduktionen faktisk er større om sommeren.

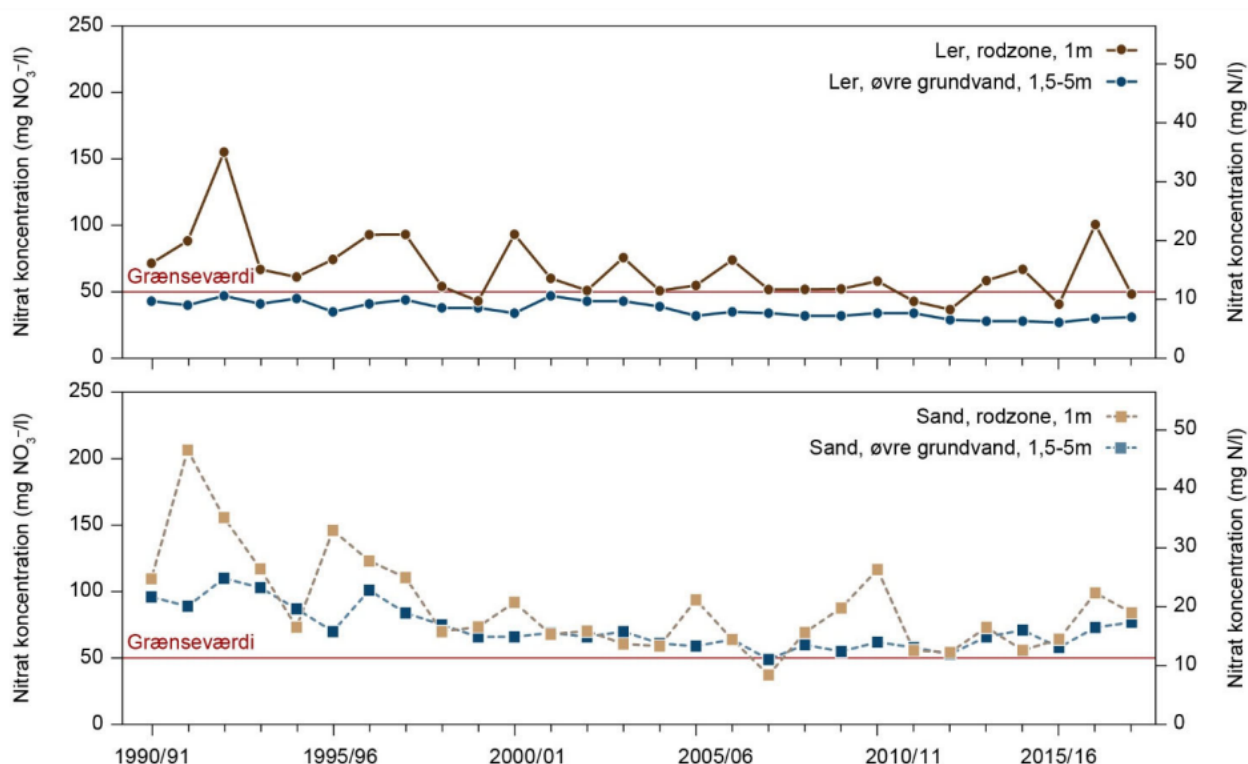
I forsøg på Lolland, hvor der ikke observeres en konsistent kvælstoffjernelse, er koncentrationerne relativt lave og grundvandet står højt. Det kunne tyde på, at der sker kvælstoffjernelse ved denitrifikation også de øvre jordlag.

Den observerede kvælstoffjernelse, kan variere over selv relativt små afstande. Det ses tydeligt i forsøget i Østjylland, hvor kvælstoffjernelsen i en af gentagelserne er meget mindre end i de øvrige, selvom parcellerne ligger med under 50 meters afstand.

Resultaterne af de her viste forsøg skal tolkes med nogen forsigtighed, fordi de hydrauliske forhold i forsøgsmarkerne kan være således, at vandet ikke afstrømmer vertikalt fra en meters dybde og videre ned i jordlagene. Lerjorder kan have en kompleks hydrologi, hvor lag med lav hydraulisk ledningsevne medfører horisontale vandstrømme på arealet. Der er dog på de fleste forsøgsarealer observeret lavere kvælstofkoncentrationer i to meters dybde end i en meters dybde. Det viser, at der sker en reel kvælstoffjernelse, når vandet strømmer mod grundvandet i de øvre jordlag. Når udvaskningen i grundvandsbeskyttelse beregnes som den kvælstofkoncentration der forlader en meters dybde, er der derfor tale om et worst case scenarie.

Alle de her undersøgte forsøg er beliggende i morænelandskaber op lerjord (alle JB6). I rapporten "Landovervågningsoplande 2018", er der set på sammenhængen mellem nitratkoncentrationerne i rodzonevand (målt med sugeceller i en meters dybde) og i det øvre iltede grundvand. I figur 7 er vist en figur af nitratkoncentrationerne i disse to dybder i tre oplande på lerjord og tre oplande på sandjord. Bemærk at koncentrationerne i figuren er i mg nitrat pr. liter, og ikke i mg nitrat-N som er anvendt i de øvrige figurer. Det er tydeligt, at nitratkoncentrationerne i er væsentligt højere end i det øvre iltede grundvand. Det støtter at der på lerjord sker en kvælstoffjernelse på vandets vej fra rodzone til det øvre grundvand. På sandjord er forskellen mindre eller fraværende imellem nitratkoncentrationerne i rodzonevand og i det øvre grundvand, særligt i de senere år. Det kan indikere, at kvælstoffjernelsen er mindre eller helt fraværende på sandjordlokaliteter.





**Figur 7.** Nitratkoncentrationer i jordvand i en meters dybde samt i det øvre iltede grundvand i tre oplande på lerjord og tre oplande på sandjord. Kvælstofkoncentrationer i jordvand er målt med sugeceller, mens koncentrationer i det øvre grundvand er målt i filtersatte pejlerør. Bemærk at koncentrationerne i figuren er i mg nitrat pr. liter, og ikke i mg nitrat-N som er anvendt i de øvrige figurer. Man skal dividere med 4,4 for at omsætte koncentrationerne nitrat-N pr. liter. Fra: Blicher-Mathiasen m.fl. 2019.

### Konklusion

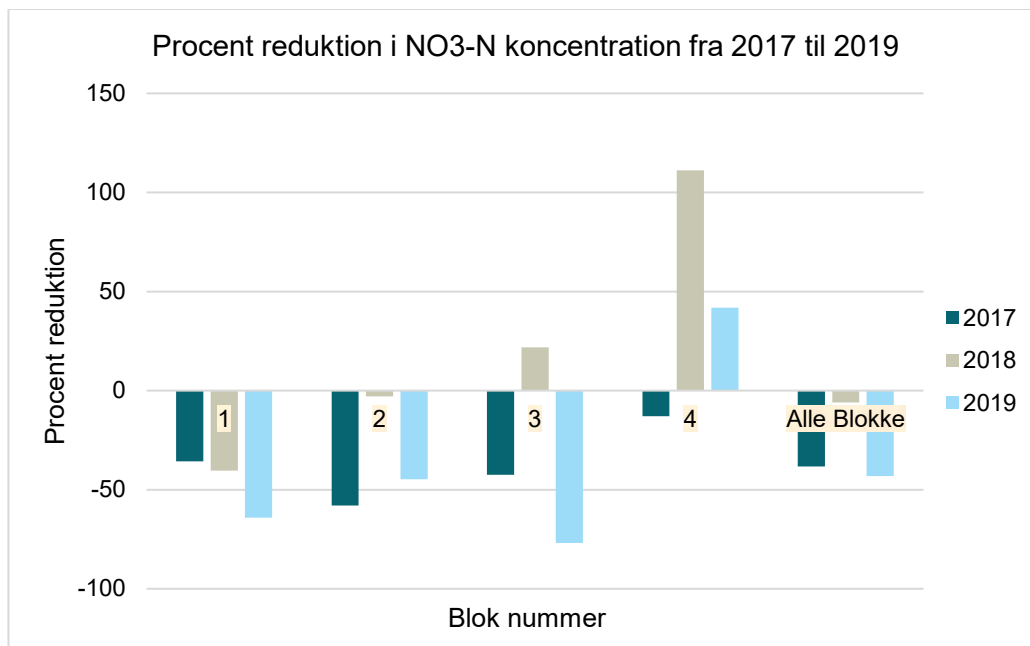
Resultaterne viser, at der sker en kvælstoffjernelse fra en til to meters dybde på de udvalgte lokaliteter. Det kan både skyldes kvælstofoptage i afgrøder med rodtybder større end en meter, men det er i særligt det ene forsøg tydeligt, at denitrifikation spiller en afgørende rolle for kvælstoffjernelsen. Resultaterne viser også, at kvælstoffjernelsen kan variere betydeligt imellem areal og inden for samme mark.

Resultaterne viser, at man kan overvurdere kvælstofkoncentrationerne i det vand der afstrømmer til grundvandet, hvis man basere sig på kvælstofudvaskningen i en meters dybde. Resultaterne viser dog også, at variationen i kvælstoffjernelse under en meters dybde er så stor, at der er brug for yderligere undersøgelser for at kunne fastlægge, hvordan man skal korrigere en beregnet kvælstofudvaskning for denne kvælstoffjernelse.

### Referencer

Blicher-Mathiasen, G., Holm, H., Houlborg, T., Rolighed, J., Andersen, H.E., Carstensen, M.V., Jensen, P.G. Wienke, J., Hansen, B., Thorling, L. 2019. [Landovervågningsoplade 2018](#). Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 352. DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

## Appendix



**Figur 7.** Procent reduktion i NO<sub>3</sub>-N koncentration fra en til to meters dybde på Sjælland med alle data.

I tabel 2-4 er vist den årlige afdræning og kvælstofudvaskning i forsøgene ved en kvælstofildeling på ca. 300 kg N ha<sup>-1</sup> på Sjælland fra 2017 til 2019.

**Tabel 2.** NO<sub>3</sub>-N gennemsnit fra en- og to meters dybde, standardafvigelse, reduktion, procent reduktion of antal observationer i 2017, på Sjælland.

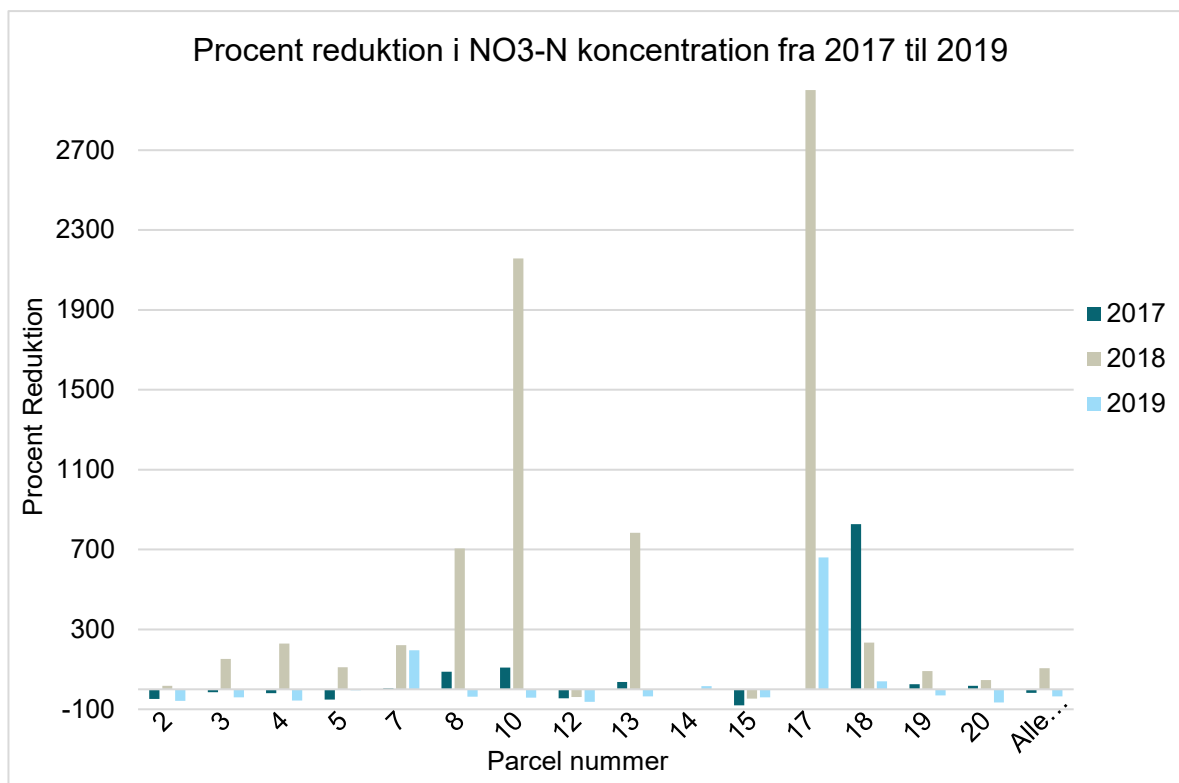
Blok nr.	NO <sub>3</sub> -N (Gennemsnit fra 1m)	SD	NO <sub>3</sub> -N (Gennemsnit fra 2m)	SD	Reduktion i NO <sub>3</sub> -N koncentration	Procent reduktion	Antal observationer
1	21	10,96	14	2,92	-8	-36	13
2	28	8,31	12	2,24	-16	-58	9
3	21	3,71	12	5,56	-9	-42	10
4	24	7,35	20,63	11,23	-3	-13	12
<b>Alle blokke</b>	23,31	8,38	14,38	7,31	-9	-38	44

**Tabel 3.** NO<sub>3</sub>-N gennemsnit fra 1- og 2m dybde, standardafvigelse, reduktion, procent reduktion of antal observationer i 2018, på Sjælland.

Blok nr.	NO <sub>3</sub> -N (Gennemsnit fra 1m)	SD	NO <sub>3</sub> -N (Gennemsnit fra 2m)	SD	Reduktion i NO <sub>3</sub> -N koncentration	Procent reduktion	Antal observationer
1	24,50	2,12	14,60	0,85	-9,90	-40	2
2	8,95	4,60	8,69	1,57	-0,26	-3	2
3	13,55	4,88	16,50	0,71	2,95	22	2
4	7,58	-	16,00	-	8,42	111	1
<b>Alle blokke</b>	14,51	7,75	13,65	3,57	-0,86	-6	7

**Tabel 4.** NO<sub>3</sub>-N gennemsnit fra en- og to meters dybde, standardafvigelse, reduktion, procent reduktion of antal observationer i 2019, på Sjælland.

Blok nr.	NO <sub>3</sub> -N (Gennemsnit fra 1m)	SD	NO <sub>3</sub> -N (Gennemsnit fra 2m)	SD	Reduktion i NO <sub>3</sub> -N koncentration	Procent reduktion	Antal observationer
1	46,20	28,85	16,60	5,59	-29,60	-64	3
2	36,90	10,61	20,40	1,84	-16,50	-45	2
3	58,05	23,69	13,38	5,97	-44,67	-77	2
4	27,30	2,09	38,73	9,85	11,43	42	3
<b>Alle blokke</b>	41,04	20,018	23,356	12,29	-17,68	-43	10



**Figur 8.** Procent reduktion i NO<sub>3</sub>-N koncentration fra en til to meters dybde i Lolland med alle data.

I tabel 5-7 er vist den årlige afdræning og kvælstofudvaskning i forsøgene ved forskellige behandlinger af kvælstofpåføring i Lolland fra 2017 til 2019.

**Tabel 5.** NO<sub>3</sub>-N gennemsnit fra en og to meters dybde, standardafvigelse, reduktion, procent reduktion of antal observationer i 2017, på Lolland.

Parcel nr.	NO <sub>3</sub> -N (Gennemsnit fra 1m)	SD	NO <sub>3</sub> -N (Gennemsnit fra 2m)	SD	Reduktion i NO <sub>3</sub> -N koncentration	Procent reduktion	Antal observationer
2	4	0,2	2	0,4	-2	-48	2
3	7	-	6	-	-1	-14	1
4	3	2,3	2	1	-1	-19	8
5	6	5,7	3	1	-3	-52	9
7	3	2,2	3	1,3	0,2	5	8
8	1	1,6	3	1,4	1	89	9
10	1	1	2	1,4	1	108	8
12	3	1,8	2	0,8	-1	-46	6
13	1	0,5	1	0,9	0,3	37	8
15	12	1,2	2	2	-10	-80	3
18	0	0	3	0,6	2	827	2
19	4	3	5	2,5	1	26	9
20	2	2	3	0,8	0,4	18	6
<b>Alle Parceller</b>	3	3,5	3	1,6	-0,6	-18	78

**Tabel 6.** NO<sub>3</sub>-N gennemsnit fra en og to meters dybde, standardafvigelse, reduktion, procent reduktion of antal observationer i 2018, på Lolland.

Parcel nr.	NO <sub>3</sub> -N (Gennemsnit fra 1m)	SD	NO <sub>3</sub> -N (Gennemsnit fra 2m)	SD	Reduktion i NO <sub>3</sub> -N koncentration	Procent reduktion	Antal observationer
2	3,0	1,7	3,5	0,1	0,5	18	5
3	2,1	0,3	5,2	0,3	3,2	152	6
4	1,3	1,1	4,2	1,4	2,9	230	19
5	2,2	1,7	4,6	1,0	2,4	111	22
7	1,7	1,7	5,5	0,4	3,8	221	20
8	0,7	0,7	5,5	0,8	4,9	706	20
10	0,2	0,1	4,8	1,9	4,6	2157	11
12	5,9	4,0	3,6	2,0	-2,3	-38	14
13	0,4	0,7	3,9	1,9	3,4	784	18
15	12,1	2,3	6,4	0,5	-5,7	-47	6
17	0,1	0,1	3,7	0,8	3,6	3246	6
18	1,7	1,4	5,6	0,2	3,9	233	7
19	3,5	4,2	6,7	2,2	3,2	91	18
20	3,0	3,2	4,4	1,0	1,4	46	21
<b>Alle Parceller</b>	2,4	3,2	4,9	1,6	2,5	106	193

**Tabel 7.** NO<sub>3</sub>-N gennemsnit fra en og to meters dybde, standardafvigelse, reduktion, procent reduktion of antal observationer i 2019, på Lolland.

Parcel nr.	NO <sub>3</sub> -N (Gennemsnit fra 1m)	SD	NO <sub>3</sub> -N (Gennemsnit fra 2m)	SD	Reduktion i NO <sub>3</sub> -N koncentration	Procent reduktion	Antal observationer
2	9	5,3	4	0,5	-5	-58	2
3	9	1	6	0,3	-4	-41	2
4	10	9,8	5	1	-6	-56	6
5	6	6,5	5	0,7	0	-6	6
7	2	3,1	6	1	4	196	6
8	10	10,5	6	1	-4	-37	6
10	9	4,3	5	2	-4	-42	4
12	11	11	4	1	-7	-62	5
13	5	7,2	4	1,5	-2	-35	6
14	8	1,1	9	0,1	1	16	2
15	16	1,2	10	0,3	-6	-40	2
17	1	0,7	4	1	3	660	2
18	2	-	2	-	1	40	1
19	9	7,1	6	2	-3	-30	6
20	14	13	5	0,7	-9	-66	5
<b>Alle Parceller</b>	8	8	5	2	-3	-35	61