

# RECIRKULERING AF DRÆNVAND

*EFFEKTIV KVÆLSTOFFJERNELSE OG HØJERE UDBYTTER*

DELRAPPORT 1



**SEGES**  
INNOVATION

**RECIRKULERING AF DRÆNVAND  
- EFFEKTIV KVÆLSTOFFJERNELSE OG HØJERE UDBYTTET  
DELRAPPORT 1**

**Udgivet af**

SEGES Innovation P/S  
Agro Food Park 15, Skejby  
DK 8200 Aarhus N

**Forfatter**

Søren Kolind Hvid, SEGES Innovation

**Redaktør**

Majken Meldorf Deichmann, SEGES Innovation

**Kontakt**

Søren Kolind Hvid  
SEGES Innovation  
Planter & Miljø

M +45 2372 0822

**Forsidefoto**

Kasper Hellemann Henricksen

November 2023

Denne publikation må kopieres efter aftale med SEGES.

Finansieret af:



UDVIKLINGSPULJE  
FOR PLANTESEKTOREN

1	INDLEDNING .....	4
2	SAMMENDRAG OG KONKLUSION .....	5
3	KVÆLSTOFUDVASKNING FRA RODZONEN.....	6
4	AFSTRØMNING AF VAND OG KVÆLSTOF VIA DRÆN.....	7
5	FLOW AF DRÆNVAND GENNEM VANDRESERVOIR.....	8
6	OPHOLDSTID FOR DRÆNVAND I VANDRESERVOIR.....	10
7	KVÆLSTOFFJERNELSE I VANDRESERVOIRET .....	12
8	KVÆLSTOFFJERNELSE I MARKEN.....	13
9	SAMLET KVÆLSTOFFJERNELSE VED RECIRKULERING AF DRÆNVAND.....	15
10	ROBUST HØJ KVÆLSTOFFJERNELSE.....	19
11	AFSTRØMNING EFTER MARKVANDING PÅ LERJORD .....	19
12	MARKVANDING FORBEDRER KVÆLSTOFUDNYTTELSEN .....	20
13	SAMMENLIGNING MED ANDRE KVÆLSTOFVIRKEMIDLER.....	21
14	POTENTIALE FOR KVÆLSTOFFJERNELSE I KYSTVANDOPLANDE .....	23
15	NY UDLEDNINGSBASERET KVÆLSTOFREGULERING .....	27
16	VANDINGSBEHOV PÅ DRÆNET LERJORD .....	29
17	MERUDBYTTE FOR MARKVANDING.....	30
18	VÆRDI AF KVÆLSTOFFJERNELSE .....	32
19	SAMLET BRUTTOVÆRDI AF RECIRKULERING AF DRÆNVAND .....	33
20	REFERENCER .....	34

## 1 INDLEDNING

Recirkulering af drænvand kan løse to udfordringer, nemlig behovet for et effektivt virkemiddel til reduktion af kvælstofudledningen til vandmiljøet og behovet for at imødegå hyppigere tørke. Der er især tendens til mere forårstørke. Recirkulering af drænvand kræver, at der etableres et vandreservoir, hvor drænvand eller vand fra grøfter kan opsamles i vinterhalvåret og lagres indtil der er behov for markvanding. For at optimere recirkulering af drænvand som kvælstofvirkemiddel indgår endvidere, at overskydende drænvand også pumpes i vandreservoiret. På grund af det store vandvolumen, der er i et vandreservoir til markvanding, får det overskydende drænvand en relativ lang opholdstid i reservoiret. Opholdstiden er væsentlig for, hvor meget kvælstof der fjernes i vandreservoiret.

Bortset fra braklægning, så er recirkulering af drænvand det mest effektive kvælstofvirkemiddel, der er til rådighed. Dertil kommer, at recirkulering af drænvand øger udbyttet i kraft af markvandingen. Recirkulering af drænvand er først og fremmest aktuel på drænet lerjord, hvor det er muligt at etablere et vandreservoir uden membran. Der er ikke tradition for markvanding på lerjord i Danmark, fordi det generelt ikke har kunnet betale sig at investere i markvanding til almindelige landbrugsafgrøder på lerjord. Men økonomien i at etablere vandreservoirs skal også vurderes ud fra værdien af den betydelige kvælstoffjernelse.

Der er også et vandingsbehov lerjord, selv om behovet ved samme nedbør er mindre end på sandjord. Der er ca. 1 mio. hektar lerjord (JB6-JB8) i Danmark. Hovedparten findes i Østdanmark, hvor nedbøren er væsentlig mindre end i Vestdanmark. Der er endvidere tendens til, at hyppigere forekomst af forårstørke er mest udtalt i Østdanmark. Tendensen til mere forårstørke og længere tørkehændelser i det hele taget må forventes at fortsætte som konsekvens af de klimaforandringer, som de stigende temperaturer medfører.

I denne rapport er recirkulering af drænvand som kvælstofvirkemiddel beskrevet og analyseret. Der er redegjort for de forskellige effekter og der er beregnet kvælstoffjernelsesrater. Recirkulering af drænvand er et meget robust kvælstofvirkemiddel, fordi der indgår hele tre processer i kæde, der fjerner kvælstof. Størst usikkerhed knytter sig til, hvor stor en udbredelse recirkulering af drænvand kan få. Der er beregnet et estimat for potentialet i hvert enkelt kystvandopland. Det er endvidere beskrevet, hvordan recirkulering af drænvand kan indgå som virkemiddel i en ny udledningsbaseret kvælstofregulering på bedriftsniveau.

Vandingsbehov og merudbytter for markvanding i korn på lerjord er vurderet. De fleste forsøg og erfaringer med markvanding er fra grovsandet jord, hvorfor udbyttepotentialet for markvanding på lerjord er usikkert. Bruttomerudbyttet for markvanding er forsigtigt estimeret.

Gennem rapporten er beskrevet 4 scenarier med vandreservoirs i forskellige størrelser. Alle scenarier er beskrevet for seks lokaliteter i Danmark, der primært adskiller sig ved at have forskellig nedbør.

Dette er delrapport I. Der kommer i december 2023 en delrapport II, der omhandler etablering af vandreservoirs, etablering af pumpeanlæg og anlæg til markvanding, effekter på fosfortab og klimaaftryk. Delrapport II vil også behandle etableringsomkostningerne og en mulig forretningsmodel for vandreservoirs. Der vil også være en gennemgang af juridiske forhold og tilladelser, der skal søges.

## 2 SAMMENDRAG OG KONKLUSION

Recirkulering af drænvand er et effektivt kvælstofvirkemiddel, der samtidig øger udbyttet i afgrøderne. Recirkulering af drænvand kræver, at der bygges et vandreservoir, der kan opmagasinere drænvandet indtil det anvendes til markvanding i vækstsæsonen. Det kræver derfor også et markvandingsanlæg.

Når et vandreservoir er fyldt, så pumpes overskydende drænvand også i vandreservoiret, for at få så meget kvælstoffjernelse som muligt. I den fase fungerer vandreservoiret på samme måde som et minivådområde. Kvælstoffjernelsen i vandreservoiret afhænger af mængden af drænvand og drænvandets opholdstid i reservoiret. Analysen viser, at hvis der etableres en reservoirkapacitet på 400-800 m<sup>3</sup> pr. ha, der opsamles drænvand fra, så vil kvælstoffjernelsen i vandreservoiret være mellem 25 og 37 pct. (se afsnit 7).

Kvælstoffjernelsen for den del af drænvandet, der anvendes til markvanding, er beregnet til 92-95 pct. (se afsnit 8). Kvælstoffjernelsen ved recirkulering af drænvand er robust høj, fordi der indgår tre processer i kæde, der fjerner kvælstof. Først sker der kvælstoffjernelse i reservoiret. Derefter tilbageholdes kvælstof, når drænvandet anvendes som vandingsvand. Endelig sker der nitratreduktion mellem rodzone og vandløbskant (grundvandsretention). Dertil kommer, at markvanding generelt forbedrer kvælstofudnyttelsen og mindsker kvælstofudvaskningen, men den effekt er ikke medregnet her.

Den samlede kvælstoffjernelse afhænger af, hvor stor en del af drænvandet, der blot gennemstrømmer vandreservoiret, og hvor meget der anvendes til markvanding. For seks lokaliteter, der afspejler variationen i mængden af drænvand pr. ha, er der beregnet samlede kvælstoffjernelser på mellem 55 og 76 pct., hvis der etableres en reservoirkapacitet på 800 m<sup>3</sup> pr. ha, som der opsamles drænvand fra (se afsnit 9).

Der er foretaget en analyse af potentialet for reduktion af kvælstofudledningen i kystvandoplande og på landsplan (se afsnit 13). Det er vanskeligt at estimere, hvor stor udbredelse recirkulering af drænvand kan få, men her er regnet med en udbredelse på op til 20 pct. af arealet med lerjord. Samlet for kystvandoplande med krav til reduktion af kvælstofudledningen er beregnet et reduktionspotentiale på 1.077 ton N. Det kræver ca. 1.000 vandreservoirs med en gns. kapacitet på 80.000 m<sup>3</sup>, der opsamler drænvand fra godt 100.000 ha. Virkemidlet skal dermed udbredes til 5 pct. af det samlede dyrkede areal i omdrift på højbund.

100.000 ha med recirkulering af drænvand kan give samme effekt på kvælstofudledningen til vandmiljøet som braklægning af 80.000 ha.

Der er også vandingsbehov på lerjord, selv om den vandholdende evne er langt større end på sandjord. Det meste lerjord findes i Østdanmark, hvor nedbøren i vækstsæsonen er mindre end i Vestdanmark. Klimaforandringerne fører formentlig til hyppigere tørkehændelser, især forårstørke. I analysen er forventet, at der etableres markvanding på det samme eller et større areal end det areal, der opsamles drænvand fra. Vandreservoirene i analysen er dimensioneret efter, at der skal være 400-600 m<sup>3</sup> vand til rådighed til markvanding pr. ha. Det svarer til, at der kan tildeles mellem 40 og 60 mm.

Der er ikke mange forsøg eller erfaringer med, hvilke merudbytter der kan opnås for markvanding på lerjord. I analysen er forsigtigt vurderet, at der i gennemsnit kan opnås et merudbytte på 12 kg kerne pr. mm vandingsvand. Med 40-60 mm til rådighed, så giver det et merudbytte på 5-7 hkg kerne pr. ha med korn. Det er ikke tilstrækkeligt til at gøre investeringen i vandreservoir og vandingsanlæg rentabel. Værdien af kvælstoffjernelsen skal bidrage til finansieringen. Kvælstoffjernelsen er værdisat ud fra den gennemsnitlige omkostning til kvælstoffjernelse med minivådområder, som ofte vil være et alternativ til etablering af et vandreservoir til markvanding.

### 3 KVÆLSTOFUDVASKNING FRA RODZONEN

Kvælstofudvaskningen fra rodzonen afhænger af hvad der dyrkes på arealerne, anvendelsen af kvælstofgødning og eventuelle kvælstofvirkemidler. Særlig væsentlig er plantedækket efterår og vinter, dvs. i den periode, hvor afstrømningen sker. Størrelsen af udvaskningen afhænger desuden meget af afstrømningen (nedbøren) og jordtypen. Til estimering af kvælstofudvaskningen fra rodzonen er anvendt modellen NLES5, der er udviklet ved Aarhus Universitet (Børgesen et al, 2019). Udvasningsberegninger med NLES5-modellen anvendes også som grundlag for kvælstofretentionskortet (Højberg, 2021) og som grundlag for en fremtidig udledningsbaseret kvælstofregulering.

Som grundlag for vurdering af potentialet for kvælstoffjernelse ved recirkulering af drænvand anvendes her et sædskifte, der er typisk på både planteavlsbedrifter og bedrifter med griseproduktion. Sædskiftet er vist i tabel 1. Udvasningen er beregnet ved anvendelse af kvælstof i handelsgødning efter gældende kvælstofnormer for lerjord. Der er beregnet kvælstofudvaskning både med og uden efterafgrøder. Der er anvendt efterafgrøder i det omfang, der er plads til efterafgrøder i sædskiftet.

Kvælstofudvaskningen er beregnet for seks forskellige lokaliteter, hvor den største del af det dyrkede areal er drænet lerjord og der er et stort behov for at reducere kvælstofudledningen til vandmiljøet.

Tabel 1. Sædskifte til scenarieberegninger.

År 1	År 2	År 3	År 4	År 5
Vårbyg	Vinterraps	Vinterhvede	Vinterhvede + Efterafgrøde	Vårbyg + Efterafgrøde

Tabel 2a. Afstrømning fra rodzonen (mm), nitratudvaskning fra rodzonen (kg N/ha) og koncentration af nitrat i rodzonevandet (kg NO<sub>3</sub>-N/liter) for sædskiftet i tabel 1 uden efterafgrøder på JB6 for 6 lokaliteter.

Beregnete data.

Lokalitet	Bornholm	Falster	Sydsjælland	Østfyn	Vejle	Haderslev
Afstrømning fra rodzonen, mm	294	212	230	298	367	393
Nitratudvaskning rodzonen, kg N/ha	44,1	33,8	36,3	45,1	54,1	56,4
Konc. af nitrat-N, kg NO <sub>3</sub> -N/liter	14,9	15,8	15,6	14,8	14,0	13,6

Tabel 2b. Afstrømning fra rodzonen (mm), nitratudvaskning fra rodzonen (kg N/ha) og koncentration af nitrat i rodzonevandet (kg NO<sub>3</sub>-N/liter) for sædskiftet i tabel 1 med efterafgrøder på JB6 for 6 lokaliteter.

Beregnete data.

Lokalitet	Bornholm	Falster	Sydsjælland	Østfyn	Vejle	Haderslev
Afstrømning fra rodzonen, mm	294	212	230	298	367	393
Nitratudvaskning rodzonen, kg N/ha	35,2	27,1	29,0	36,1	43,4	45,2
Konc. af nitrat-N, kg NO <sub>3</sub> -N/liter	11,8	12,5	12,4	11,7	11,1	10,8



#### 4 AFSTRØMNING AF VAND OG KVÆLSTOF VIA DRÆN

På drænede arealer er der to transportveje for vand og kvælstof fra rodzonen og ud til vandløbskant, nemlig udledning via drænene og udledning via grundvandsstrømning. Andelen af afstrømningen fra rodzonen og andelen af kvælstofudvaskningen fra rodzonen, der udledes via dræn, varierer afhængig af de terrænnære jordbundsforhold. Beregninger med den nationale kvælstofmodel har estimeret, at i gennemsnit udledes ca. 43 pct. af kvælstofudvaskningen fra rodzonen på drænet lerjord gennem drænene (Højberg, 2019).

Andelen af afstrømningen af vand, der udledes via dræn, vurderes i gennemsnit at være noget større end andelen af kvælstof. Det skyldes, at der på mange arealer er områder med opadgående strømninger af grundvand, fordi grundvandet er under tryk. Uden dræning ville disse opadgående vandbevægelser give våde pletter i markerne. Tilstrømningen af grundvand til drænsystemerne har ofte et lavt eller intet nitratindhold, fordi vandet har passeret nitratreducerende jordlag under drændybde. I de efterfølgende scenarieberegninger er forudsat, at det i gennemsnit er ca. 55 pct. af afstrømningen af vand fra rodzonen, der udledes via dræn. Estimatet bygger på drænmålinger, hvor drænfraktionen dog kan variere meget. Estimatet bygger endvidere på, at en vis tilstrømning af reduceret grundvand til drænsystemerne må finde sted for at få de målte koncentrationer af nitrat i drænvand til at stemme med de beregnede koncentrationer af nitrat.

Ud fra beregninger med den nationale kvælstofmodel er det endvidere estimeret, at kvælstofudledningen via dræn på lerjord i gennemsnit udgør ca. 85 pct. af den samlede kvælstofudledning til vandløbskant (Højberg, 2023). Det betyder altså, at ca. 15 pct. af kvælstofudledningen til vandløbskant fra højbundsarealer i lerjordsoplande sker via grundvandsstrømning. Dermed er den gennemsnitlige N-fjernelse (nitratreduktion) via grundvandstrømning mellem rodzone og vandløbskant ca. 90 pct. I dræn sker der ingen nitratreduktion.

Forholdet mellem kvælstofudledning via dræn og kvælstofudledning via grundvandsstrømning har betydning for potentialet for kvælstoffjernelse ved recirkulering af drænvand. I de efterfølgende scenarieberegninger er forudsat, at 43 pct. af rodzoneudvaskningen udledes til vandløbskant via dræn og at 8 pct. af rodzoneudvaskningen udledes til vandløbskant via grundvandsstrømning. Der er altså regnet med, at i alt 51 pct af rodzoneudvaskningen udledes til vandløbskant. Grundvandsretentionen, der angiver N-fjernelsen (nitratreduktionen) mellem rodzone og vandløbskant, er dermed 49 pct.

Tabel 3. Afstrømning via dræn (mm), nitratudledning via dræn fra rodzonen (kg N/ha) og koncentration af nitrat i drænvand (kg NO<sub>3</sub>-N/liter) for sædskifte 1 med 40 pct. efterafgrøder på JB6 for 6 lokaliteter.

Beregnete data.

Lokalitet	Bornholm	Falster	Sydsjælland	Østfyn	Vejle	Haderslev
Afstrømning fra rodzonen, mm	294	212	230	298	367	393
Nitratudvaskning rodzonen, kg N/ha	35,2	27,1	29,0	36,1	43,4	45,2
Konc. af nitrat-N i rodzonevandet, kg NO <sub>3</sub> -N/liter	11,8	12,5	12,4	11,7	11,1	10,8
Afstrømning via dræn, mm (55 pct.)	162	117	127	164	202	216
Afstrømning via dræn, m <sup>3</sup> /ha	1.616	1.166	1.260	1.637	2.021	2.162
Nitratudledning via dræn (43 pct.), kg N/ha	15,1	11,6	12,5	15,5	18,6	19,4
Konc. af nitrat-N i drænvandet, kg NO <sub>3</sub> -N/liter	9,4	10,0	9,8	9,5	9,2	9,0

## 5 FLOW AF DRÆNVAND GENNEM VANDRESERVOIR

Recirkulering af drænvand går ud på at pumpe drænvand til et vandreservoir, hvor drænvandet lagres til vækstsæsonen, så det kan anvendes til markvanding af afgrøderne. Ofte vil mængden af drænvand overstige vandreservoirets kapacitet. Virkemidlet 'Recirkulering af drænvand' indebærer, at en større eller mindre andel af drænvandet blot gennemstrømmer vandreservoiret for at tilbageholde kvælstof og fosfor. For den del af drænvandet, der blot gennemstrømmer vandreservoiret, minder recirkulering af drænvand om den måde, som en sø fungerer på.

Der er her regnet på fire scenarier med hensyn til opsamling og markvanding med drænvand. Valg af reservoir-kapacitet er en afvejning af økonomiske hensyn og ønsket om en stor effekt på kvælstoffjernelse og fosfortilbageholdelse. På lerjord er vandingsbehovet mindre end på sandjord, jf. afsnit 13. Der er her regnet med, at vandingsbehovet de fleste år kan dækkes ved at etablere en reservoir-kapacitet på 400-600 m<sup>3</sup> pr. ha, der skal vandes. Det svarer til 40-60 mm eller 2-3 vandinger pr. mark i gennemsnit. Det betyder også, at den mængde drænvand, der typisk kan opsamles fra 1 ha, er tilstrækkeligt til at markvande 2-4 ha.

Jo større vandreservoir og jo større andel af drænvandet, der anvendes til markvanding, jo større effekt på kvælstofudledningen vil man opnå. Optimeringen af virkemidlet 'Recirkulering af drænvand', herunder valg af kapaciteten på vandreservoiret, er en afvejning af økonomien i markvanding og de økonomiske incitamenter til at øge kvælstoffjernelsen. Hvis en stor kvælstoffjernelse er en forudsætning for at undgå braklægning af dyrkbare arealer, så kan hensynet til kvælstoffjernelsen veje tungt.

Her er regnet på fire forskellige reservoir-størrelser, nemlig 40.000 m<sup>3</sup>, 60.000 m<sup>3</sup>, 80.000 m<sup>3</sup> og 120.000 m<sup>3</sup>. I alle tilfælde er der regnet med, at drænvandet opsamles fra et dyrket areal på 100 ha. Disse reservoir-kapaciteter er kombineret med vanding af enten 100 ha eller 200 ha.

Tabel 4a. Scenarier for etablering af vandreservoir og markvanding for lokalitet på Bornholm.

Scenarier	Opsamling af drænvand, ha	Antal reservoirs	Reservoir kapacitet, m <sup>3</sup>	Vandingsmængde, mm	Vandet areal, ha	Drænvand pumpet i reservoir, m <sup>3</sup>	Drænvand gennemløb, m <sup>3</sup>	Markvanding, m <sup>3</sup>
A	100 ha	1	40.000	40	100 ha	162.000	122.000	40.000
B	100 ha	1	60.000	60	100 ha	162.000	102.000	60.000
C	100 ha	1	80.000	40	200 ha	162.000	82.000	80.000
D	100 ha	1	120.000	60	200 ha	162.000	42.000	120.000

Tabel 4b. Scenarier for etablering af vandreservoir og markvanding for lokalitet på Falster.

Scenarier	Opsamling af drænvand, ha	Antal reservoirs	Reservoir kapacitet, m <sup>3</sup>	Vandingsmængde, mm	Vandet areal, ha	Drænvand pumpet i reservoir, m <sup>3</sup>	Drænvand gennemløb, m <sup>3</sup>	Markvanding, m <sup>3</sup>
A	100 ha	1	40.000	40	100 ha	117.000	77.000	40.000
B	100 ha	1	60.000	60	100 ha	117.000	57.000	60.000
C	100 ha	1	80.000	40	200 ha	117.000	37.000	80.000
D	100 ha	1	120.000	60	200 ha	117.000	0	117.000



Tabel 4c. Scenarier for etablering af vandreservoir og markvanding for lokalitet på Sydsjælland.

Scenarier	Opsamling af drænvand, ha	Antal reservoirs	Reservoir kapacitet, m <sup>3</sup>	Vandingsmængde, mm	Vandet areal, ha	Drænvand pumpet i reservoir, m <sup>3</sup>	Drænvand gennemløb, m <sup>3</sup>	Markvanding, m <sup>3</sup>
A	100 ha	1	40.000	40	100 ha	126.000	86.000	40.000
B	100 ha	1	60.000	60	100 ha	126.000	66.000	60.000
C	100 ha	1	80.000	40	200 ha	126.000	46.000	80.000
D	100 ha	1	120.000	60	200 ha	126.000	6.000	120.000

Tabel 4d. Scenarier for etablering af vandreservoir og markvanding for lokalitet på Østfyn.

Scenarier	Opsamling af drænvand, ha	Antal reservoirs	Reservoir kapacitet, m <sup>3</sup>	Vandingsmængde, mm	Vandet areal, ha	Drænvand pumpet i reservoir, m <sup>3</sup>	Drænvand gennemløb, m <sup>3</sup>	Markvanding, m <sup>3</sup>
A	100 ha	1	40.000	40	100 ha	164.000	124.000	40.000
B	100 ha	1	60.000	60	100 ha	164.000	104.000	60.000
C	100 ha	1	80.000	40	200 ha	164.000	84.000	80.000
D	100 ha	1	120.000	60	200 ha	164.000	44.000	120.000

Tabel 4e. Scenarier for etablering af vandreservoir og markvanding for lokalitet ved Vejle.

Scenarier	Opsamling af drænvand, ha	Antal reservoirs	Reservoir kapacitet, m <sup>3</sup>	Vandingsmængde, mm	Vandet areal, ha	Drænvand pumpet i reservoir, m <sup>3</sup>	Drænvand gennemløb, m <sup>3</sup>	Markvanding, m <sup>3</sup>
A	100 ha	1	40.000	40	100 ha	202.000	162.000	40.000
B	100 ha	1	60.000	60	100 ha	202.000	142.000	60.000
C	100 ha	1	80.000	40	200 ha	202.000	122.000	80.000
D	100 ha	1	120.000	60	200 ha	202.000	82.000	120.000

Tabel 4f. Scenarier for etablering af vandreservoir og markvanding for lokalitet ved Haderslev.

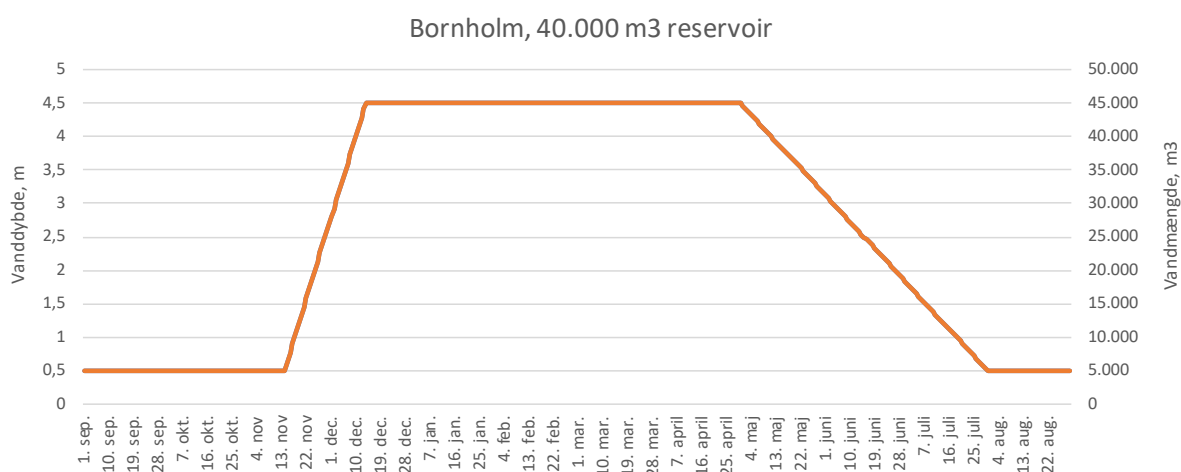
Scenarier	Opsamling af drænvand, ha	Antal reservoirs	Reservoir kapacitet, m <sup>3</sup>	Vandingsmængde, mm	Vandet areal, ha	Drænvand pumpet i reservoir, m <sup>3</sup>	Drænvand gennemløb, m <sup>3</sup>	Markvanding, m <sup>3</sup>
A	100 ha	1	40.000	40	100 ha	216.000	176.000	40.000
B	100 ha	1	60.000	60	100 ha	216.000	156.000	60.000
C	100 ha	1	80.000	40	200 ha	216.000	136.000	80.000
D	100 ha	1	120.000	60	200 ha	216.000	96.000	120.000

## 6 OPHOLDSTID FOR DRÆNVAND I VANDRESERVOIR

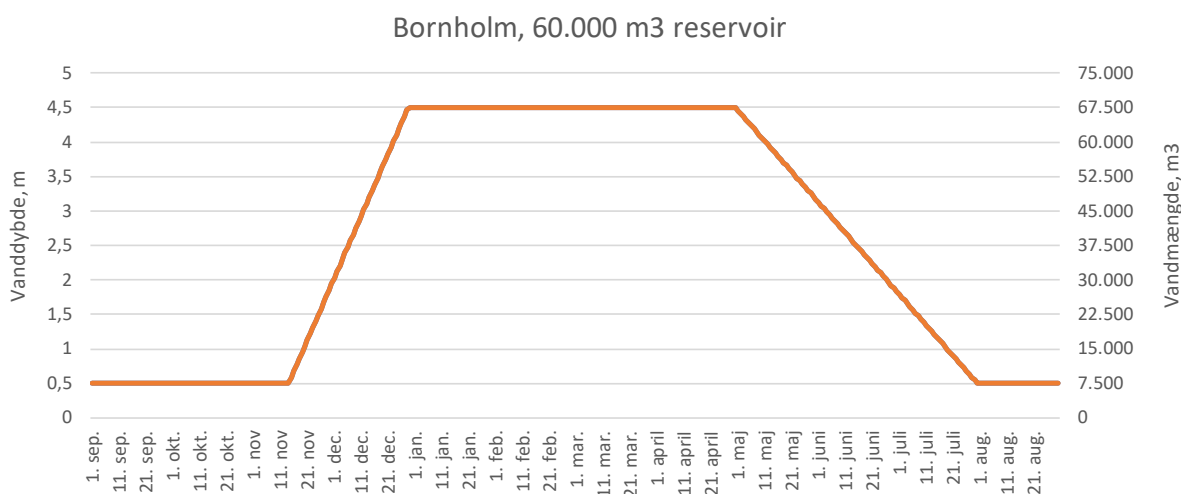
Kvælstoffjernelsen i et vandreservoir afhænger i høj grad af vandets opholdstid i reservoiret. Der er for alle lokaliteter og scenarier beregnet opholdstider for drænvandet i vandreservoir. Opholdstiderne er beregnet som summen af daglig vandvolumen i reservoiret divideret med den samlede tilførsel af vand til reservoiret i løbet et år.

$$\text{Opholdstid, dage} = \frac{\sum \text{Vandvolumen i reservoir pr. dag}}{\text{Vandvolumen tilført i alt pr. år}}$$

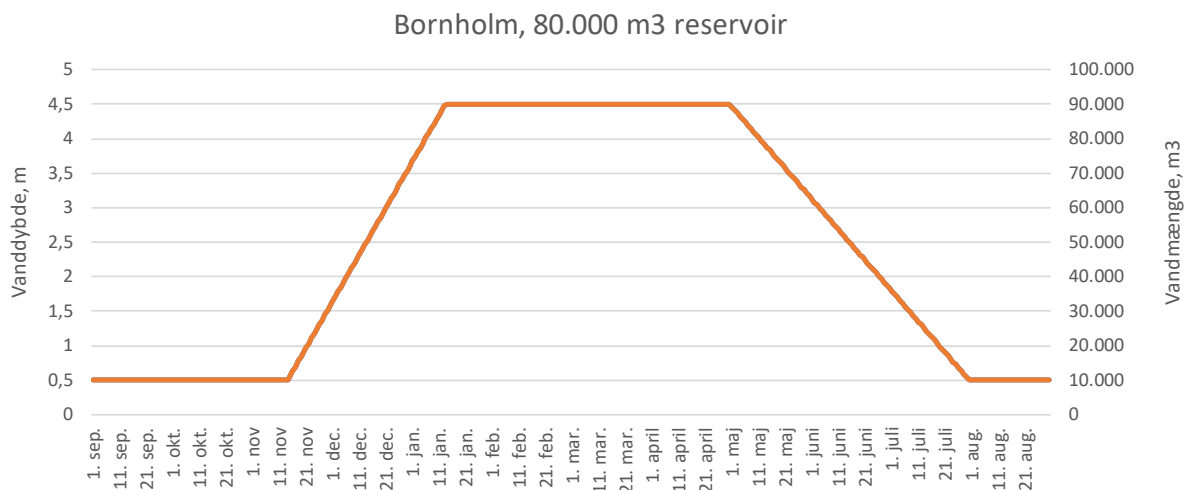
Vandreservoirets udformning kan variere meget, herunder også max vanddybde. Som grundlag for figur 1-4 er der regnet med en gennemsnitlig, udnyttelig vanddybde på 4 meter. På grund af de skrånede sider i vandreservoiret, så skal reservoiret i den centrale del være 5-6 meter dybt. Det er endvidere forudsat, at vandreservoiret ikke tømmes helt. Der er regnet med, at den mindste vanddybde er 0,5 meter.



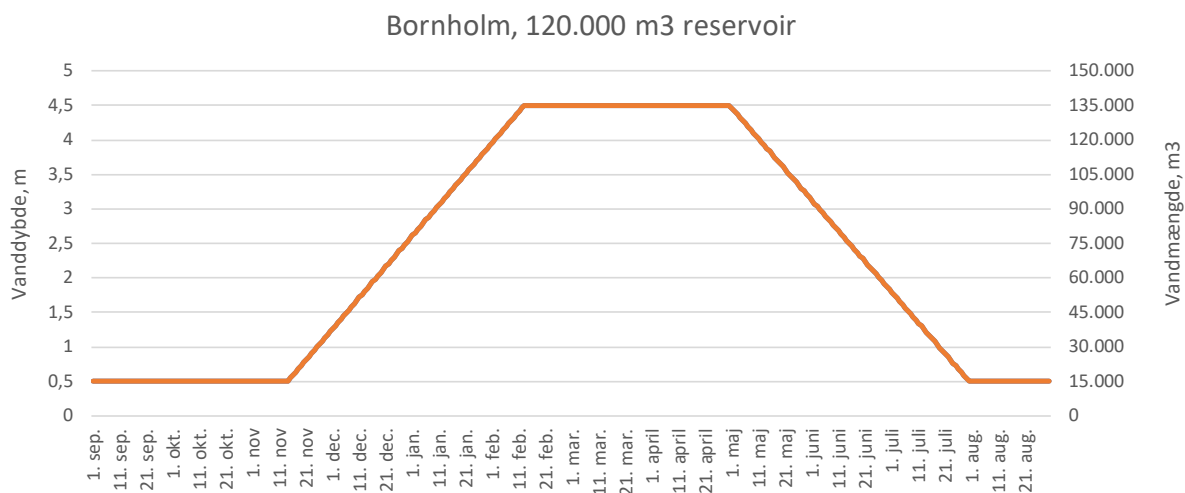
Figur 1. Vanddybde og vandmængde i 40.000 m<sup>3</sup> vandreservoir på Bornholm, der opmagasinerer drænvand fra 100 ha.



Figur 2. Vanddybde og vandmængde i 60.000 m<sup>3</sup> vandreservoir på Bornholm, der opmagasinerer drænvand fra 100 ha.



Figur 3. Vanddybde og vandmængde i 80.000 m<sup>3</sup> vandreservoir på Bornholm, der opmagasinerer drænvand fra 100 ha.



Figur 4. Vanddybde og vandmængde i 120.000 m<sup>3</sup> vandreservoir på Bornholm, der opmagasinerer drænvand fra 100 ha.

Et vandreservoir bør ikke tømmes helt af hensyn til biodiversiteten og for at undgå udtørring af bunden og sprækkedannelse.

## 7 KVÆLSTOFFJERNELSE I VANDRESERVOIRET

Med hensyn til kvælstoffjernelse, så minder et vandreservoir om en sø. Kvælstoffjernelse i søer er undersøgt i Danmark (Jensen et al, 1997) og kvælstoffjernelse i konstruerede vandreservoirs er undersøgt i flere sammenhænge i udlandet (Gold et al, 2016). Der sker kvælstoffjernelse både i sedimentet, på overfladen af vandplanterne og i vandfasen. Processerne er beskrevet af Moursi et al. (2023). I tabel 5 er vist den beregnede kvælstoffjernelse med to modeller for hvert af scenarierne A-D og for hver lokalitet.

Model 1. Jensen et al. (1997):

$$N - \text{fjernelse, pct.} = 42,1 + 17,8 \log_{10} (\text{Opholdstid i reservoir i år})$$

Model 2. Gold et al. (2016):

$$N - \text{fjernelse, pct.} = 79,24 - 33,26 \log_{10} \left( \frac{\text{Dybde af reservoir i meter}}{\text{Opholdstid i reservoir i år}} \right)$$

Tabel 5. Drænvandets opholdstid og kvælstoffjernelse i vandreservoir afhængig af mængden af drænvand og størrelsen af vandreservoir for 6 lokaliteter. Der opsamles drænvand fra 100 ha. I beregningen indgår endvidere, at vandreservoir er 4,5 m dybt i gennemsnit. Beregnede data.

	Scenarier	Reservoir kapacitet, m <sup>3</sup>	Drænvand pumpet, m <sup>3</sup>	Drænvand gennemløb, m <sup>3</sup>	Op- holdstid, dage	N-fjernelse (model 1), pct.	N-fjernelse (model 2), pct.	Gns. N-fjernelse, pct.
Bornholm	A	40.000	162.000	122.000	48	28	26	27
	B	60.000	162.000	102.000	69	34	29	32
	C	80.000	162.000	82.000	89	37	31	34
	D	120.000	162.000	42.000	123	42	34	38
Falster	A	40.000	117.000	77.000	64	33	29	31
	B	60.000	117.000	57.000	92	38	32	35
	C	80.000	117.000	37.000	116	41	33	37
	D	120.000	117.000	0	150	45	35	40
Sydsjæll.	A	40.000	126.000	86.000	60	32	28	30
	B	60.000	126.000	66.000	86	37	31	34
	C	80.000	126.000	46.000	109	40	33	37
	D	120.000	126.000	6.000	146	45	35	40
Østfyn	A	40.000	164.000	124.000	47	28	26	27
	B	60.000	164.000	104.000	69	34	29	31
	C	80.000	164.000	84.000	88	37	31	34
	D	120.000	164.000	44.000	122	42	34	38
Vejle	A	40.000	202.000	162.000	37	25	25	25
	B	60.000	202.000	142.000	57	31	28	29
	C	80.000	202.000	122.000	74	35	30	32
	D	120.000	202.000	82.000	104	40	32	36
Haderslev	A	40.000	216.000	176.000	36	24	24	24
	B	60.000	216.000	156.000	53	30	27	29
	C	80.000	216.000	136.000	69	34	29	32
	D	120.000	216.000	96.000	98	39	32	35

## 8 KVÆLSTOFFJERNELSE I MARKEN

Det opmagasinerede drænvand anvendes til markvanding i den efterfølgende vækstsæson og recirkuleres dermed til markerne, hvor drænvandet oprindeligt kom fra. Efter den kvælstoffjernelse, der sker i selve vandreservoiret, vil der være en restmængde af kvælstof i det vand, der anvendes til markvanding.

Ved markvanding med 40-60 mm fra et vandreservoir som i scenarie A-D tilføres mellem 2 og 4 kg N pr. ha (se tabel 6). Det er en beskedent kvælstofmængde i forhold til den samlede kvælstoftilførsel til afgrøderne. Hvis kvælstoffet, der tilføres med vandingsvandet, erstatter anden tilførsel af kvælstof, så vil der ikke være nogen merudvaskning som følge af tilførslen med vandingsvandet. Hvis der er tale om en mertilførsel af kvælstof i forhold til det, der ville være tilført uden markvanding, så vil der blive beregnet en merudvaskning efterfølgende, hvis udvaskningsberegningen ikke tager højde for det højere udbytte, når der vandes. Foreløbig beregnes udvaskningen med NLES5-modellen, som ikke tager hensyn til det høstede udbytte. Størrelsen af den beregnede merudvaskning er som ved andre kvælstoftilførsler.

Tabel 6. Kvælstoftilførsel med vandingsvand fra vandreservoir, kg N pr. ha. Beregnede data.

	Scenarier	Reservoir kapacitet, m <sup>3</sup>	N-konc. ved indløb, mg N/liter	Gns. N-fjernelse i reservoir, pct.	N-konc. vandingsvand, mg N/liter	Vandmængde, mm	N tilført pr. ha, kg N/ha
Bornholm	A	40.000	9,4	27	6,8	40	2,7
	B	60.000	9,4	32	6,4	60	3,8
	C	80.000	9,4	34	6,1	40	2,4
	D	120.000	9,4	38	5,8	60	3,5
Falster	A	40.000	10,0	31	6,9	40	2,7
	B	60.000	10,0	35	6,5	60	3,9
	C	80.000	10,0	37	6,2	40	2,5
	D	120.000	10,0	40	5,9	60	3,6
Sydsjæll.	A	40.000	9,8	30	6,9	40	2,8
	B	60.000	9,8	34	6,6	60	3,9
	C	80.000	9,8	37	6,3	40	2,5
	D	120.000	9,8	40	6,0	60	3,6
Østfyn	A	40.000	9,5	27	6,9	40	2,7
	B	60.000	9,5	31	6,5	60	3,9
	C	80.000	9,5	34	6,2	40	2,5
	D	120.000	9,5	38	5,9	60	3,5
Vejle	A	40.000	9,2	25	6,9	40	2,8
	B	60.000	9,2	29	6,5	60	3,9
	C	80.000	9,2	32	6,2	40	2,5
	D	120.000	9,2	36	5,9	60	3,5
Haderslev	A	40.000	9,0	24	6,8	40	2,7
	B	60.000	9,0	29	6,4	60	3,8
	C	80.000	9,0	32	6,1	40	2,5
	D	120.000	9,0	35	5,8	60	3,5

I gennemsnit vil en mertilførsel af kvælstof i forårs- og sommerperioden give en beregnet merudvaskning fra rodzonen på ca. 17 pct. af det tilførte kvælstof, dvs. ca. 83 pct. af det tilførte kvælstof tilbageholdes, bl.a. ved optag i planterne. I virkeligheden er der formentlig ingen merudvaskning, da udbyttet og

kvælstofoptaget øges, når der vandes, men i de efterfølgende scenarieberegninger indregnes en merudvaskning fra rodzonen på 17 pct. af det kvælstof, der tilføres ekstra med vandingsvandet.

Mellem rodzone og vandløbskant sker der en yderligere kvælstoffjernelse ved nitratreduktion i de jordlag, som det nedrivende vand fra rodzonen gennemstrømmer. Det er den såkaldte grundvandsretention. På drænedede arealer er grundvandsretentionen omkring 45-55 pct. I scenarie A-D er der for alle lokaliteter regnet med en grundvandsretention på 49 pct., dvs. 51 pct. af rodzoneudvaskningen når frem til vandløbskant. Ved anlæg af et vandreservoir regnes med den grundvandsretention, der er kortlagt for arealet.

Tabel 7. Merudvaskning af kvælstof fra rodzonen (17 pct. af tilført N) og medudledning til vandløbskant (51 pct. af N udvasket fra rodzonen) ved recirkulering af drænvand, kg N pr. ha. Beregnede data.

	Scenarier	Reservoirkapacitet, m <sup>3</sup>	Vandingsmængde, mm	N tilført pr. ha, kg N/ha	Merudvaskning fra rodzonen, kg N/ha	Merudledning til vandløbskant, kg N/ha	N-fjernelse i marken af tilført N, pct.
Bornholm	A	40.000	40	2,7	0,5	0,2	91
	B	60.000	60	3,8	0,7	0,3	91
	C	80.000	40	2,4	0,4	0,2	91
	D	120.000	60	3,5	0,6	0,3	91
Falster	A	40.000	40	2,7	0,5	0,2	91
	B	60.000	60	3,9	0,7	0,3	91
	C	80.000	40	2,5	0,4	0,2	91
	D	120.000	60	3,6	0,6	0,3	91
Sydsjæll.	A	40.000	40	2,8	0,5	0,2	91
	B	60.000	60	3,9	0,7	0,3	91
	C	80.000	40	2,5	0,4	0,2	91
	D	120.000	60	3,6	0,6	0,3	91
Østfyn	A	40.000	40	2,7	0,5	0,2	91
	B	60.000	60	3,9	0,7	0,3	91
	C	80.000	40	2,5	0,4	0,2	91
	D	120.000	60	3,5	0,6	0,3	91
Vejle	A	40.000	40	2,8	0,5	0,2	91
	B	60.000	60	3,9	0,7	0,3	91
	C	80.000	40	2,5	0,4	0,2	91
	D	120.000	60	3,5	0,6	0,3	91
Haderslev	A	40.000	40	2,7	0,5	0,2	91
	B	60.000	60	3,8	0,7	0,3	91
	C	80.000	40	2,5	0,4	0,2	91
	D	120.000	60	3,5	0,6	0,3	91

I beregningerne bag tallene i tabel 7 indgår ikke, at de vandede arealer ofte vil være helt eller delvis de samme som dem, der opsamles drænvand fra. I det omfang, det er de samme arealer, vil merudledningen mere end halveres én gang til, fordi recirkuleringen af de næringsstoffer, der transporteres med drænvandet, fortsætter år efter år.



## 9 SAMLET KVÆLSTOFFJERNELSE VED RECIRKULERING AF DRÆNVAND

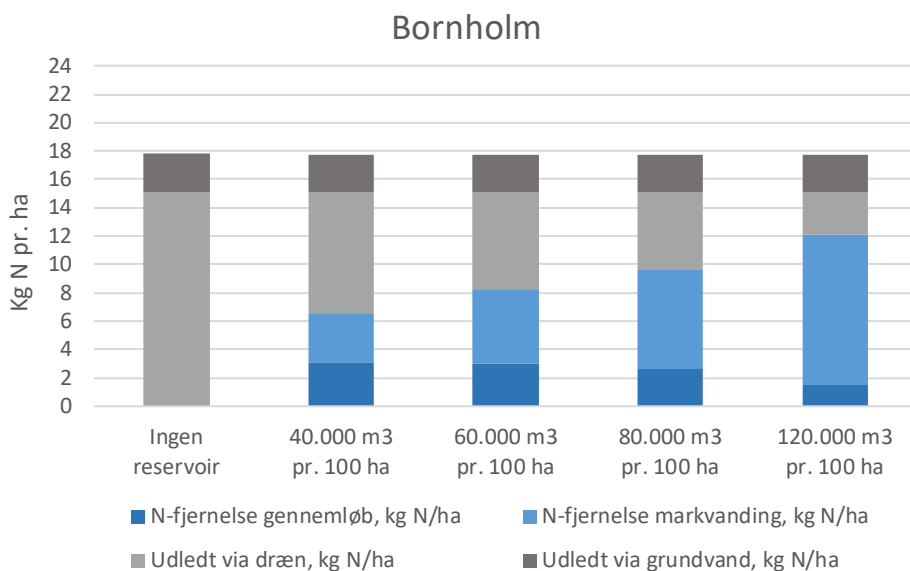
Ved recirkulering af drænvand kan der opnås en høj reduktion i kvælstofudledningen for den del af det udvaskede kvælstof, der transporteres med drænvandet. I scenarie A-D for de seks lokaliteter er der i alle tilfælde regnet med, at 43 pct. af udvaskningen fra rodzonen ledes til vandløbskant via dræntransport og at 8 pct. af udvaskningen fra rodzonen ledes til vandløbskant via grundvandstransport. I praksis varierer disse andele naturligvis. Det er vurderet, at disse andele er typiske for drænet lerjord.

Kvælstofudledningen via grundvand påvirkes ikke af, at drænvandet pumpes til vandreservoiret. Der kan være en lille påvirkning som følge af det kvælstof, der tilbageføres med vandingsvandet. Det er en ubetydelig mængde og modvirkes i øvrigt af, at markvanding generelt forbedrer kvælstofudnyttelsen.

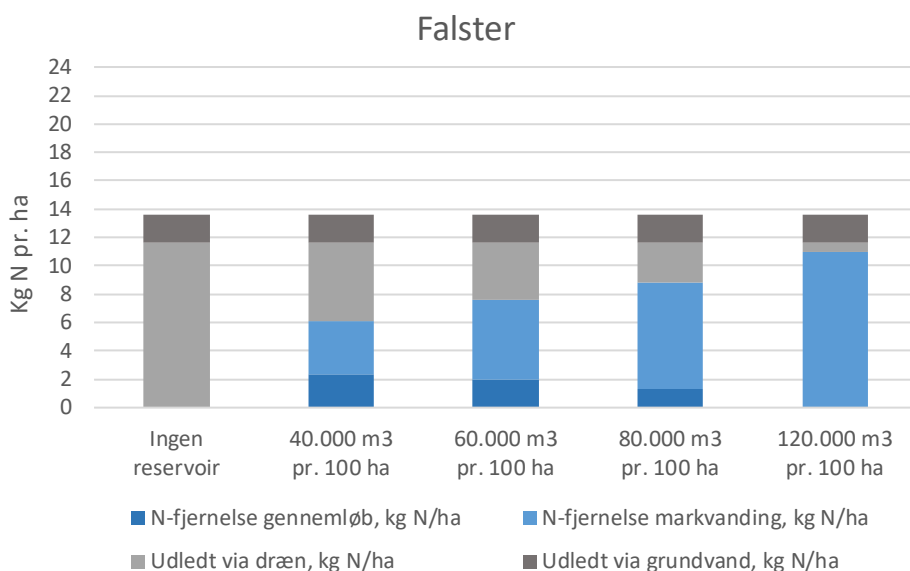
Tabel 8. Kvælstoffjernelse ved recirkulering af drænvand, opdelt på N-fjernelse ved gennemløb i reservoir, recirkulering af drænvand og samlet, pct. af N i drænvand og pct. af samlet N-udledning til vandløbskant (dræn + grundvand). Beregnede data.

	Sce- na- rier	Reservoir kapacitet, m <sup>3</sup>	N-fjernelse ved gennemløb i re- servoir, pct.	N-fjernelse ved recirkule- ring (reservoir + mark), pct.	Samlet N-fjer- nelse fra drænvand, pct.	Samlet N-fjer- nelse (dræn + grundvand), pct.
Bornholm	A	40.000	27	94	44	37
	B	60.000	32	94	55	46
	C	80.000	34	94	64	54
	D	120.000	38	95	80	68
Falster	A	40.000	31	94	52	45
	B	60.000	35	94	65	55
	C	80.000	37	95	76	65
	D	120.000	40	95	95	81
Sydsjæll.	A	40.000	30	94	50	43
	B	60.000	34	94	63	53
	C	80.000	37	95	73	62
	D	120.000	40	95	92	78
Østfyn	A	40.000	27	94	43	37
	B	60.000	31	94	54	46
	C	80.000	34	94	64	54
	D	120.000	38	95	79	67
Vejle	A	40.000	25	93	38	32
	B	60.000	29	94	48	41
	C	80.000	32	94	57	48
	D	120.000	36	94	71	60
Haderslev	A	40.000	24	93	37	31
	B	60.000	29	94	47	40
	C	80.000	32	94	55	46
	D	120.000	35	94	68	58

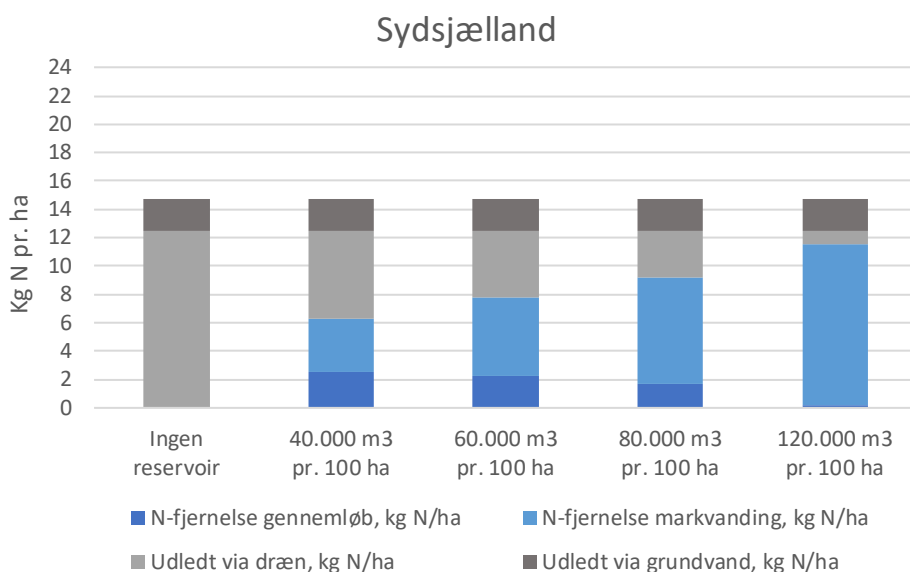
I figur 5-10 er vist den samlede kvælstoffjernelse for scenarie A-D for seks lokaliteter. Figurene angiver dels kvælstoffjernelsen ved at drænvand gennemstrømmer vandreservoiret og dels ved recirkulering af drænvand til markerne. Forholdet mellem gennemløb af drænvand og recirkulering af drænvand afhænger af størrelsen af vandreservoiret og mængden af drænvand, der opsamles fra 100 ha.



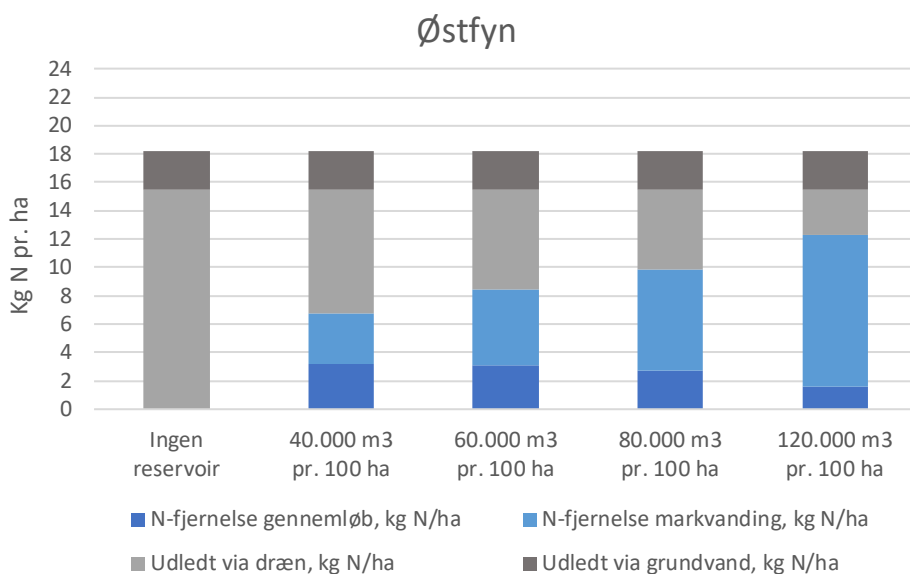
Figur 5. Kvælstofudledning til vandløbskant og kvælstoffjernelse ved recirkulering af drænvand for lokalitet på Bornholm.



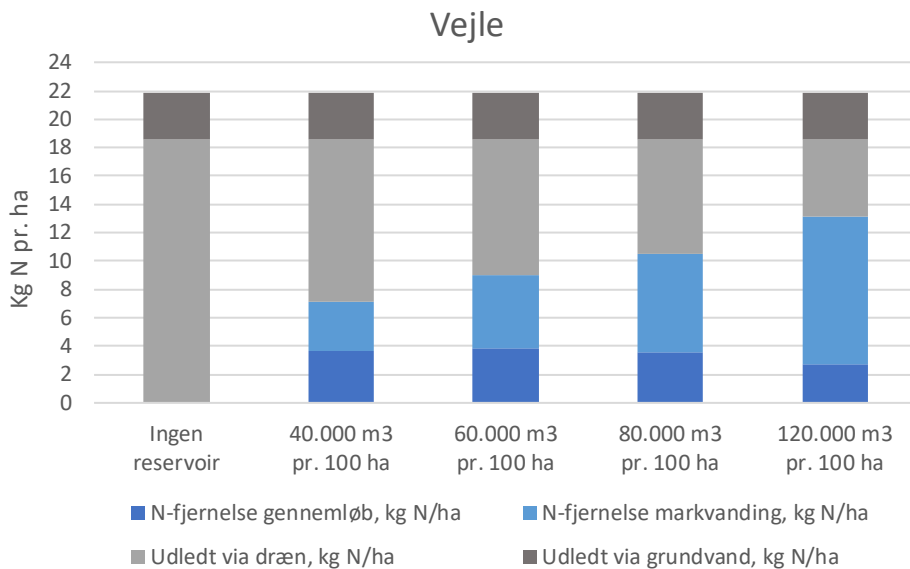
Figur 6. Kvælstofudledning til vandløbskant og kvælstoffjernelse ved recirkulering af drænvand for lokalitet på Falster.



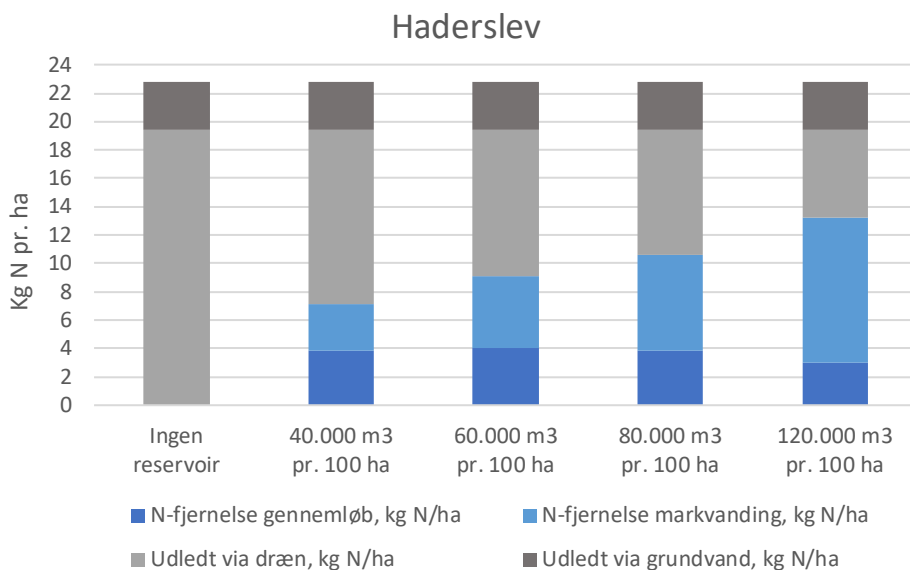
Figur 7. Kvælstofudledning til vandløbskant og kvælstoffjernelse ved recirkulering af drænvand for lokalitet på Sydsjælland.



Figur 8. Kvælstofudledning til vandløbskant og kvælstoffjernelse ved recirkulering af drænvand for lokalitet på Østfyn.



Figur 9. Kvælstofudledning til vandløbskant og kvælstoffjernelse ved recirkulering af drænvand for lokalitet ved Vejle.



Figur 10. Kvælstofudledning til vandløbskant og kvælstoffjernelse ved recirkulering af drænvand for lokalitet ved Haderslev.

## 10 ROBUST HØJ KVÆLSTOFFJERNELSE

Recirkulering af drænvand adskiller sig fra andre kvælstofvirkemidler ved, at der indgår tre processer i kæde, der fjerner kvælstof. Første led i kæden er den kvælstoffjernelse, der sker i selve vandreservoiret. Dernæst tilbageholdes kvælstof, når det opmagasinerede drænvand anvendes som vandingsvand. Tredjedje proces, der fjerner kvælstof, er nitratreduktionen mellem rodzone og vandløbskant (grundvandsretention). Faktisk er der en fjerde proces, der reducerer kvælstofudvaskningen, nemlig selve markvandingen, der øger udbyttet og forbedrer kvælstofudnyttelsen samlet set. Markvanding er et værn mod tørkehændelser, der forringer kvælstofudnyttelsen og øger kvælstofudvaskningen.

Kvælstoffjernelsen ved recirkulering af drænvand inkl. kvælstoffjernelsen i reservoiret ligger på samme niveau for alle scenarier og lokaliteter omkring 94 pct., jf. tabel 8. Den beregnede merudvaskning i marken er dokumenteret i kraft af NLES5-modellen. Kvælstoffjernelsen gennem grundvandsretentionen er dokumenteret via kvælstofretentionskortlægningen. Der er en vis usikkerhed omkring hvor stor kvælstoffjernelse, der kan opnås i vandreservoiret. Der findes dog mange undersøgelser af kvælstoffjernelse i vandreservoirs i udlandet. I Danmark er kvælstoftilbageholdelsen i søer undersøgt (Jensen et al, 1997).

Robustheden i kvælstoffjernelsen kan belyses ved en følsomhedsberegning, hvor N-fjernelsen i vandreservoiret sættes 10 procentpoint lavere end beregnet, f.eks. til 24 pct. i stedet for 34 pct. (Bornholm, scenarie C). Det reducerer den samlede kvælstoffjernelse ved recirkulering af drænvand fra 94 pct. til 93 pct., dvs. med kun 1 procentpoint. Og hvis N-fjernelsen i vandreservoiret sættes så lavt som 14 pct., så reducerer det kun den samlede kvælstoffjernelse med yderligere ca. 1 procentpoint til godt 92 pct. Recirkulering af drænvand er således et virkemiddel med en meget robust høj kvælstofeffekt, fordi der indgår flere processer i kæde, der fjerner kvælstof.

## 11 AFSTRØMNING EFTER MARKVANDING PÅ LERJORD

På grovsandet jord er det ofte omkring 30 pct. af det tilførte vandingsvand, der reinfiltrerer. Den høje reinfiltration skyldes den lille rodzonekapacitet på grovsandet jord, og at der normalt vandes op til markkapacitet. Hvis der kommer nedbør inden for få dage efter markvandingen, kan der let ske afstrømning fra rodzonen.

Ved markvanding på lerjord er det helt anderledes, da der først vandes, når der er etableret et betydeligt større vandbalanceunderskud, f.eks. 60-70 mm. Og der vandes langt fra op til markkapacitet. Derfor er der selv lige efter markvanding et tilstrækkeligt vandbalanceunderskud til at absorbere ekstra nedbør. Størrelsen af reinfiltrationen på forskellige jordtyper er undersøgt af Damme et al. (2018). Ved markvanding med optimale vandmængder blev der kun beregnet en reinfiltration på 2-4 pct. på lerjord. I scenarie A-D vandes med mindre end den optimale vandmængde, så der vil ikke være nogen reinfiltration, der betyder noget for den efterfølgende kvælstofudvaskning.

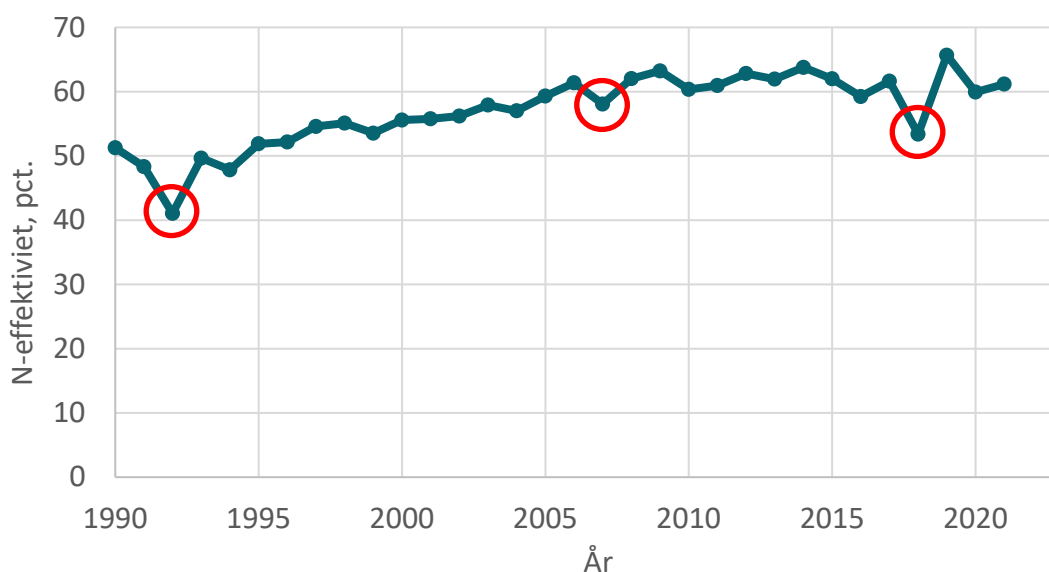
I praksis vil recirkulering af drænvand ikke føre til øget grundvandsdannelse. Stort set hele den recirkulerede vandmængde vil gå til fordampning. Dermed mindskes den samlede vandføring i vandløbene, men reduktionen sker udelukkende i vinterhalvåret, når drænene løber. Der er rigeligt med vand i vandløbene, når der er drænafstrømning. Recirkulering af drænvand har derfor ingen negativ påvirkning på miljøtilstanden i vandløbene. Tværtimod, så kan det være en fordel at få taget toppen af de store vandføringshændelser i vinterhalvåret og eventuelle oversvømmelser.

## 12 MARKVANDING FORBEDRER KVÆLSTOFUDNYTTELSEN

I beregningerne af kvælstoffjernelsen i marken ved recirkulering af drænvand (afsnit 7 og 8) indgår ikke, at markvanding forbedrer kvælstofudnyttelsen generelt og mindsker risikoen for kvælstofudvaskning.

Damme et al. (2022) har undersøgt effekten af markvanding på kvælstofudnyttelsen og kvælstofudvaskningen i markforsøg med kvælstofstrategier og markvanding i vårbyg og vinterraps. Resultaterne viste, at markvanding kan forbedre kvælstofoptagelsen i afgrøden og reducere kvælstofudvaskningen. Tørkehændelser indebærer en risiko for dårligere næringsstofudnyttelse og øget kvælstofudvaskning.

Aarhus Universitet udarbejder årlige kvælstofbalancer for dansk landbrug. Ud fra kvælstofbalancen kan man beregne N-effektiviteten, der angiver mængden af høstet N som procent af tilført N med handelsgødning, husdyrgødning, anden organisk gødning og kvælstoffiksering. I figur 11 er vist den beregnede N-effektivitet fra 1990 til 2021. N-effektiviteten har været stigende i perioden. Derudover kan man se, at der er tre år, der skiller sig ud. Det er 1992, 2008 og 2018. Det er de tre år i perioden med mest tørke. Når N-effektiviteten falder, så øges tabene af kvælstof. Det illustrerer, at markvanding kan sikre en høj stabil kvælstofudnyttelse og derigennem reducere kvælstofudvaskningen og andre kvælstoftab.



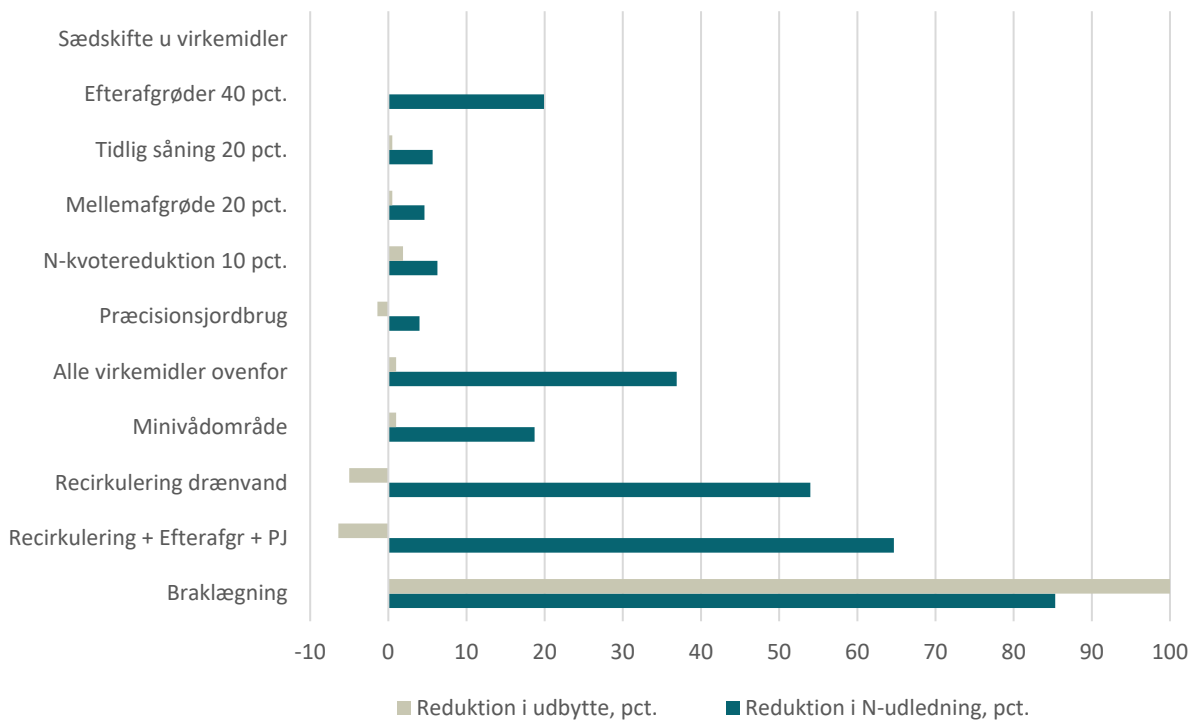
Figur 11. N-effektivitet i dansk markbrug 1990-2021, pct. N-effektiviteten er opgjort som høstet N i procent af tilført N med handelsgødning, husdyrgødning og kvælstoffiksering. Tørkeår er markeret.

Som nævnt er den generelle udvaskningsreducerende effekt af markvanding ikke medtaget i effekterne af recirkulering af drænvand. Det hænger sammen med, at der umiddelbart ikke findes en anerkendt metode til beregning af effekten. NLES5-modellen, som er anvendt til udvaskningsberegningerne i forbindelse med denne analyse, kan ikke håndtere effekten af markvanding, fordi udbyttet ikke indgår som en parameter i modellen. Der bliver arbejdet på at udvikle en udvaskningsmodel, der også kan inkludere effekten af udbytte, inden den ny udledningsbaserede kvælstofregulering igangsættes i 2026/2027.



### 13 SAMMENLIGNING MED ANDRE KVÆLSTOFVIRKEMIDLER

Recirkulering af drænvand har - opgjort pr. hektar dyrket areal – et større kvælstoffjernelsespotentiale end andre virkemidler, bortset fra braklægning af jorden. I figur 12 er vist, hvor meget forskellige kvælstofvirkemidler kan reducere kvælstofudledningen i et sædskifte uden at ændre sædskiftet. Sædskiftet, som sammenligningen tager udgangspunkt i, er følgende: Vårbyg – vinterraps – vinterhvede – vinterhvede – vårbyg. Det er et meget almindeligt sædskifte på både svine- og planteavlsbrug.



Figur 12. Sammenligning af kvælstofvirkemidler med hensyn til potentiale for reduktion af kvælstofudledningen og reduktion af udbyttet i sædskiftet, pct. Sammenligningen tager udgangspunkt i sædskiftet: Vårbyg – vinterraps – vinterhvede – vinterhvede – vårbyg.

I sædskiftet, der er anvendt som grundlag for figur 12, er der plads til 40 pct. efterafgrøder, som kan reducere kvælstofudledningen i hele sædskiftet med 20 pct. Der er regnet med, at efterafgrøderne reducerer kvælstofudvaskningen med 45 pct. i de år, hvor de indgår i sædskiftet.

I sammenligningen af virkemidler indgår endvidere tidlig såning af vintersæd. Der er regnet med, at tidlig såning af vintersæd i praksis kun kan ske i 1. års vintersæd, dvs. i 20 pct. af sædskiftet. Der er regnet med, at tidlig såning af vintersæd reducerer kvælstofudledningen med 20 pct. det sted i sædskiftet, hvor det indgår. Tidlig såning kan reducere sædskiftets samlede kvælstofudledning med 6 pct.

Mellemafgrøder kan indgå det år, hvor vinterhvede følger efter vinterhvede, dvs. i 20 pct. af sædskiftet. Mellemafgrøder reducerer kvælstofudvaskningen med 20 pct. det sted i sædskiftet, hvor de indgår. Det giver en reduktion af den samlede kvælstofudledning i sædskiftet på 5 pct.

Kvælstofkvoterreduktion kan anvendes i forskelligt omfang. Det skal bemærkes, at kvoterreduktion har aftagende effekt på kvælstofudvaskningen jo mere kvælstoftilførslen reduceres. I sammenligningen med andre

virkemidler er der regnet med 10 pct. kvotereduktion, som giver en reduktion i kvælstofudledningen på 6 pct. Det giver desuden en nedgang i udbyttet på ca. 2 pct. og et reduceret proteinindhold i afgrøderne.

Effekten af præcisionsjordbrug er vurderet til 4 pct. (1/11 af effekten af en efterafgrøde). Alle afgrøderne i sædskiftet kan indgå i ordningen for præcisionsjordbrug. Der kan forventes en mindre udbyttefremgang på 1-2 pct ved at praktisere præcisionsbrug.

Ovenstående virkemidler kan kombineres, fordi ingen af dem udelukker hinanden. Den samlede effekt af at implementere alle ovenstående virkemidler samtidig er beregnet til en reduktion af kvælstofudledningen med 37 pct. Det er 3 procentpoint mindre end hvis man lægger effekterne af de enkelte virkemidler sammen. Det skyldes, at den samlede effekt reduceres som følge af, at virkemidlerne overlapper. Kvotereduktion og præcisionsjordbrug, der anvendes i hele sædskiftet, reducerer effekten af de øvrige virkemidler.

I sammenligningen af virkemidler indgår endvidere etablering af et minivådområde. Det vil ofte være et muligt alternativ til recirkulering af drænvand. Ifølge Virkemiddelkataloget (Eriksen, 2020) kan minivådområder i gennemsnit reducere kvælstofudledningen med drænvand med 22 pct. Hvis kvælstofudledningen via dræn udgør 85 pct. af det samlede kvælstoftab fra dyrkede arealer, så svarer det til, at et minivådområde kan reducere kvælstofudledningen til vandløbskant med 19 pct.

Effekten af recirkulering af drænvand afhænger af hvor stort et vandreservoir, der etableres, og dermed hvor stor en andel af drænvandet, der opmagasineres og efterfølgende anvendes til markvanding. I sammenligningen her er taget udgangspunkt i scenarie C, hvor der etableres et vandreservoir på 80.000 m<sup>3</sup>, der kan opmagasinere halvdelen af drænvandet fra 100 ha. Det opmagasinerede drænvand anvendes til at markvande 200 ha, dvs. i gennemsnit kan der vandes med 40 mm. Recirkulering af drænvand uden kombination med andre virkemidler har potentiale til at reducere den samlede kvælstofudledning 54 pct. ud fra de i denne analyse anvendte forudsætninger.

Recirkulering af drænvand kan kombineres med alle andre virkemidler på dyrkningsfladen. Uanset recirkulering af drænvand, så vil det være relevant at dyrke efterafgrøder i det omfang, det er muligt uden at skulle ændre sædskiftet. Efterafgrøder bidrager med biomasse og kulstof til jorden. Efterafgrøder har en positiv klimaeffekt. Der er desuden regnet med, at recirkulering af drænvand ofte også vil blive kombineret med præcisionsjordbrug, fordi flere og flere bedrifter under alle omstændigheder vælger at tage præcisionsteknologier i anvendelse. Den kombinerede effekt af recirkulering af drænvand (scenarie C), efterafgrøder og præcisionsjordbrug er opgjort til 65 pct. reduktion i den samlede kvælstofudledning til vandløbskant.

Endelig er ovenstående virkemidler sammenlignet med braklægning af jorden. Braklægning vil typisk kunne reducere kvælstofudledningen med ca. 85 pct. Der vil fortsat være en baggrundsudvaskning fra det braklagte areal.

Recirkulering af drænvand som i scenarie C i kombination med efterafgrøder (40 pct.) og præcisionsjordbrug reducerer som nævnt kvælstofudledningen med 65 pct. Det svarer til hele 80 pct. af den reduktion, der kan opnås med braklægning. Der er imidlertid den store forskel, at recirkulering af drænvand øger udbyttet samlet set, hvorimod braklægning reducerer udbyttet til ingenting. 5 ha med recirkulering af drænvand (scenarie C) kan med hensyn til effekt på kvælstofudledningen erstatte 4 ha brak.

## 14 POTENTIALE FOR KVÆLSTOFFJERNELSE I KYSTVANDOPLANDE

Det er usikkert, hvor stor udbredelse recirkulering af drænvand kan få som kvælstofvirkemiddel. Der skal være drænvand eller vand i grøfter, der kan opmagasineres. Jordbunden skal desuden være så tilpas leret, at der kan etableres et tæt reservoir uden membran. Dertil kommer, at der skal etableres et markvandingsanlæg med pumpe, jordledninger og én eller flere vandingsmaskiner. Der skal endvidere kunne gives tilladelse til etablering af vandreservoir (mere herom i delrapport II).

Potentialet for kvælstoffjernelse er her estimeret ud fra arealet med lerjord i hvert kystvandopland. Arealet med lerjord er her opgjort som arealet med JB6, JB7 og JB8 i overjorden. Der kan være yderligere arealer, hvor vandreservoirs kan etableres uden kunstig membran, f.eks. på arealer med JB4 i overjorden, hvor underjorden er lerjord. Det er på nuværende tidspunkt ikke muligt at afgøre, om det er 10, 20 eller måske 30 pct. af lerjordsarealet, hvor det i praksis er muligt at etablere et vandreservoir og opsamle drænvand. Potentialet er her beregnet ud fra, at det vil være muligt at etablere opsamling af drænvand på 20 pct. af lerjordsarealet.

Potentialet for kvælstoffjernelse ved recirkulering af drænvand er endvidere baseret på scenarie C, hvor der etableres et vandreservoir, der kan opmagasinere 80.000 m<sup>3</sup> drænvand pr. 100 ha. Der er regnet med, at opmagasineringen og recirkuleringen af drænvandet reducerer kvælstofudledningen med 54 pct. i gennemsnit. De beregnede potentialer for kvælstoffjernelse i kystvandoplande fremgår af tabel 9. Der er beregnet et potentiale for reduktion af kvælstofudledningen til kyst for alle kystvandoplande uden hensyntagen til indsatsbehovet i det enkelte kystvandopland. Endelig er der beregnet et reduktionspotentiale, hvor der er korrijeret for indsatsbehovet i det enkelte kystvandopland, dvs. kystvandoplande uden indsatsbehov indgår ikke og i kystvandoplande med indsatsbehov kan det angivne potentiale ikke overstige indsatsbehovet.

Det fremgår af tabel 9, at potentialet for reduktion af kvælstofudledningen til kysten efter korrektion for indsatsbehovet i de enkelte kystvandoplande er estimeret til 1.077 ton N. For at nå dette potentiale skal der opsamles drænvand fra ca. 102.000 ha, og der skal etableres ca. 1.000 vandreservoirs med en gennemsnitlig kapacitet på 80.000 m<sup>3</sup>. Virkemidlet recirkulering af drænvand skal dermed udbredes til ca. 5 pct. af det samlede dyrkede areal i omdrift på højbund.

I nogle kystvandoplande kan recirkulering af drænvand opfylde en stor del af kravene til reduktion af kvælstofudledningen. I kystvandoplande med overvejende sandjord er potentialet lille.

Tabel 9. Potentiale for reduktion af kvælstofudledning til kyst ved recirkulering af drænvand, ton N. Det er forudsat, at der kan etableres vandreservoirs og opsamles drænvand fra op til 20 pct. af det dyrkede areal med lerjord.

Kystvandområde	Dyrket areal, ha	Areal med lerjord, ha	Recirkulering af drænvand, 20% af lerjord		Antal vandreservoirs (1 pr. 100 ha)	Reduktionspotentiale til kyst, (korr. for indsatsbehov), ton N	
			ha	(korr. for indsatsbehov), ha		ton N	ton N
1 Roskilde Fjord, ydre	30.009	13.326	2.665	2.665	27	19,5	19,5
2 Roskilde Fjord, indre	25.793	21.692	4.338	4.338	43	32,2	32,2
6 Nordlige Øresund	9.164	3.783	757			45,0	
16 Korsør Nor	1.946	1.725	345			2,8	
17 Basnæs Nor	3.522	3.304	661			6,0	
18 Holsteinborg Nor	1.119	1.068	214			2,1	
24 Isefjord, ydre	6.244	1.779	356	356	4	2,7	2,7
25 Skælskør Fjord og Nor	1.607	1.538	308			3,9	
28 Sejerø Bugt	16.522	9.617	1.923			8,5	
29 Kalundborg Fjord	3.147	2.631	526			4,6	
34 Smålandsfarvandet, syd	30.556	28.753	5.751			53,8	
35 Karrebæk Fjord	67.848	56.009	11.202	6.168	62	108,4	59,7
36 Dybsø Fjord	3.208	2.093	419			3,4	
37 Avnø Fjord	9.760	7.675	1.535			15,3	
38 Guldborgsund	17.757	16.296	3.259			38,1	
44 Hjelm Bugt	7.462	7.069	1.414			10,0	
45 Grønsund	13.755	13.322	2.664	2.664	27	28,2	28,2
46 Fakse Bugt	14.533	13.487	2.697			30,5	
47 Præstø Fjord	9.678	8.456	1.691	1.691	17	17,5	17,5
48 Stege Bugt	14.139	12.692	2.538			24,0	
49 Stege Nor	1.344	1.298	260	260	3	2,6	2,6
56 Østersøen, Bornholm	34.669	18.801	3.760	3.760	38	53,9	53,9
59 Nærå Strand	5.785	1.934	387	387	4	3,1	3,1
62 Lillestrand	1.067	628	126	126	1	0,6	0,6
68 Lindelse Nor	2.511	2.135	427	427	4	3,1	3,1
72 Kløven	1.994	1.216	243	243	2	1,0	1,0
74 Bredningen	6.222	5.035	1.007	1.007	10	10,4	10,4
80 Gamborg Fjord	3.783	3.657	731	731	7	7,1	7,1
82 Aborg Minde Nor	6.354	4.397	879	879	9	9,4	9,4
83 Holckenhavn Fjord	14.625	10.684	2.137	2.137	21	19,4	19,4
84 Kerteminde Fjord	1.396	1.395	279	279	3	2,2	2,2
85 Kertinge Nor	1.153	620	124	124	1	1,1	1,1
86 Nyborg Fjord	783	435	87			0,8	
87 Helnæs Bugt	11.889	5.727	1.145	1.145	11	9,5	9,5
89 Lunkebugten	989	935	187			0,8	
90 Langelandssund	19.062	14.866	2.973			34,7	
92 Odense Fjord, ydre	5.069	2.510	502	121	1	3,5	0,8
93 Odense Fjord, Seden Str.	56.944	29.268	5.854	5.854	59	68,6	68,6
95 Storebælt, SV	9.549	8.799	1.760			11,8	
96 Storebælt, NV	7.633	6.664	1.333	1.333	13	13,0	13,0

Tabel 9 (fortsat). Potentiale for reduktion af kvælstofudledning til kyst ved recirkulering af drænvand, ton N. Det er forudsat, at der kan etableres vandreservoirs og opsamles drænvand fra op til 20 pct. af det dyrkede areal med lerjord.

	Kystvandområde	Dyrket areal, ha	Areal med lerjord, ha	Recirkulering af drænvand, 20% af lerjord		Antal vandreservoirs (1 pr. 100 ha)	Reduktionspotentiale til kyst, (korr. for indsatsbehov), ton N	
				ha	ha		ton N	ton N
101	Genner Bugt	2.170	682	136	136	1	0,9	0,9
102	Åbenrå Fjord	3.995	3.037	607	607	6	8,1	8,1
103	Als Fjord	7.859	6.891	1.378	574	6	10,5	4,4
104	Als Sund	3.175	3.117	623	305	3	6,3	3,1
105	Augustenborg Fjord	6.248	5.414	1.083	1.048	10	3,9	3,8
106	Haderslev Fjord	11.746	5.752	1.150	1.150	12	11,0	11,0
107	Juvre Dyb	20.735	3.264	653	653	7	5,1	5,1
108	Avnø Vig	3.229	2.932	586	586	6	5,5	5,5
109	Hejlsminde Nor	8.119	7.464	1.493	1.493	15	12,6	12,6
110	Nybøl Nor	3.398	3.202	640			4,8	
111	Lister Dyb	120.570	19.777	3.955			31,9	
113	Flensborg Fjord, indre	2.062	604	121	121	1	1,3	1,3
114	Flensborg Fjord, ydre	7.474	5.880	1.176			5,3	
119	Vesterhavet, syd	14.305	384	77			0,2	
120	Knudedyb	107.288	13.176	2.635	2.635	26	38,3	38,3
121	Grådyb	112.739	3.393	679	679	7	8,4	8,4
122	Vejle Fjord, ydre	21.132	18.819	3.764	3.764	38	32,3	32,3
123	Vejle Fjord, indre	20.217	6.399	1.280	1.280	13	15,9	15,9
124	Kolding Fjord, indre	18.323	7.243	1.449	1.449	14	19,2	19,2
125	Kolding Fjord, ydre	1.853	1.248	250	250	2	2,2	2,2
127	Horsens Fjord, ydre	1.839	1.444	289			3,9	
128	Horsens Fjord, indre	30.373	19.841	3.968	3.968	40	44,4	44,4
129	Nisum Fjord, ydre	18.530	3.789	758	758	8	7,1	7,1
130	Nisum Fjord, mellem	7.681	261	52	52	1	0,4	0,4
131	Nisum Fjord, Felsted Kog	71.547	5.258	1.052	1.052	11	13,4	13,4
132	Ringkøbing Fjord	210.785	5.254	1.051	1.051	11	11,4	11,4
133	Vesterhavet, nord	1.245	838	168			5,1	
136	Randers Fjord, indre	178.369	73.931	14.786			111,1	
137	Randers Fjord, ydre	11.406	6.716	1.343			8,8	
138	Hevring Bugt	10.020	2.649	530			4,2	
139	Anholt	31	0	0			0,0	
140	Djursland Øst	42.666	6.945	1.389	1.389	14	15,5	15,5
141	Ebeltoft Vig	2.231	51	10			0,0	
142	Stavns Fjord	513	215	43			0,2	
144	Knebel Vig	1.424	802	160	160	2	1,2	1,2
145	Kalø Vig	9.924	8.418	1.684			13,8	
146	Norsminde Fjord	7.173	5.702	1.140			8,8	
147	Århus Bugt og Begtrup Vig	21.184	14.900	2.980			33,1	
154	Kattegat, Læsø	5.413	0	0			0,0	
157	Skive Fjord, Lovns Bredn. m.fl.	91.537	5.654	1.131	1.131	11	10,2	10,2
158	Hjarbæk Fjord	79.599	1.614	323	323	3	3,4	3,4
159	Mariager Fjord, indre	16.509	8	2	2		0,0	
160	Mariager Fjord, ydre	19.974	2.231	446			4,2	

Tabel 9 (fortsat). Potentiale for reduktion af kvælstofudledning til kyst ved recirkulering af drænvand, ton N. Det er forudsat, at der kan etableres vandreservoirs og opsamles drænvand fra op til 20 pct. af det dyrkede areal med lerjord.

Kystvandopland	Dyrket areal, ha	Areal med lerjord, ha	Recirkulering af drænvand, 20% af lerjord		Antal vandreservoirs (1 pr. 100 ha)	Reduktionspotentiale til kyst, (korr. for indsatsbehov), ton N	
			ha	(korr. for indsatsbehov), ha		ton N	ton N
165 Isefjord, indre	42.873	29.063	5.813	5.813	58	56,6	56,6
200 Kattegat, Nordsjælland	13.660	4.705	941	941	9	9,5	9,5
201 Køge Bugt	46.324	42.319	8.464			101,1	
204 Jammerland Bugt og Musholm B.	71.419	55.659	11.132	10.611	106	100,0	95,3
206 Smålandsfarvandet, åbne del	9.361	8.012	1.602			28,0	
207 Nakskov Fjord	18.814	18.124	3.625	3.625	36	53,9	53,9
208 Femerbælt	25.283	23.100	4.620			43,8	
209 Rødsand og Bredningen	22.219	15.270	3.054	3.054	31	37,9	37,9
212 Faaborg Fjord	1.510	641	128	128	1	1,1	1,1
214 Det sydfynske Øhav	21.960	15.247	3.049	3.049	30	28,9	28,9
216 Lillebælt, syd	26.988	20.571	4.114			27,4	
217 Lillebælt, Bredningen	13.678	10.186	2.037	2.037	20	18,8	18,8
219 Århus Bugt syd, Samsø	22.047	15.212	3.042			25,0	
221 Skagerrak	65.965	7.432	1.486			15,0	
222 Kattegat, Aalborg Bugt	47.234	2.878	576			5,8	
224 Nordlige Lillebælt	22.037	12.956	2.591	2.591	26	33,8	33,8
225 Nordlige Kattegat, Ålbæk Bugt	27.806	2.716	543			6,6	
231 Lillebælt, Snævringen	1.938	1.454	291	291	3	13,3	13,3
232 Nissum Bredning	39.098	16.572	3.314	3.314	33	34,7	34,7
233 Kås Bredning og Venø Bugt	51.961	20.386	4.077			35,0	
234 Løgstør Bredning	41.147	6.623	1.325			9,1	
235 Nibe Bredning og Langerak	150.652	14.613	2.923			34,9	
236 Thisted Bredning	36.569	17.287	3.457	3.457	35	48,5	48,5
238 Halkær Bredning	19.678	20	4	4		0,1	0,1
I alt hele landet		993.566	198.713	102.227	1.022	2.006	1.077



## 15 NY UDLEDNINGSBASERET KVÆLSTOFREGULERING

Ifølge Aftalen om grøn omstilling af dansk landbrug (Finansministeriet, 2021) skal der indføres en ny udledningsbaseret kvælstofregulering fra 2026/2027. Recirkulering af drænvand kan indgå som virkemiddel i en ny udledningsbaseret kvælstofregulering. Det kræver dog, at nitratreduktionen mellem rodzone og vandløbskant, dvs. grundvandsretentionen, bliver en integreret del af kvælstofreguleringen på bedriftsniveau. I det følgende er det vist, hvordan integreringen kan ske, hvis kvælstofreguleringen bliver indeksbaseret. En indeksbaseret kvælstofregulering bygger på forholdstal for kvælstofudvaskning i stedet for absolutte tal for kvælstofudvaskning. Formålet med en indeksbaseret kvælstofregulering er at sikre en hensigtsmæssig byrdefordeling mellem bedrifterne i et kystvandopland.

I en indeksbaseret kvælstofregulering indgår en referenceudvaskning, som fastsættes for alle marker. Referenceudvaskningen for en mark beregnes med udgangspunkt i en referenceafgrøde (vinterhvede) og markens jordtype og normale afstrømning. Det betyder, at referenceudvaskningen varierer mellem marker alene på grund af forskelle i jordtype og forskelle i normal afstrømning. Referenceudvaskningen fastsættes én gang for alle.

Udvaskningsindekset for en mark et givet år er den aktuelle udvaskning ved aktuel dyrkningspraksis som procent af referenceudvaskningen:

$$\text{Udvaskningsindeks} = \frac{\text{Aktuel udvaskning (kg N)} \times 100}{\text{Referenceudvaskning (kg N)}}$$

For at integrere grundvandsretentionen i kvælstofreguleringen skal der beregnes en referenceudledning til vandløbskant. Dette indeks beregnes som referenceudvaskningen gange en reference-grundvandsretention (Rgvr). Grundvandsretentionen indgår i beregningen som decimaltal. Reference-grundvandsretentionen er den beregnede grundvandsretention før implementering af retentionsforøgende virkemidler som minivådområder, vådområder, bufferzoner eller recirkulering af drænvand. Aktuel grundvandsretention (Rgva) er da den aktuelle grundvandsretention, som enten kan være den samme som reference-grundvandsretentionen, hvis der ikke er implementeret retentionsforøgende virkemidler, eller den kan være højere end reference-grundvandsretentionen, hvis der er implementeret et retentionsforøgende virkemiddel.

Udledningsindekset er for en mark et givet år er den aktuelle kvælstofudledning til vandløbskant som procent af referenceudledningen til vandløbskant:

$$\text{Udledningsindeks} = \frac{\text{Aktuel udvaskning (kg N)} \times (1 - Rgva) \times 100}{\text{Referenceudvaskning (kg N)} \times (1 - Rgvr)}$$

Eksempel på beregning af udledningsindeks for mark med et minivådområde:

Referenceudvaskning fra rodzonen	60 kg N/ha
Kvælstofudvaskning fra rodzonen, aktuel	45 kg N/ha
Kvælstofudledning via dræn	43 pct. af rodzoneudvaskningen
Kvælstofudledning via grundvand	8 pct. af rodzoneudvaskningen
Grundvandsretention (reference), Rgvr	49 pct. (0,49 som decimaltal)
Minivådområde, kvælstoftilbageholdelse	22 pct. af kvælstofudledningen via dræn (78 pct. udledes fortsat via dræn)

Udvaskningsindekset, dvs. uden indregning af grundvandsretentionen, beregnes til 75:

$$Udvaskningsindeks = \frac{45 \text{ kg N} \times 100}{60 \text{ kg N}} = 75$$

Udledningsindekset, dvs. med indregning af grundvandsretention, beregnes også til 75, så længe den aktuelle grundvandsretention er lig med reference-grundvandsretentionen:

$$Udledningsindeks = \frac{45 \text{ kg N} \times (1 - 0,49) \times 100}{60 \text{ kg N} \times (1 - 0,49)} = 75$$

Efter implementering af et minivådområde ændres den aktuelle grundvandsretention og udledningsindekset bliver da 61. Udledningsindekset er reduceret med knap 19 pct.

$$Udledningsindeks = \frac{45 \text{ kg N} \times (0,08 + (0,43 \times 0,78)) \times 100}{60 \text{ kg N} \times (1 - 0,49)} = 61$$

Eksempel på beregning af udledningsindeks for mark med recirkulering af drænvand:

Referenceudvaskning fra rodzonen	60 kg N/ha
Kvælstofudvaskning fra rodzonen, aktuel	45 kg N/ha
Kvælstofudledning via dræn	43 pct. af rodzoneudvaskningen
Kvælstofudledning via grundvand	8 pct. af rodzoneudvaskningen
Grundvandsretention (reference), R <sub>gv</sub>	49 pct. (0,49 som decimaltal)
Recirkulering af drænvand, kvælstoftilbageholdelse (scenarie C for Bornholm eller Østfyn)	64 pct. af kvælstofudledningen via dræn (36 pct. udledes fortsat via dræn)

Efter implementering af et vandreservoir og recirkulering af drænvand ændres den aktuelle grundvandsretention og udledningsindekset bliver da 35. Udledningsindekset er reduceret med 54 pct.

$$Udledningsindeks = \frac{45 \text{ kg N} \times (0,08 + (0,43 \times 0,36)) \times 100}{60 \text{ kg N} \times (1 - 0,49)} = 35$$

Det vil kraftigt øge incitamentet til at etablere vandreservoirs og recirkulere drænvand, hvis det kan indgå som et virkemiddel i den ny udledningsbaserede kvælstofregulering på bedriftsniveau fra 2026/2027.

## 16 VANDINGSBEHOV PÅ DRÆNET LERJORD

Vandreservoirs uden en kunstig membran kan etableres, hvor der er lerjord. Opmagasineret af vand i vinterperioden forudsætter dræn eller grøfter, hvorfra vandet kan opsamles. Recirkulering af drænvand er derfor først og fremmest et virkemiddel på drænet lerjord. På lerjord opnår afgrøderne en større roddybde end på sandjord. Den plantetilgængelige vandmængde er derfor fra forårets begyndelse betydeligt større på lerjord end på sandjord. Drænet lerjord findes fortrinsvis i Østdanmark, hvor nedbøren i vækstsæsonen er mindre end i Vestdanmark. Det er med til at øge vandingsbehovet i Østdanmark i forhold til Vestdanmark på arealer med samme jordtype.

Aarhus Universitet (Damme et al, 2018) har beregnet vandingsbehovet i 10 forskellige afgrøder på 10 lokaliteter i Danmark på årlig basis i perioden 1990-2015. Vandingsbehovet er endvidere beregnet ved forskellige rodzonekapaciteter. Opgørelsen viser tydeligt, at vandingsbehovet falder med stigende rodzonekapacitet. Opgørelsen viser også, at vandingsbehovet ved samme rodzonekapacitet er betydeligt højere i Østdanmark end i Vestdanmark. Beregningen er baseret på, at der er vandingsbehov, når vandbalanceunderskuddet overstiger 50 pct. af den plantetilgængelige vandmængde i jorden.

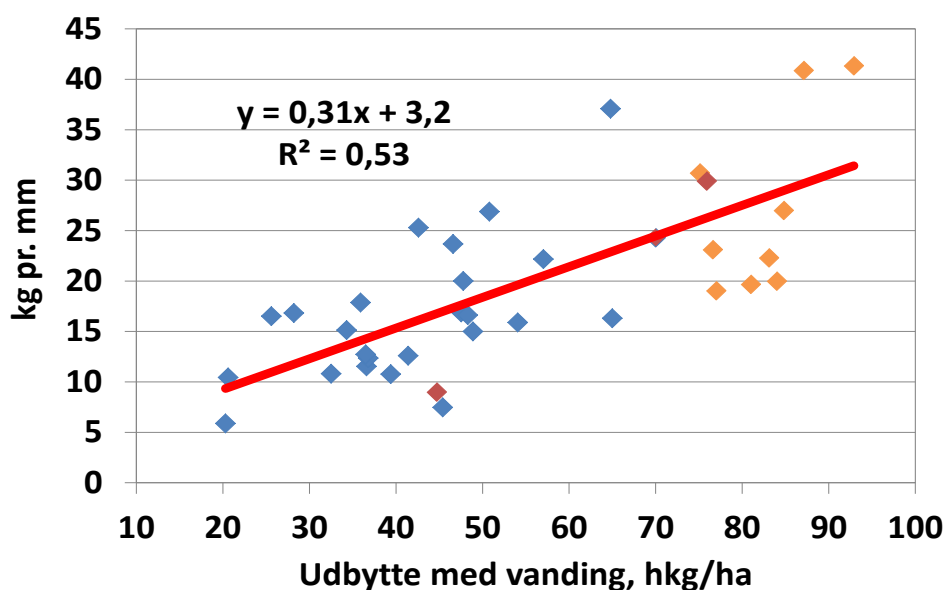
I tabel 10 er vist vandingsbehovet i vårbyg og vinterhvede for tre lokaliteter, der illustrerer forskellen mellem Øst- og Vestdanmark. De tre lokaliteter er Flakkebjerg på Sjælland, Årslev på Fyn og Askov i Sydjylland. Flakkebjerg er den tørreste lokalitet af de tre, men det skal bemærkes, at de kystnære egne på Øerne, Østsjælland samt Lolland-Falster i gennemsnit har endnu lavere nedbør i vækstsæsonen end Flakkebjerg. Der vil derfor være områder med større vandingsbehov end angivet for Flakkebjerg. Vandingsbehovene er angivet som gennemsnitlige vandingsbehov for perioden 1990-2015. Det må forventes, at vandingsbehovet øges noget i de kommende år i takt med at de stigende temperaturer fører til klimaforandringer.

Tabel 10. Beregnet vandingsbehov i vårbyg og vinterhvede på tre lokaliteter og ved fire forskellige rodzonekapaciteter, mm. Vandingsbehovet er beregnet på basis af klimadata for perioden 1990-2015. Efter Damme et al. (2018).

Lokalitet	Rodzonekapacitet, mm							
	Vårbyg				Vinterhvede			
	140	160	180	200	140	160	180	200
Flakkebjerg	92	78	67	55	133	115	103	90
Årslev	81	61	50	37	114	98	83	69
Askov	52	42	26	12	83	70	54	39

## 17 MERUDBYTTE FOR MARKVANDING

Vandingsforsøg, der er udført på sandjord, viser, at merudbyttet for vanding af korn typisk ligger i niveauet 10-30 kg kerne pr. mm vandingsvand, jf. figur 13. Ved kraftig tørkestress er merudbyttet større end ved mere moderat tørkestress. Endvidere er merudbyttet pr. mm vandingsbehov stigende med stigende udbytt niveau i marken. På lerjord, hvor rodzonekapaciteten er højere end på sandjord, vil afgrøderne i de fleste tilfælde komme i mere moderat tørkestress end på sandjord. Det er her estimeret, at det sandsynlige merudbytte i kornafgrøder ved vanding på lerjord i gennemsnit er i størrelsesordenen 12 kg kerne pr. mm vandingsvand. I tabel 11 er vist de beregnede merudbytter ud fra de vandingsbehov, der fremgår af tabel 10.



Figur 13. Merudbytte pr. mm vandingsvand i korn afhængig af markens udbytt niveau (forsøg ved Jyde- vad Forsøgsstation 1946-1989), kg kerne pr. mm. Vårbyg (blå), vinterbyg (brun) og vinterhvede (gul).

Udviklingen i nedbør i april og maj set over mange år tyder på, at forårstørke bliver mere almindeligt (Hvid, 2023). Det er især en udfordring for vårafgrøder, hvor den tidlige tørke kan medføre en dårlig afgrødeetab- lering og en dårlig buskning i vårkorn. Det er svært at sætte tal på værdien af at kunne vande vårafgrøder i forbindelse med forårstørke, fordi konsekvenserne varierer meget afhængig af de præcise vejrforhold før og efter tørkeperioden. I 2023 kom der en kraftig forårstørke efter en relativ våd periode. Det medførte ge- nerelt betydelige nedgange i udbytterne i vårafgrøderne.

Frø- og specialafgrøder vil normalt betale væsentligt mere for markvanding end korn. Økonomiberegnin- gerne her er imidlertid baseret på markvanding af korn, da en stor andel af det vandede areal vil blive korn, hvis virkemidlet recirkulering af drænvand skal have en stor udbredelse, da det dyrkede areal er domineret af kornafgrøder. For bedrifter med frø, kartofler og specialafgrøder vil det økonomiske potentiale ved mark- vanding være større.

I tabel 14 er vist det økonomiske bruttomerudbytte ved etablering af vandreservoirs, der giver mulighed for at vande med henholdsvis 60 og 40 mm i gennemsnit pr. ha. I tabel 14 er der regnet med 50 pct. vintersæd (vinterhvede) og 50 pct. vårkorn (vårbyg). Der er regnet med en kornpris på 142 kr. pr. hkg, der svarer til den gennemsnitlige kornpris i perioden 2018-2022. Ved markvanding vil man også få et øget halmudbytte. Værdien af det ekstra halmudbytte er ikke medregnet.

Tabel 11. Beregnet potentielt merudbytte i vårbyg og vinterhvede på tre lokaliteter og ved fire forskellige rodzonekapaciteter ved optimal markvanding i forhold til vandingsbehov, hkg pr. ha. Der er regnet med et merudbytte på 12 kg kerne pr. mm vandingsvand i gennemsnit.

Lokalitet	Rodzonekapacitet, mm							
	Vårbyg (hkg/ha)				Vinterhvede (hkg/ha)			
	140	160	180	200	140	160	180	200
Flakkebjerg	11	9	8	7	16	14	12	11
Årslev	10	7	6	4	14	12	10	8
Askov	6	5	3	1	10	8	6	5

Tabel 12. Beregnet potentielt merudbytte i vårbyg og vinterhvede på tre lokaliteter og ved fire forskellige rodzonekapaciteter ved vandreservoir på 600 m<sup>3</sup> pr. ha (60 mm vanding), hkg pr. ha. Der er regnet med et merudbytte på 12 kg kerne pr. mm vandingsvand i gennemsnit.

Lokalitet	Rodzonekapacitet, mm							
	Vårbyg (hkg/ha)				Vinterhvede (hkg/ha)			
	140	160	180	200	140	160	180	200
Flakkebjerg	7	7	7	7	7	7	7	7
Årslev	7	7	6	4	7	7	7	7
Askov	6	5	3	1	7	7	6	5

Tabel 13. Beregnet potentielt merudbytte i vårbyg og vinterhvede på tre lokaliteter og ved fire forskellige rodzonekapaciteter ved vandreservoir på 400 m<sup>3</sup> pr. ha (40 mm vanding), hkg pr. ha. Der er regnet med et merudbytte på 12 kg kerne pr. mm vandingsvand i gennemsnit.

Lokalitet	Rodzonekapacitet, mm							
	Vårbyg (hkg/ha)				Vinterhvede (hkg/ha)			
	140	160	180	200	140	160	180	200
Flakkebjerg	5	5	5	5	5	5	5	5
Årslev	5	5	5	3	5	5	5	5
Askov	5	5	3	1	5	5	5	5

Tabel 14. Beregnet bruttomerudbytte (kr. pr. ha) ved markvanding af korn på tre lokaliteter og ved fire forskellige rodzonekapaciteter ved vandreservoir på henholdsvis 600 m<sup>3</sup> pr. ha (60 mm) og 400 m<sup>3</sup> pr. ha. Der er regnet med de merudbytter, der fremgår af tabel 12 og 13 samt en kornpris på 142 kr./hkg.

Lokalitet	Rodzonekapacitet, mm							
	400 m <sup>3</sup> vandreservoir pr. ha				600 m <sup>3</sup> vandreservoir pr. ha			
	140	160	180	200	140	160	180	200
Flakkebjerg	682	682	682	682	1.022	1.022	1.022	1.022
Årslev	682	682	682	682	1.022	1.022	1.022	898
Askov	682	682	681	441	1.022	954	681	441

## 18 VÆRDI AF KVÆLSTOFFJERNELSE

Reduktion af kvælstofudledningen vil generelt være forbundet med omkostninger til de virkemidler, der skal give reduktionen. Generelt vil omkostningerne være ret stærkt stigende med stigende reduktionskrav, fordi man først vil implementere de billigste virkemidler. Derfor varierer omkostningerne forbundet med reduktioner i kvælstofudledningen betydeligt.

Minivådområder er et vigtigt virkemiddel i den kollektive kvælstofindsats. Minivådområder reducerer kvælstofindholdet i drænvand. Recirkulering af drænvand er derfor på mange måder et alternativ til minivådområder. Ifølge kataloget over virkemidler til reduktion af kvælstofbelastningen til vandmiljøet (Eriksen, 2020) tilskrives minivådområder i gennemsnit en kvælstoffjernelsesrate på 22 pct. De budgetøkonomiske omkostninger for store minivådområder på 1,0 ha, der modtager drænvand fra 100 ha, er opgjort til 118 kr. pr. kg N, som kvælstofudledningen reduceres. Værdien af den kvælstoffjernelse, der sker ved recirkulering af drænvand, er beregnet, så prisen pr. kg N reduceret er den samme som ved etablering af minivådområder. Værdien af den beregnede N-fjernelse i scenarie A-D for seks lokaliteter fremgår af tabel 15.

Tabel 15. Beregnet værdi af N-fjernelse ved recirkulering af drænvand ved en pris på 118 kr. pr. kg N fjernet ved vandløbskant, kr. pr. reservoir (drænvand fra 100 ha).

	Scenarie	Opsamlet drænvand, ha	Reservoir kapacitet, m <sup>3</sup>	Vandingsmængde, mm	Vandet areal, ha	N-fjernelse, kg N (vandløbskant)	Værdi af N-fjernelse, kr.
Bornholm	A	100	40.000	40	100	661	78.000
	B	100	60.000	60	100	826	97.500
	C	100	80.000	40	200	966	113.900
	D	100	120.000	60	200	1.207	142.400
Falster	A	100	40.000	40	100	607	71.700
	B	100	60.000	60	100	757	89.300
	C	100	80.000	40	200	887	104.600
	D	100	120.000	60	200	1.100	129.800
Sydsjæll.	A	100	40.000	40	100	629	74.200
	B	100	60.000	60	100	784	92.500
	C	100	80.000	40	200	917	108.200
	D	100	120.000	60	200	1.152	135.900
Østfyn	A	100	40.000	40	100	674	79.500
	B	100	60.000	60	100	842	99.400
	C	100	80.000	40	200	985	116.200
	D	100	120.000	60	200	1.230	145.200
Vejle	A	100	40.000	40	100	711	83.900
	B	100	60.000	60	100	902	106.400
	C	100	80.000	40	200	1.055	124.500
	D	100	120.000	60	200	1.316	155.200
Haderslev	A	100	40.000	40	100	718	84.700
	B	100	60.000	60	100	906	107.000
	C	100	80.000	40	200	1.061	125.200
	D	100	120.000	60	200	1.323	156.100



## 19 SAMLET BRUTTOVÆRDI AF RECIRKULERING AF DRÆNVAND

Den samlede bruttoværdi er her beregnet som summen af bruttomerudbyttet ved markvanding og bruttoværdien af N-fjernelsen. Bruttomerudbyttet ved markvanding omfatter alene værdien af det øgede kerneudbytte ved markvanding af korn. Ved vanding af højtstående afgrøder er den økonomiske gevinst større. Værdien af det øgede halmudbytte er ikke indregnet. Der er derfor tale om et forsigtigt økonomisk estimat. Den samlede bruttoværdi af recirkulering af drænvand for scenarie A-D for seks lokaliteter fremgår af tabel 16. Omkostninger forbundet med etablering af et vandreservoir og recirkulering af drænvand behandles i delrapport II.

Tabel 16. Beregnet bruttoværdi af recirkulering af drænvand (sum af bruttoværdi ved markvanding af korn og værdi af N-fjernelse ved en pris på 118 kr. pr. kg N fjernet ved vandløbskant), kr. pr. reservoir (drænvand fra 100 ha).

	Scenarie	Reservoir kapacitet, m <sup>3</sup>	N-fjernelse, kg N (vandløbskant)	Værdi af N-fjernelse, kr.	Bruttomerudbytte for markvanding, kr.	Bruttoværdi i alt, kr.
Bornholm	A	40.000	661	78.000	68.200	146.200
	B	60.000	826	97.500	102.200	199.700
	C	80.000	966	113.900	136.400	250.300
	D	120.000	1.207	142.400	204.400	346.800
Falster	A	40.000	607	71.700	68.200	139.900
	B	60.000	757	89.300	102.200	191.500
	C	80.000	887	104.600	136.400	241.000
	D	120.000	1.100	129.800	204.400	334.200
Sydsjæll.	A	40.000	629	74.200	68.200	142.400
	B	60.000	784	92.500	102.200	194.700
	C	80.000	917	108.200	136.400	244.600
	D	120.000	1.152	135.900	204.400	340.300
Østfyn	A	40.000	674	79.500	68.200	147.700
	B	60.000	842	99.400	102.200	201.600
	C	80.000	985	116.200	136.400	252.600
	D	120.000	1.230	145.200	204.400	349.600
Vejle	A	40.000	711	83.900	68.200	152.100
	B	60.000	902	106.400	102.200	208.600
	C	80.000	1.055	124.500	136.400	260.900
	D	120.000	1.316	155.200	204.400	359.600
Haderslev	A	40.000	718	84.700	68.200	152.900
	B	60.000	906	107.000	102.200	209.200
	C	80.000	1.061	125.200	136.400	261.600
	D	120.000	1.323	156.100	204.400	360.500

## 20 REFERENCER

- Børgesen, C.D., Sørensen P., Blicher-Mathiesen G., Kristensen M.K., Pullens, J.W.M., Zhao J., Olesen J.E. 2019. NLES5 - An empirical model for predicting nitrate leaching from the root zone of agricultural land in Denmark. Aarhus University, DCA - Danish Centre for Food and Agriculture. 116 p. - DCA report No. 163.  
<http://web.agrsci.dk/djfpublikation/index.asp?action=show&id=1313>
- Damme, L.T., Andersen, M.N. 2018. The cross- and net-irrigation requirements of crops and model farms with different root zone capacities at ten locations in Denmark 1990-2015. DCA report 112. 90 pages.  
[DCArapport112\\_net.pdf \(au.dk\)](#)
- Damme, L.T., Jing, S., Montcalm, A.M., Jepson, M., Andersen, M.N., and Hasen, E.J. 2022. Proper management of irrigation and nitrogen-application increases crop N-uptake efficiency and reduces nitrate leaching. [Acta Agriculturae Scandinavica, vol. 72, 1, 913-922.](#)
- Eriksen, J., Thomsen, I. K., Hoffmann, C. C., Hasler, B., Jacobsen, B. H. 2020. Virkemidler til reduktion af kvælstofbelastningen af vandmiljøet. Aarhus Universitet. DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. 452 s. – DCA rapport nr. 174 <https://dcapub.au.dk/djfpdf/DCArapport174.pdf>
- Gold, A.J., Addy, K., Morrison, A. og Simpson, M. 2016. Will Dam Removal Increase Nitrogen Flux to Estuaries. Water 2016, 8, 522.
- Hvid, S.K. 2023. Tendens til mere forårstørke. [Artikel på LandbrugsInfo.](#)
- Højberg, A.L. 2019. Præsentation af analyse af kvælstofudledning fra drænede arealer. Ikke publiceret.
- Højberg, A.L., Thodsen, H., Børgesen, C.D., Tornbjerg, H., Nordstrøm, B.O., Trolborg, L., Hoffmann, C.C., Kjeldgaard, A., Holm, H., Audet, j., Ellermann, T., Christensen, J.H., Bach, E.O. & Pedersen, B.F. 2021. [National kvælstofmodel – version 2020, Metode rapport.](#) De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland. GEUS Specialrapport.
- Højberg, A.L. 2023. Redegørelse om kvælstofudledning fra drænede arealer (projektansøgning). Ikke publiceret.
- Moursi, H., Youssef, M.A., Poole, C.A., Castro-Bolinaga, C.F., Cheschier, G.M. and Richardson, R.J. 2023. Drainage water recycling reduced nitrogen, phosphorus, and sediment from a drained agricultural field in eastern North Carolina, U.S.A. Agricultural Water Management 279 (2023) 108179.
- Jensen, J.P., Søndergaard, M., Jeppesen, E., Lauridsen, T.L. & Sortkjær, L. 1997: Ferske vandområder - Søer. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1996. Danmarks Miljøundersøgelser. - Faglig rapport fra DMU 211: 103s.



**SEGES Innovation P/S**  
Agro Food Park 15  
DK 8200 Aarhus N

+45 8740 5000  
info@seges.dk  
seges.dk

**SEGES**  
INNOVATION