UNIVERSITY OF COPENHAGEN

Københavns Universitet

Omkostninger ved at nå kvælstofkrav i vandområdeplanerne 2021-2027 – Second Opinion, fase III, styrket modelgrundlag

Jacobsen, Brian H.

Publication date:
2024

Document version
Også kaldet Forlagets PDF

Document license:
Ikke-specificeret

Citation for published version (APA):
Jacobsen, B. H. (2024). Omkostninger ved at nå kvælstofkrav i vandområdeplanerne 2021-2027 – Second Opinion, fase III, styrket modelgrundlag. Institut for Fødevare- og Ressourceøkonomi, Københavns Universitet. IFRO Udredning Nr. 2024/12

Download date: 14. okt.. 2026

INSTITUT FOR FØDEVARE- OG RESSOURCEØKONOMI
KØBENHAVNS UNIVERSITET

IFRO Udredning

Omkostninger ved at nå kvælstofkrav i vandområdeplanerne 2021-2027 – Second Opinion, fase III, styrket modelgrundlag

Brian H. Jacobsen

2024 / 12

IFRO Udredning 2024 / 12

Omkostninger ved at nå kvælstofkrav i vandområdeplanerne 2021-2027 – Second Opinion, fase III, styrket modelgrundlag

Forfatter: Brian H. Jacobsen

Faglig kvalitetssikring: Berit Hasler har foretaget faglig kommentering. Ansvaret for udgivelsens indhold er alene forfatterens.

Udarbejdet for Miljøstyrelsen som del af arbejdet vedrørende et styrket modelgrundlag i fase III af "Second Opinion"-projektet.

Udgivet august 2024

Se flere myndighedsaftalte udredninger på www.ifro.ku.dk/publikationer/ifro_serier/udredninger/

Institut for Fødevare- og Ressourceøkonomi (IFRO)
Københavns Universitet
Rolighedsvej 23
1958 Frederiksberg
www.ifro.ku.dk

Forord

Det blev i forbindelse med *Aftale om grøn omstilling af dansk landbrug* (Regeringen et al., 2021) fra den 4. oktober 2021 besluttet, at der skal gennemføres en såkaldt "Second Opinion", der blandt andet skal gennemgå det faglige grundlag for opgørelsen af kvælstofindsatsbehovet, som det fremgår af vandområdeplanerne for perioden 2021-2027. Vandområdeplanerne blev sendt i høring den 22. december 2021, og de endelige vandplaner blev offentliggjort i juni 2023.

Det samlede "Second Opinion" (SO)-projekt gennemføres i tre faser, hvor fase I og II omfatter en redegørelse af det juridiske og naturfaglige grundlag. Fase III omfatter både en opdatering af statusbelastningen og baselinen for 2027, et styrket modelgrundlag og en opdatering af det resterende indsatsbehov. Miljøstyrelsen forestår med bistand fra forskningsinstitutioner gennemførslen af SO-fase III.

Dette notat er en del af de analyser, der er gennemført i SO-fase III i projektet omkring et styrket modelgrundlag. Det styrkede modelgrundlag omfatter her to elementer. For det første skal der være en analyse af mulighederne for at styrke fosforindsatsen (2a) for ad den vej om muligt at reducere behovet for en reduktion af kvælstoftabet. For det andet skal der være en analyse af en sæsonfokuseret indsats, hvor det skal afdækkes, hvad effekten er af at anvende virkemidler i sommerperioden (2b) (algernes vækstsæson) (Miljøministeriet, 2022b). Analysen i denne rapport omfatter alene delopgave 2b og har alene fokus på kvælstofindsatsen. Arbejdet i projektet om et styrket modelgrundlag har været opdelt i en række delprojekter, og den økonomiske analyse foretaget af Institut for Fødevare og Ressourceøkonomi (IFRO) indgår i arbejdspakke 5.

Projektet om et styrket modelgrundlag har været ledet af Anders Chr. Erichsen, DHI, og i projektet har der været deltagere fra en række institutioner (Aarhus Universitet, COWI, GEUS, DHI og Københavns Universitet). Der har været en følgegruppe bestående af ansatte fra Miljøministeriet, der har givet kommentarer til tidligere udkast af denne rapport.

Arbejdet på IFRO i forhold til denne rapport er udført af lektor Brian H. Jacobsen, og projektet er udført i samarbejde med professor Berit Hasler, der har foretaget den gennemførte faglige kommentering.

Indhold

Forord 1
Indhold 2
1. Introduktion 4
2. Omkostninger med SMART-modellen i forhold til vandområdeplaner 5
2.1. Spildevand 6
2.2. Regnbetingede udledninger (RBU) 7
2.4. Genberegning af omkostningerne ved et indsatskrav på 12.955 tons N med SMART-modellen 8
2.5. Analyse af kystvandoplande, der ikke når indsatskrav 11
3. Analyse af retention og sæsoneffekt i forhold til punktkilder 13
3.1. Analysetilgang 13
3.1. Rensningsanlæg 15
3.1.1. Analyse af omkostninger og ny retention 15
3.1.2. Analyse af sæsoneffekt 17
3.2. Industrielle rensningsanlæg 20
3.2.1. Introduktion 20
3.2.2. Analyse baseret på ny retention 20
3.2.3. Analyse af sæsoneffekt 21
3.3. Dambrug 21
3.3.1. Introduktion 21
3.3.2. Analyse baseret på ny retention 24
3.3.3. Analyse af sæsoneffekt 25
3.4. Regnbetingede overløb (RBU) 28
3.4.1. Introduktion 28
3.4.2. Analyse baseret på ny retention og nye omkostninger 30
3.4.3. Analyse af sæsoneffekt 31
4. Ny vurdering af effekter af minivådområder 33
4.1. Effekt af minivådområder på oplandsniveau 33
4.2. Diskussion af sæsoneffekt af minivådområder 36
5. Konklusion 37
Referencer 41
Bilag A 44
Bilag B 46

Bilag C 49
Bilag D 51
Bilag E 53

1. Introduktion

Det er aftalt, at der med SO vil blive foretaget en evaluering af det faglige grundlag for kvælstofindsatsen med henblik på at afdække, om der er foretaget antagelser, forudsætninger eller valg, som vil kunne lede til en justeret opgørelse af et resterende kvælstofindsatsbehov inden for de juridiske og naturvidenskabelige rammer for vandrammedirektivet (se også Miljøministeriet (2022a-b).

SO gennemføres i tre spor, hvor fase I og II omfatter en redegørelse af det juridiske og naturfaglige grundlag. Fase III omfatter både en opdatering af statusbelastningen og baselinen for 2027, et styrket modelgrundlag og en opdatering af det resterende indsatsbehov. Det styrkede modelgrundlag omfatter blandt andet analyser i forhold til fosfor og en sæsonfokuseret indsats.

Målet er, at projektresultaterne kan udgøre et operationelt beslutningsgrundlag for fastlæggelsen af det resterende indsatsbehov til brug for genbesøget af vandområdeplanerne i 2023/2024 (Regeringen et al., 2021). Der vil således være behov for, at resultater relateres til de enkelte kystvandoplande med henblik på at vurdere, hvordan indsatskrav angivet i mål i vandområdeplanerne kan opnås. I de økonomiske analyser indgår data fra flere af de andre arbejdspakker (AP) i projektet, der omfatter:

- AP1: Belastning og kildefordeling
- AP2: Punktkildebidrag
- AP3: Diffust bidrag
- AP4: Styrket modelgrundlag (sæsoneffekt)
- AP5: Økonomi
- AP6: Opdatering af modelgrundlag
- AP7: Projektledelse

Som tidligere angivet indeholder denne rapport en del af den økonomiske analyse i AP5 i forhold til kvælstofindsatsen. Fokusset i denne økonomiske analyse er at vurdere, om der med en indregning af sæsoneffekter kan ske en mere omkostningseffektiv målopfyldelse. Som anført vil analysen af sæsoneffekter og mulige yderligere tiltag i forhold til fosfor sammen med de andre analyser under SO styrke grundlaget for en vurdering af, hvordan indsatsen kan optimeres, specielt i de kystvande, hvor der i vandområdeplanerene udestår et indsatskrav.

I dette notat gennemgås der alene virkemidler i forhold til kvælstof med fokus på punktkilder, men andre virkemidler, for eksempel drænvirkemidler, drøftes også. Det vurderes herefter, om omkostningerne ved at nå de i vandområdeplanerne (VP3) opsatte miljømål derved bliver lavere end omkostningerne, der indgik i tidligere økonomiske analyser (se nærmere i Jacobsen (2022), Hasler et al. (2022) og Hasler & Jacobsen (2022).

Notatet starter i kapitel 2 med en gennemgang af omkostningerne ved at nå målene i vandområdeplanerne, idet der er foretaget en genberegning af omkostningerne i forhold til den tidligere analyse fra 2022 (Jacobsen, 2022). I den analyse indgår både kollektive og målrettede virkemidler samt punktkilder. De kollektive virkemidler omfatter vådområder, minivådområder, udtagning af lavbundsarealer og skovrejsning. De virkemidler, der indgår i den målrettede regulering (MR), omfatter efterafgrøder, kvælstofnormreduktion, mellemafgrøder, energiafgrøder, randzoner, braklægning og tidlig såning. Der er i analysen her ikke antaget et fast forhold mellem indsatsen med kollektive virkemidler og den målrettede regulering, idet målet har

været at nå det opstillede mål til de laveste omkostninger. Det er dette resultat, som de efterfølgende analyser i dette notat holdes op imod.

Kapitel 3 omfatter en analyse af konsekvenserne af de nye retentioner og omkostninger samt af sæsoneffekten for punktkilder såsom rensningsanlæg, dambrug og regnbetingede udløb (RBU). Derefter indgår en mere detaljeret opgørelse af effekten af minivådområder i kapitel 4. Der afrundes med en vurdering af den samlede effekt.

Den økonomiske analyse i fase III omfatter ikke alle kystvandoplande, da det ikke er alle kystvandoplande, hvor det er sandsynligt, at en sæsonindsats vil have en effekt. Der er i bilag A en nærmere angivelse af, hvilke kystvande der indgår i de forskellige dele af projektet. Der er således 31 kystvandoplande, der kan være fosforfølsomme, og der er 18 kystvandoplande ud af de i alt 108 kystvandoplande, der indgår i vandområdeplanerne, hvor der kan være en sæsoneffekt. Analysen af effekten af minivådområder har inddraget flere kystvande omkring Limfjorden, og den omfatter derfor 23 kystvande.

2. Omkostninger med SMART-modellen i forhold til vandområdeplaner

De oprindelige økonomiske analyser med brug af SMART-modellen søgte at beregne omkostningerne ved at nå det af Miljøministeriet i 2021 opstillede indsatskrav på 13.075 tons N ved brug af en række virkemidler (Jacobsen, 2022; Hasler et al., 2022).

I SMART-modellen sker der en omkostningseffektiv placering af alle virkemidler i et givet kystvandopland for at nå det opstillede indsatskrav. I de oprindelige økonomiske analyser med SMART-modellen omfattede de anvendte virkemidler primært en række bedriftsvirkemidler koblet til den målrettede regulering og en række kollektive landbrugsvirkemidler (Jacobsen, 2022). I analyserne indgik rensningsanlæg og regnbetingede overløb (RBU) også, men ikke separate regnvandsudledninger, dambrug og havbrug. For hvert virkemiddel blev omkostningen pr. kg N opgjort, ligesom der indgik et potentiale for hvert virkemiddel (Jacobsen, 2022). I analyserne blev de samlede omkostninger opgjort til 938 mio. kr. i scenarie 2, svarende til 352 kr. pr. ha eller 78 kr. pr. kg N.

Det er her valgt at opdatere beregningerne fra 2022 af to hovedårsager. For det første har det nu vist sig, at de af Miljøministeriet fremsendte retentioner for de 108 kystvandoplande var baseret på det gamle retentionskort fra 2015 og ikke det nyeste retentionskort fra 2020, som det ellers var forventet. Dette betyder, at der for en række kystvandoplande er en ændret retention. Den nu anvendte retention fremgår af bilag B.

Det andet forhold er, at der i de endelige vandplaner fra juni 2023 nu anføres et reduktionskrav på 12.955 tons N og ikke på de 13.075 tons N anvendt i den først gennemførte analyse (Miljøministeriet, 2023; Jacobsen, 2022). Forskellene i indsatsbehov omfatter en række kystvandoplande, og dette påvirker både de samlede omkostninger, men også marginalomkostningerne ved at nå målene i de enkelte kystvandoplande. I de tidligere gennemførte analyser blev både gennemsnitsomkostningerne og marginalomkostningerne for det angivne indsatsbehov opgjort for hvert kystvandopland (Jacobsen, 2022). Gennemsnitsomkostningen er i nærværende analyse den gennemsnitlige omkostning for at nå indsatskravet i et givet kystvandopland med udgangspunkt i det nationale krav på 12.955 tons N. Den marginale omkostning er omkostningen pr. kg N for

det sidste virkemiddel, der indgår i løsningen. Det vil således være det dyreste virkemiddel, der indgår i løsningen for det pågældende kystvandopland.

Det overordnede indsatskrav i vandområdeplanerne er på 12.955 tons N, og det er i planerne angivet, hvordan indsatsen ifølge planen fordeles på virkemidler (Miljøministeriet, 2023). Det er i planerne anført, at der inklusive den yderligere indsats på 3.000 tons N i den målrettede regulering samlet opnås en effekt på 11.141 tons, hvoraf de 10.441 tons N opnås i kystvandoplande med et indsatsbehov (mankoen er således på 2.514 tons N) (Miljøministeriet, 2023). I de her gennemførte analyser er der imidlertid ikke en forud fastlagt fordeling mellem forskellige typer af virkemidler (punktkilder samt målrettede og kollektive virkemidler), idet målet er at opnå den samlede reduktion på 12.955 tons N til de laveste omkostninger.

Da hovedfokusset i de følgende analyser er på punktkilder (dambrug, spildevand og RBU), beskrives disse og deres anvendelse i den økonomiske analyse i 2022 (VP3-analysen, Jacobsen (2022)) lidt nærmere i næste afsnit, da denne beskrivelse danner udgangspunkt for en sammenligning i de efterfølgende analyser i regi af SO-projektet (Jacobsen, 2022). Det er herefter muligt at fastslå, om det med ændrede tilgange (sæsoneffekter) er muligt at nå de samme mål mere omkostningseffektivt end angivet i de oprindelige økonomiske analyser med brug af SMART-modellen (Jacobsen, 2022). Indsatser overfor dambrug indgik ikke i den oprindelige VP3-analyse (Jacobsen, 2022), men diskuteres i næste kapitel, mens spredte bebyggelser ikke indgår i analyserne. De indgik heller ikke i den oprindelige SMART-analyse (Jacobsen, 2022), da deres omfang var svært at kortlægge præcist.

2.1. Spildevand

Der er i perioden 2015-2021 gjort en del indsatser for at reducere tilførslen af næringsstoffer og organisk stof til vandløbene. Miljøministeriet (Miljøministeriet, 2023) vurderer således, at indsatserne i perioden omfatter:

- En forbedret spildevandsrensning på cirka 6.771 ejendomme i spredt bebyggelse
- En reduceret spildevandsbelastning fra cirka 370 regnbetingede overløb (RBU)
- En forbedret spildevandsrensning på ti fælles renseanlæg

Disse tiltag er med til at også reducere kvælstofindsatsbehovet for de pågældende kystvandoplande i VP3. En forbedret spildevandsrensning omfatter et eller flere af følgende trin: mekanisk rensning (M), biologisk rensning (B), nitrifikation (fjernelse af ammoniak ved iltning) (N), denitrifikation (fjernelse af kvælstof) (D), kemisk fældning (fosfor) (K), efterpolering i filter (F) og fældning med jern (Fe) (Jacobsen, 2022).

De data, der indgik i den økonomiske VP3-analyse, var baseret på data fra Miljøministeriet, og omfatter opgørelser af mulige forbedringer af spildevandsrensningen på 693 renseanlæg. Af disse blev 261 udbygget til MBN. Af dataene fremgår det, at det samme renseanlæg godt kan blive udbygget med flere udbygningstrin, og effekten er opgjort i både kg N og kg P (Jacobsen, 2022). I forhold til kvælstofeffekten er der sket en indregning af overfladeretentionen i analysen (Højberg et al., 2021), således at de opgjorte mængder er i kg N til vandmiljøet (Hasler et al., 2022; Jacobsen, 2022). Der er generelt en tendens til, at udbygningerne er billigst på de store anlæg. Det fremgår, at omkostningen ved en given udbygning på store anlæg kun er det halve af omkostningen for de mindste anlæg. Det sidste trin, MBNDKFe, er alene for at reducere kvælstof, og dette sidste trin er typisk det dyreste (se tabel 1 på næste side).

De angivne omkostninger er de marginale omkostninger for et yderligere rensningstrin. Der er, som det fremgår, faldende marginale omkostninger for de første rensetrin og ikke stigende omkostninger pr. kg som forventet. Det vurderes, at årsagen kan være, at det netop er anlæggene med de højeste omkostninger, som

ikke er blevet opgraderet. Normalt ville man forvente, at omkostningerne pr. kg N stiger for hvert rensetrin. Hvis fosforeffekten værdisættes, vil det naturligvis reducere omkostningen pr. kg N i analysen, undtagen for MBNDKFe, hvor der ikke er nogen P-effekt. Analyser foretaget af COWI i AP2 i dette projekt (COWI, 2023) viser, at der på samme måde er tiltag, der alene er rettet mod en reduktion af fosfortabet.

Tabel 1. *Antal af observationer, effekter og omkostninger for rensning af spildevand fordelt på trin*

Trin	Renseanlæg (antal)	Effekt (tons N)	Effekt (tons P)	Omkostning (1.000 kr. pr. år)	Omkostning (kr. pr.kg N)	Omkostning (kr. pr. kg P)
MBN	261	28	6	23.975	859	4.277
MBNDK	417	141	30	85.807	610	2.891
MBNDKF	637	664	202	357.910	539	1.774
MBNDKFe	693	951	0	745.952	784	---

Note: N-effekten er med en indregning af overfladeretentionen. Ved opgørelsen af omkostningerne pr. kg N indgår der ingen værdisætning af P, og ved opgørelsen af omkostninger pr. kg P indgår der ikke nogen værdi pr. kg N (Jacobsen, 2022). Forklaring af rensningstype: M: mekanisk rensning. B: biologisk rensning. N: nitrifikation (omdannelse af ammoniak til nitrat). D: denitrifikation (fjernelse af kvælstof). K: kemisk fældning af fosfor, blandt andet med jern. F: efterpolering i filter. Fe: fældning med jern (alene N).
Kilde: Jacobsen (2022).

2.2. Regnbetingede udledninger (RBU)

Regnbetingede udledninger til vandløb, søer og kystvande omfatter udledninger af opblandet spildevand og regnvand fra overløb af fælleskloakker, der via kloak løber til vandløb, samt udledninger af regnvand fra separate regnvandskloakker. De første kaldes i nogle sammenhænge regnbetingede overløb (RBO), men her anvendes termen RBU for begge typer. I VP3-analysen indgik der cirka 3.900 regnbetingede overløb, mens de cirka 16.000 separate regnvandsudledninger ikke indgik i analysen (Jacobsen, 2022).

Miljøstyrelsen leverede til VP3-analysen en oversigt over de mulige indsatser i forhold til regnbetingede overløb. Oversigten var baseret på indberetninger fra kommunerne i 2018 (PULS-data) (Jacobsen, 2022). Indberetningen i PULS foretages af kommunerne, og der er en meget stor variation i kvaliteten af de data, der indberettes (Rigsrevisionen, 2023).

Det anvendte virkemiddel er et 10 mm sparebassin, der oftest er et lukket betonbassin. Sparebassinet opsamler det første og mest forurenende overløbsvand. Når der igen er ledig kapacitet i fælleskloakken, ledes overløbsvandet tilbage til kloakken og til renseanlægget. Der opnås en N- og P-reduktion på 75 procent ved overløbet.

Men da renseanlægs udledning ligger på cirka 6 mg N pr. l, og overløbs udledning normalt ligger på cirka 12 mg N pr. l, er renseeffekten altså på cirka 6 mg pr. l (en effekt på 50 procent i dette tilfælde), hvorfor udledningen ikke fuldstændigt fjernes. Der er i beregningerne ikke afsat midler til en større rensekapacitet.

Der er i nogle tilfælde et forsinkelsesbassin (en effekt på 25 procent), og det opgraderes lineært, så omfanget bliver dimensioneret efter behovet. Grundet de ganske store usikkerheder ved de indberettede spildevandsdata anbefaler Miljøministeriet, at middelestimatet for renseeffekten (75 procent) bruges, og at enhedsomkostninger for kvælstof (og fosfor) anvendes (Jacobsen, 2022).

I beregningen investeres der 1 mio. kr. pr. ha, og sparebassinets størrelse er på 100 m^3 pr. ha areal, der afstrømmes fra, hvorfor investeringen udgør 10.000 kr. pr. m^3 (COWI, 2019) (se tabel 2). Effekten er opgjort til 10,3 kg N og 1,5 kg P pr. ha bassinareal. Det areal, der indgår her, er det areal, der bidrager til afstrømning, når det regner. Det kaldes også det reducerede areal (red. ha). På den baggrund opgøres gennemsnitsomkostningerne til 4.987 kr. pr. kg N. Omkostningen pr. kg P er i standarden beregnet til 33.771 kr. pr. kg P. Der anvendes således samme omkostning for alle indsatser, selvom der er en betydelig variation i omkostningerne baseret på indmeldinger fra kommuner. Investeringen for store anlæg kan i praksis godt være omtrent en fjerdedel af investeringen for små anlæg – alle målt pr. red ha for anlæg.

Tabel 2. *Økonomi i sparebassiner (opgjort pr. red. ha)*

Type	Investering (kr. pr. enh.)	Årlig drift (kr. pr. enh.)	Levetid (år)	Årlig omkostning (kr.)	Fjernelse (kg N (og P))	Omk. i kr. pr. kg N (kr. pr. kg P)
Sparebassin (10 mm)	1.000.000	5.000	50	51.166	10,3 (1,5)	4.987 (33.771)

Note: Det fremgår, at den samlede maksimale effekt af 3.913 tiltag er på 282 tons N og 49 tons P. Det vil sige, at det gennemsnitlige tiltag reducerer udledningen med 72 kg N og 13 kg P.
Kilde: Miljøstyrelsen (2019).

2.4. Genberegning af omkostningerne ved et indsatskrav på 12.955 tons N med SMART-modellen

I den nye SMART-hovedanalyse indgår der nu et indsatsbehov på 12.955 tons N (Miljøministeriet, 2023) i stedet for en indsats på 13.075 tons N (Jacobsen, 2022). Der er i analysen en begrænsning på det mulige areal, der reelt kan indgå i kollektive virkemidler og en udtagning, da der i praksis kan opstå komplikationer med at finde arealer, og fordi der i analysen ikke skal ske en dobbeltudpegning af de samme arealer, der for eksempel udtages (scenarie 2 i den oprindelige analyse, Jacobsen (2022)). Begrænsningen på kollektive virkemidler er sat til 25 procent af det totale arealpotentiale for kollektive virkemidler, og udtagningen eller braklægningen udgør maksimalt 10 procent af det samlede landbrugsareal (en del af den målrettede regulering). Da modellen ikke er geografisk begrænset, kan der ellers godt være situationer, hvor to virkemidler tilknyttes samme areal. Der kan godt være arealer, hvor der er krav om både en normreduktion og efterafgrøder, men det gælder ikke for eksempelvis skovrejsning, udtagning og vådområder, hvor kun et virkemiddel kan anvendes. Effekterne er dog ikke justeret, så der kan ved brug af flere virkemidler på samme areal ske en overvurdering af effekten. Retentionen er opdateret til en opgørelse fra 2020 (Højberg et al., 2021).

Resultatet af analysen fremgår af tabel 3 på næste side, og den samlede indsats er her på 12.576 tons N i de 107 kystvandoplande, der indgår (Christiansø er udeladt af denne analyse). De kollektive virkemidler udgør cirka 59 procent af indsatskravet, og den målrettede regulering dækker cirka 41 procent, mens indsatsen over for rensningsanlæg og overløb kun udgør 0,4 procent (40 tons N + 14 tons N). Når omfanget af disse virkemidler er lavt, så skyldes det de høje omkostninger ved disse virkemidler, hvorfor de typisk kun anvendes, hvor andre tiltag er opbrugte, og kun i de kystvandoplande, der har et relativt højt indsatsbehov. De samlede nationale omkostninger er på 973 mio. kr., hvilket svarer til 77 kr. pr. kg N eller 363 kr. pr. ha kystvandopland.

Til sammenligning var de samlede omkostninger i den oprindelige SMART-analyse (scenarie 2) opgjort til 938 mio. kr., svarende til 78 kr. pr. kg N eller 352 kr. pr. ha. Indsatsen var dengang på 12.070 tons N af de 13.075 tons N, svarende til 92 procent (Jacobsen, 2022), hvor der nu opnås en reduktion på 12.576 tons N ud af 12.955, svarende til 97 procent. De samlede omkostninger pr. kg N i den nye analyse er således på niveau med den tidligere analyse, og der er en lidt højere målopfyldelse.

Selvom retentionen i gennemsnit er lidt højere (cirka 71 procent mod 70 procent i analysen fra 2022), opnås der nu med de nye retentioner en højere målopfyldelse, da der i kystvandoplande, der tidligere havde en manglende målopfyldelse, nu er en lavere retention. I forhold til valget af virkemidler er det det stort set de samme, der vælges. Hvor der tidligere var otte kystvandoplande, hvor reduktionsmålet ikke blev nået, er det nu kun syv af de otte kystvandoplande, der ikke når reduktionskravet. Her er det specielt fem kystvandoplande, hvor der er noget afstand til indsatskravet (over 4 procent) med de opstillede forudsætninger. Det er muligt at nå målene i nogle af de angivne kystvandoplande, men det kræver en mere omfattende udtagning eller en højere effekt pr. ha end anvendt i denne analyse (se nærmere i næste afsnit).

Tabel 3. *Omkostninger og effekter i SMART-hovedanalysen ved et indsatsbehov på 12.995 tons N*

	Areal (ha)	Effekt (kg N pr. ha)	Effekt (tons N)	Omk. (1.000 kr.)	Omk. (kr. pr. ha)	Omk.eff. (kr.pr. kg N)
Energiafgrøder	5.852	14,4	84	11.921	2.037	142
Efterafgrøder u. sædskifteændr.	347.326	8,3	2.892	124.938	360	43
Efterafgrøder m. sædskifteændr.	77.688	10,0	778	105.030	1.352	135
Randzoner	2-315	8,9	21	3.126	1.350	152
Norm -10 %	1.261.224	1,1	1.350	56.755	45	42
Norm -20 %	453.289	1,3	572	60.514	134	106
Tidlig såning af vintersæd	87.485	5,5	484	17.497	200	36
Mellemafgrøder	82.692	4,2	346	26.875	325	78
Udtagning	65.134	13,7	893	112.042	1.720	125
Renseanlæg			40	23.946		594
RBU			14	68.148		4.987
Vådområder	22.880	126,4	2.893	120.619	5.272	42
Minivådområder	20.469	4,2	87	20.182	986	233
Lavbund	10.465	40,0	419	29.180	2.788	70
Skov	123.587	13.8	1.703	192.075	1.554	113
Sum			12.576	972.848	367	77
Mål			12.955 (97 %)			

Note: Potentialet for udtagning og kollektive virkemidler er reduceret til henholdsvis 25 procent og 10 procent af det samlede potentiale. De opgjorte omkostninger pr. kg N er gennemsnitsomkostningerne. Der er en række kystvandoplande (syv), som ikke når målet. Udtagningen omfatter cirka 225.000 ha (8 procent). Målet opnås med 59,4 procent målrettet regulering og 40,6 procent kollektive virkemidler, mens 0,4 procent er dækket af rensningsanlæg og RBU.
Kilde: Egne beregninger.

Den nye beregning er udgangspunktet for tabel 4, og den viser, at renseanlæg kun indgår i løsningen i begrænset omfang, da omkostningerne er relativt høje pr. kg N. Effekten udgør 40 tons N og 3,5 tons P til en omkostning på cirka 600 kr. pr. kg N.

Tiltag i forhold til RBU omfatter kun følgende kystvandoplande: Stege Nor; Knudedyb; Kolding Fjord, indre og ydre; Mariager Fjord, ydre; samt Thisted Bredning og Halkær Bredning. Omkostningen er her den samme for alle, nemlig 4.987 kr. pr. kg N. Det giver i alt cirka 14 tons N og 2 tons P (se tabel 5).

Tabel 4. *Kystvandoplande, hvor rensningsanlæg indgår i løsningen i SMART-analysen*

Kyst-vand-opland	Navn	Nås reduktions-mål?	Antal af anlæg og antal af trin	Tons N	Kg P	Omk. (1.000 kr.)	Omk.eff. (kr. pr. kg N)
120	Knudedyb	(Nej)	14 anlæg. Flere trin for hvert anlæg.	17	3.126	12.586	734
124	Kolding Fjord, indre	Nej	Et anlæg. Flere trin.	5	47	1.941	393
236	Thisted Bredning	Nej	Fire anlæg. Flere trin.	18	319	9.286	511
238	Halkær Bredning	Nej	Et anlæg. Et trin.	0	0	133	9.776
I alt				40	3.492	23.946	594

Note: Kystvandoplande i () angiver, at de er tæt på målsætningen (over 96 procent).
Kilde: Egne beregninger.

Tabel 5. *Kystvandoplande, hvor RBU indgår i løsningen i SMART-analysen*

Kyst-vand-opland	Nås reduktionsmål?	Navn	Tons N	Kg P	Omk. (1.000 kr.)	Omk.eff. (kr. pr. kg N)
49	Nej	Stege Nor	0	13	348	4.987
120	(Nej)	Knudedyb	3	459	12.933	4.987
124	Nej	Kolding Fjord, indre	8	1.467	40.814	4.987
125	Nej	Kolding Fjord, ydre	0	17	383	4.987
159	(Nej)	Mariager Fjord, indre	1	151	4.515	4.987
236	Nej	Thisted Bredning	2	343	8.796	4.987
238	Nej	Halkær Bredning	0	14	358	4.987
I alt			14	2.463	68.148	4.987

Note: Kystvandoplande i () angiver, at de er tæt på målsætningen (over 96 procent).
Kilde: Egne beregninger.

Endelig kan det for spredte bebyggelser anføres, at der kun var en begrænset indsats i tredje planperiode i vandområdeplanerne. Det fremgår af vandområdeplanerne, at der var en forbedret spildevandsrensning for cirka 6.771 ejendomme i anden planperiode. Der udestår cirka 1.650 indsatser over for ukloakerede ejendomme, og der videreføres indsatser på cirka 5.500 ukloakerede ejendomme (Miljøministeriet, 2023). I

vandområdeplanerne frem mod 2027 indgår der en indsats på 612 ejendomme, hvoraf halvdelen er beliggende på Bornholm (Miljøministeriet, 2023). Indsatsen i forhold til spredte bebyggelser indgår ikke i SMART-analysen.

2.5. Analyse af kystvandoplande, der ikke når indsatskrav

Der har i projektarbejdet også været et ønske om at få et større indblik i resultaterne for de fem kystvandoplande, hvor der er en vis afstand til indsatskravet (se også bilag E). Ved opstilling af en marginalomkostningskurve er det muligt at se, hvor meget hvert enkelt virkemiddel bidrager og den dertil hørende omkostning pr. kg N. Er det kun de sidste tons i forhold til indsatsen, der er dyre, eller bruges der mange dyre virkemidler? Der vil være en afstand fra den opnåede indsats til målet, fordi det netop er de kystvandoplande, der ikke når de mål, der er opsat. Der ses også på, om indsatskravet kan nås med en udtagning af hele arealet i kystvandoplandet. Direkte relative effekter indgår ikke i analyserne, hvorfor der kan være en overvurdering af effekten grundet en placering af flere virkemidler på samme mark, uden at det reelt er muligt.

De angivne indsatskrav er baseret på vandområdeplanerne. I planerne er der i bilag 1.1. gjort en indsats for at udjævne indsatsen i kystvandoplande, der indgår i samme helopland (kædebetragtning) (Miljøministeriet, 2023). Her har Miljøministeriet set på den samlede indsats i heloplande (hvor kystvandoplande er i en kæde), og indsatsen er fordelt, så den er ensartet opgjort ud fra kg N pr. ha i rodzonen i de enkelte kystvandoplande (se også vandområdeplanerne, bilag 1, Miljøministeriet (2023)). Der kan på trods af dette godt være nogle forskelle i omkostningerne pr. ha for at nå målene i kystvandoplande i samme helopland, fordi der kan være forskelle i blandt andet retentionen og mulighederne for kollektive virkemidler.

Havde man ikke foretaget denne udjævning, kunne der godt være flere kystvandoplande, hvor indsatskravet havde været højere end det, der var muligt at nå. Omvendt kan tilgangen betyde, at indsatser skubbes over i områder, der ikke har mulighed for at løfte denne udfordring, hvis potentialet for eksempelvis kollektive virkemidler er lavt.

Nøgletal for de fem kystvandoplande, der har svært ved at nå indsatskravet, er angivet i tabel 6 nedenfor. Det fremgår således, at der for de fem kystvandoplande er en målopfyldelse på 59 procent til 89 procent. En nærmere angivelse af virkemidler og effekter er angivet i bilag E. For flere af kystvandoplandene er rangordningen af virkemidlerne næsten den samme. Der er således en række virkemidler, der koster mellem 100 og 300 kr. pr. kg N. Derefter kommer de dyreste, som er rensningsanlæg og RBU. Disse virkemidler vælges kun i kystvandoplande, hvor potentialet for landbrugsvirkemidler er opbrugt. De bidrager kun med en marginal indsats, men gør, at marginalomkostningen for disse kystvandoplande bliver meget høj (se marginalomkostningskurverne i bilag E).

Det fremgår også, at virkemidlerne omfatter et stort areal, forstået således at det areal, der indgår med efterafgrøder, lavere normer, mellemafgrøder kombineret med udtagning, er noget større end det samlede areal. På en del arealer skal der således implementeres to virkemidler, og der vil kun være meget få arealer, der ikke har virkemidler. For nogle virkemidler kan der reelt implementeres to virkemidler på samme areal. Det gælder dog ikke for eksempel udtagning, skovrejsning og vådområder, men virkemidler, der er knyttet til driften såsom efterafgrøder, lavere normer og tidlig såning.

Den opsatte begrænsning på udtagning og kollektive virkemidler (25 procent og 10 procent af potentialet) er indføjet, fordi der ikke er en geografisk begrænsning i modellen (se scenarie 2 i Jacobsen (2022)).

Resultaterne viser, at det er et relevant krav for at sikre, at der ikke bliver et endnu større krav og en anvendelse af de samme arealer.

Det fremgår af sidste kolonne i tabel 6, at effekten ved en udtagning på 100 procent af hele landbrugsarealet (højbund) i to tilfælde (Mariager Fjord, indre, og Halkær Bredning) ikke er tilstrækkelig til at opnå det opstillede indsatskrav. Der regnes i de to tilfælde med en gennemsnitlig effekt af en udtagning på 49 kg N pr. ha i rodzonen og en retention på henholdsvis 69 procent og 70 procent, hvilket giver en effekt i havmiljøet på 14-15 kg N pr. ha. Der skal altså her nås en højere effekt end 49 kg N pr. ha i rodzonen, for at indsatskravet kan nås, svarende til en effekt i havet på cirka 19 kg N pr. ha. Analyser foretaget i *TargetEconN*-modellen peger også på, at indsatskravet for Halkær Bredning er svært at nå (Hasler et al., 2022). Der er imidlertid analyser, der peger på, at effekten af braklægning/udtagning i nogle kystvandoplande kan være højere, så det svarer til reduktionskravet i disse kystvandoplande, som er over 15 kg N pr. ha i havet. Dette understreger, at de foretagne analyser for disse kystvandoplande med fordel kan suppleres med detaljerede beregninger af effekter i udvalgte kystvandoplande som i tidligere analyser for eksempelvis Norsminde Fjord (Ørum et al., 2017).

Med dette niveau for udtagning (100 procent) vil omkostningerne til omfordeling af husdyrproduktionen være noget højere end angivet i analysen, idet alt harmoniareal i oplandet forsvinder og skal erstattes af arealer i andre kystvandoplande, der måske ligger noget længere væk. En fuld jordpris på cirka 150.000 kr. pr. ha som følge af en udtagning svarer således typisk til en forpagtningsafgift på omkring 3.750 kr. pr. ha pr. år (renten er på 2,5 procent), hvilket er højere end i nærværende analyse, hvor en udtagning på lerjord koster 3.027 kr. pr. ha, og en udtagning på sandjord koster 1.193 kr. pr. ha. Dertil kommer så øgede omkostninger i forhold til omfordeling af husdyrgødning, der kan være på cirka 725 kr. pr. ha, hvorfor det ikke er usandsynligt, at omkostningen vil udgøre 4.500 kr. pr. ha pr. år (Jacobsen, 2016). En fuld udtagning vil herefter have en årlig omkostning på cirka 73 og 88 mio. kr. for de to kystvandoplande alene.

I dette tilfælde er det sandsynligt, at ordninger af dette omfang vil kræve en kompensation, der minder om ekspropriation, da en udtagning af dette omfang ikke kan opnås med en frivillig udtagning. Kompensationen ved en ekspropriation vil sandsynligvis være højere end det angivne indkomsttab. Til sammenligning er omkostningen i den nuværende løsning for de to kystvandoplande på cirka 17 mio. kr. Der vil således i disse kystvandoplande være en risiko for stærkt stigende omkostninger, når de billige løsninger skal erstattes af dyrere løsninger.

Tabel 6. *Indsats, reduktionskrav og udtagning for kystvandoplande, der ikke når målet ved et begrænset arealpotentiale i SMART-analysen*

Nr.	Kystvand-opland	Areal (ha)	Ind-sats (tons N)	Krav (tons N)	Manko (tons N)	Målop-fyl-delse (%)	Hus-dyr-inten-sitet efter udtag-ning (DE pr. ha)	Ud-tag-ning (ha)	Udtag-ning (% af samlet land-brugs-areal)	Areal omfat-tet af virke-midler (% af samlet land-brugs-areal)	Effekt af en udtag-ning på 100 % (tons N)
49	Stege Nor	1.369	7	8	1,0	87 %	0,05	166	12 %	108 %	19
125	Kolding Fjord, ydre	1.882	20	27	7,0	74 %	0,43	251	13 %	173 %	38
159	Mariager Fjord, indre	16.154	159	256	97,0	62 %	0,57	2.678	17 %	189 %	244
236	Thisted Bredning	36.681	483	540	57,4	89 %	0,57	5.387	15 %	189 %	610
238	Halkær Bredning	19.455	218	368	149,8	59 %	0,87	3.236	17 %	223 %	285
I alt	Alle		887	1.199	311						

Note: Arealerne udtaget i analysen omfatter en række forskellige typer af udtagning (skovrejsning, minivådområder med mere). Det samlede areal i forslaget omfatter både udtagning og andre virkemidler, for eksempel normreduktion, efterafgrøder og tidlig såning. Effekten af udtagning af hele landbrugsarealet i kystvandoplandet er angivet i sidste kolonne (almindelig udtagning, ikke skovrejsning eller vådområder). De to kystvandoplande, der ikke indgår, er Knudedyb med 58 tons N i manko og Kolding Fjord, indre, med en manko på 9 tons N (begge med en opfyldelse på over 96 procent).
Kilde: Egne beregninger.

3. Analyse af retention og sæsoneffekt i forhold til punktkilder

3.1. Analysetilgang

Den i afsnit 2 foretagne genberegning af de samlede omkostninger ved at nå de opstillede indsatskrav for hele landet fungerer som udgangspunkt for sammenligningen med den økonomiske analyse i SO med henblik på at vurdere, om de opstillede reduktionsmål kan opnås mere omkostningseffektivt. Da analysen i SO kun omfatter udvalgte kystvandoplande, er der tale om en partiel analyse, og der er i dette afsnit specielt fokus på punktkilder.

Analysen for hver punktkilde er opdelt i to trin. I det første trin anføres effekten af en genberegning af effekterne og omkostningerne foretaget i AP2 af COWI (COWI, 2023) og retentionen i AP1 (Thodsen, 2023). Da disse effekter adskiller sig fra de grunddata, der indgik i dataene fra Miljøstyrelsen (MST) anvendt i VP3-analysen (Jacobsen, 2022), kan der som følge af dette være en effekt, fordi der nu anvendes en anden retention og andre omkostninger for de anvendte virkemidler. I det næste trin tilføjes der så en beregning af sæsoneffekten fra AP4 for det givne virkemiddel i de pågældende kystvandoplande, og det er derved muligt at vurdere, om den biologiske effekt af sæsoneffekten gør, at indsatsen omregnet reelt har en større effekt,

fordi den sæsonmæssigt er placeret på et tidspunkt, der giver en større effekt målt på biologiske indikatorer (Erichsen et al., 2024).

Den sæsonmæssige effekt er opgjort ud fra næringsstoftabet pr. måned set i forhold til det jævne tab over hele året. I analysen har der indgået en mulig reduktion af N på 30 procent og et P-tab fra alle punktkilder foretaget af DHI i AP4 (Erichsen et al., 2024).

Dette er brugt til at finde årsækvivalenten, der er den miljømæssige effekt på for eksempel sommer klorofyl-a, som tilførslen af N og P har i en givet måned (Erichsen et al., 2024). For nogle virkemidler indeholder ækvivalenten både en sæsoneffekt omfattende både N og P, mens den i andre tilfælde omfatter to opgørelser, idet en er for en sæsoneffekt for N, mens en anden er for en sæsoneffekt for P. Opdelingen skyldes, at effekten på N- og P-reduktionen for disse virkemidler ikke sker i et fast forhold. For RBU, havbrug og dambrug er der således kun en sæsonækvivalent, da man ikke kan fjerne N fra dem uden at fjerne den tilsvarende andel P. For industri og renseanlæg er ækvivalenterne opgjort separat for N og P. I de her gennemførte analyser indgår sæsonækvivalenter alene i forhold til fosfor ikke, da fokusset alene er på N-effekten. Den samlede effekt er således N-effekten (middel over året) ganget med ækvivalenten (sæsoneffekten). En anden tilgang vil være at værdisætte den P-reduktion, der opnås i for eksempel dambrug, da det vil reducere omkostningen pr. kg N. Der indgår dog som udgangspunkt ikke en værdisætning af P-reduktionen i de gennemførte analyser.

Punktkilderne fremgår samlet set af tabel 7 på næste side. Det fremgår, at rensningsanlæg står for den største andel af det samlede kvælstoftab med cirka 55 procent af alle punktkilder, men dog kun 7 procent af alle kvælstofudledninger.

Da de analyserede virkemidler udgør en meget begrænset del af den samlede løsning, angives ændringen her i forhold til udgangspunktet for de relevante kystvandoplande. I forhold til kvælstof analyseres der således mellem 18 og 35 kystvandområder ud af de i alt 108 vandområder i de forskellige arbejdspakker (se bilag A).

Den økonomiske analyse er derfor baseret på en partiel vurdering, hvor de dyreste virkemidler i den nuværende VP3-analyse erstattes af andre og billigere virkemidler fra nærværende analyse. Den økonomiske gevinst er således den nuværende skyggepris minus den nye omkostning pr. kg N ganget med effekten. Der er således ikke lavet en beregning af den samlede omkostning med alle nye tiltag for hver kilde, da det vil give mange delresultater. I nogle tilfælde vil den ændrede omkostning betyde, at virkemidlet indgår med et større omfang end i udgangspunktet. Nogle gange erstattes virkemidlet af andre virkemidler, men for andre kystvandoplande betyder den mulige højere effekt, at der opnås en højere målopfyldelse. Der er i opsamlingen en diskussion af, hvilke kystvandoplande det er, hvor omkostningerne ændres ved introduktionen af en ny retention og en sæsoneffekt.

Tabel 7. *Punktkildeudledning (tons pr. år) af overfladevand på landsplan opgjort som statusudledningen i 2018 og baselineudledningen i 2027*

Type/år	Kvælstof (tons pr. år)		% af alle tab	Fosfor (tons pr. år)	
	2018	2027	2027	2018	2027
Ukloakerede ejendomme	493	409	1	78	59
Regnbetingede udledninger	868	777	2	142	119
Renseanlæg	3.378	3.416	7	362	366
Industri	363	358	1	24	21
Ferskvandsdambrug	656	759	1	55	62
Saltvandsdambrug	32	105	0	3	9
Havbrug	329	349	1	34	37
Sum punktkilder	6.119	6.173	12	698	673
Samlet tab fra alle kilder	56.157	51.300	100	1.865	1.865

Note: Det anføres i vandområdeplanerne, at udledningen fra rensningsanlæg udgør 6 procent for kvælstof og 13 procent for fosfor, da det er på baggrund af 2018-opgørelsen.
Kilde: Miljøministeriet (2023).

Der indgår ikke en nærmere analyse af spredte bebyggelser (ukloakerede ejendomme) i nærværende analyse. I analysen fra COWI (2023) indgår der en udledning på 206 tons N fra spredte bebyggelser, hvilket svarer til 8 procent af den samlede mængde fra punktkilder. Det fremgår af analysen, at 24.000 ejendomme kan forbedre rensningen. Effekten ville være 95 tons N eller 4 kg N pr. år pr. ejendom. Omkostningen er af COWI anslået til at udgøre cirka 2.000 kr. pr. kg N eller i alt 190 mio. kr. årligt. Som anført er der meget stor forskel på omfanget af spredte bebyggelser, der vurderes at have et behov for rensning i COWI-analysen, og omfanget af indsatser i vandområdeplanerne. Spredte bebyggelser indgår ikke i de efterfølgende analyser grundet en usikkerhed om de mange mulige indsatser. De indgik heller ikke i den oprindelige SMART-analyse og *TargetEconN*-analysen, ligesom de ikke indgår i analysen i forhold til en sæsoneffekt (AP4) (Jacobsen, 2022; Hasler et al., 2022; Hasler & Jacobsen, 2022).

Nærværende analyse omfatter i udgangspunktet kun de kystvandoplande, der indgår i SO, og der indgår derfor ikke en genberegning af de samlede nationale omkostninger, men alene en opgørelse af de mulige besparelser i berørte kystvandoplande. De nye virkemidler skal således i udgangspunktet være billigere end marginalomkostningen i VP3-analysen (det dyreste anvendte virkemiddel) for at kunne indgå i de foreslåede løsninger (bilag B). For dambrug er indsatsen mere omfattende, og omkostningerne holdes her op mod gennemsnitsomkostningen i kystvandoplandet. På den baggrund beregnes det, hvilken ændring af omkostningerne nye data for rensningsomkostningerne og retentionen giver, samt hvordan en indregning af sæsoneffekten kan bidrage til at reducere omkostningerne ved at nå de opstillede indsatskrav.

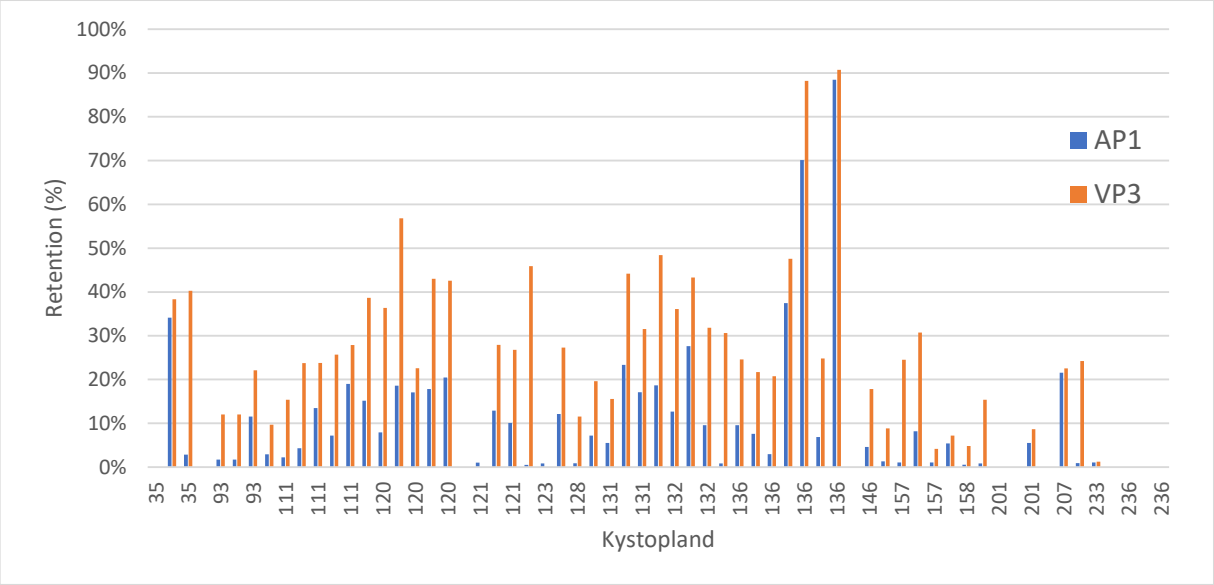
3.1. Rensningsanlæg

3.1.1. Analyse af omkostninger og ny retention

Der indgår cirka 800 kommunale rensningsanlæg i den analyse af omkostningerne, som COWI har gennemført i AP2 for SO-projektet (COWI, 2023). Imidlertid er det vurderet, at reduktionspotentialerne er meget lave for anlæg, der allerede i dag har en udløbskoncentration på under 4 mg N pr. l, hvorfor de ikke indgår i analysen af mulige tiltag. Der indgår således kun udbygninger af 63 kommunale rensningsanlæg (se tabel 1 og 4). Der indgår kun et trin pr. anlæg, da COWI vurderer, at de beregnede effekter af de efterfølgende trin vil være for usikkert bestemt, hvorfor de ikke er medtaget. Rensningsgraden fremgår af data fra

PunktUdledningssystemet (PULS) (Danmarks Miljøportal, u.å.) og data angivet i kort udarbejdet af SEGES (SEGES, 2023). Det fremgår også af COWI's analyse (2023), at langt de fleste rensningsanlæg har en rensningsgrad på over 90 procent for både N og P, men at der er nogle rensningsanlæg, som ikke opnår dette niveau.

I nærværende analyse indgår der også en ny overfladeretention bestemt af Aarhus Universitet i AP1 (Thodsen et al., 2023). Det fremgår af figur 1, at retentionen generelt er lavere i de nye beregninger end det, der indgår som overfladeretention opgjort med udgangspunkt i det nationale retentionskort (Hasler et al., 2022; Højberg et al., 2021). For de 61 rensningsanlæg reduceres retentionen gennemsnitligt fra 23 procent til 10 procent (se også bilag C). Opgjort for de samme 61 rensningsanlæg er forskellen i omkostningseffektiviteten mellem de to opgørelser på 17 procent (se tabel 8).



Figur 1. *Overfladeretention for renseanlæg ved en opgørelse foretaget af AP1 set i forhold til tidligere opgørelser af overfladeretentionen i VP3-analysen opgjort på kystvandoplande*

Kilde: Jacobsen (2022) og Thodsen et al. (2023).

Tabel 8. *Oversigt over forskel mellem MST-opgørelse og COWI-analyse for 63 rensningsanlæg*

	Retention (%)	Årlig omk. (mio. kr.)	Effekt (tons N)	Kr. pr. kg N
VP3-analyse*	23	147	229	641
Ny analyse i SO	10	149	281	529
Forskel i ny analyse (%)	-57 %	+1 %	+23 %	-17 %

Note: Der er to rensningsanlæg (Skanderborg og Aulum), som ikke indgår i denne analyse, da en tilsvarende opgradering ikke er beregnet. *: I den tidligere analyse bruges overfladeretentionen fra Højberg et al. (2021), og i den nye analyse angives retentionen fra Thodsen et al. (2023).
Kilde: Egne beregninger ud fra Højberg et al. (2021) og Thodsen et al. (2023).

Fordi der analyseres færre rensningstrin for de enkelte anlæg, er den samlede reduktionskapacitet mindre i COWI-analysen (COWI, 2023) end i opgørelsen fra MST, der indgik i VP3-analysen (Jacobsen, 2022). Det

fremgår således af analysen, at der kun indgår en samlet reduktion på 17,8 tons N i fire kystvandoplande i den nye løsning, mens der var 40 tons N i analysen i den oprindelige VP3-analyse (Jacobsen, 2022). Den lavere retention betyder således ikke, at rensning indgår i flere kystvandoplande (se tabel 9 nedenfor). Der anvendes her en marginalomkostning på 4.987 kr. pr. kg N, fordi den reduktion, der nu ikke hentes via rensningsanlæg i de tre kystvandoplande, skal hentes via andre dyrere løsninger, svarende til de marginale omkostninger. Den samlede værdi af en lavere N-reduktion er derfor cirka på 110 mio. kr., svarende til 22 tons N ganget med 4.987 kr. pr. kg N. Det er således dyrt ikke at kunne hente denne reduktion i effekt i disse kystvandoplande, fordi der ikke er mange løsningsmuligheder.

De direkte omkostninger udgjorde 24 mio. kr. i VP3, men kun 12 mio. kr. i den nye opgørelse, da antallet af tiltag er lavere. Nettotabet af skift til færre rensningstrin og en ny retention er således på 98 mio. kr. (110 mio. kr. minus 12 mio. kr.).

3.1.2. Analyse af sæsoneffekt

Den opgjorte årsækvivalent er et forsøg på at oversætte den sæsonmæssige effekt til en årlig effekt baseret på den angivne sæsonfordeling. For renseanlæg er ækvivalenterne opgjort separat for N og P. Den samlede N-effekt er her således den almindelige N effekt ganget med ækvivalenten for det angivne kystvandopland.

Sæsoneffekten i form af årsækvivalenter er opgjort i AP4 (Erichsen et al., 2024). Den gør, at en reduktion af N i rensningsanlæg i nogen sammenhænge har en større miljømæssig effekt, end hvis det var et gennemsnit for hele året. Hvordan den sæsonmæssige effekt slår igennem på miljøkvaliteten, er nærmere beskrevet i en rapport fra AP4 (Erichsen et al., 2024).

Det betyder så også, at omkostningen pr. kg N dermed er lavere, end hvis der regnes med et årsgennemsnit, såfremt værdien er over 1. Analysen viser, at sæsonækvivalenten varierer fra 0,2 til 7,9, hvorfor den i nogle tilfælde også betyder, at miljøeffekten reelt er lavere end ved brug af et årsgennemsnit (Erichsen et al., 2024).

Efter denne omregning er det nu muligt at vurdere, hvor mange af de opgjorte tiltag der nu indgår i en løsning. Analysen er foretaget, således at den genberegnede omkostning for et tiltag sammenholdes med marginalomkostningen i udgangspunktet for det givne kystvandopland. Er omkostningen lavere, indgår de pågældende rensningsanlæg i løsningen.

En analyse af stofmængder fra AP4 angiver, at rensningsanlæg bidrager til en relativt stor andel (>10 procent) af den samlede N-udledning i flere kystvandoplande, blandt andet Odense Fjord, Aabenraa, Als Sund, Vejle Fjord, Aarhus Bugt og Lillebælt (Erichsen et al., 2024). For en række kystvandoplande udgør bidraget af P fra rensningsanlæg over 25 procent i forhold til det samlede tab.

Der er i analysen i AP4 foretaget en analyse omfattende 67 kystvandoplande, hvoraf sæsoneffekten for N og P er opgjort for 57 kystvandoplande (Erichsen et al., 2024). Da der kun indgår 24 kystvandoplande i analysen gennemført af COWI (COWI, 2023), er der en del kystvandoplande, hvor sæsoneffekten ikke anvendes. Omvendt er der områder, hvor datagrundlaget ikke er omfattende nok til at beregne en sæsoneffekt, og her antages der ikke at være en sæsoneffekt. Det gælder for Ringkøbing Fjord (132), Bjørnholm Bugt (157), Hjarbæk Fjord (158) og Kås Bredning (233). De kystvandoplande, der ikke indgår i DHI's analyse (Erichsen et al., 2024), men i COWI's analyse (2023), omfatter Randers Fjord (136) og Køge Bugt (201).

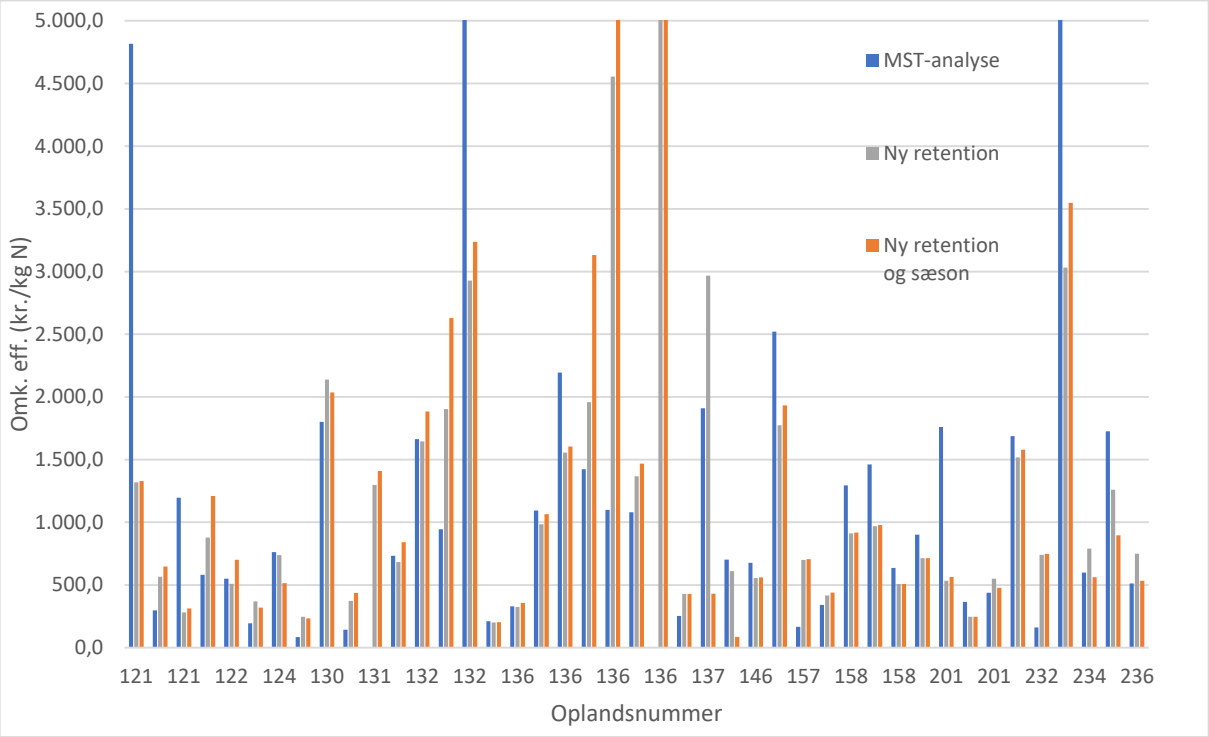
Hovedformålet her er at vurdere den miljømæssige konsekvens af den tidslige placering af reduktioner i N og P fra rensningsanlæg. Da der ikke er et fast forhold mellem N og P, så analyseres de her hver for sig som tidligere angivet. Den angivne sæsonækvivalent er således den sæsonmæssige effekt af N, hvorfor effekten

af 7,0 tons N reelt svarer til 8,6 tons N i Knudedyb (se tabel 9). Som det fremgår af tabel 9 nedenfor, er den gennemsnitlige sæsoneffekt af de analyserede rensningsanlæg i de tre angivne kystvandoplande på 3,5. Det betyder således, at tiltaget i de tre kystvandoplande bliver billigere. Skyggeomkostningen angiver omkostningen i kr. pr. kg N ved det sidste virkemiddel, som anvendes for at nå indsatsbehovet. I de kystvandoplande, hvor der anvendes RBU, er skyggeomkostningen sat til 4.987 kr. pr. kg N, og analyser viser, at hvis skyggeprisen øges til for eksempel 10.000 kr.pr. kg N, så ændrer det ikke på resultatet. Der er således ikke dyrere løsninger fra rensningsanlæg i de kystvandoplande, hvor det er relevant.

Der er altså ikke mange rensningsanlæg, der i kraft af sæsoneffekten nu har tiltag, der er omkostningseffektive, da omkostningerne ikke er lavere end omkostningerne ved alternative landbrugsvirkemidler. Det skyldes, at omkostningen for rensningsanlæg i udgangspunktet er relativt høj. For kystvandoplande, hvor det ikke har været muligt at opgøre sæsoneffekten, er den sat til 1,0, og som anført er sæsoneffekten i nogle tilfælde under 1,0. Hvis sæsoneffekten sættes til 1,0, har sæson således ingen direkte effekt – negativ eller positiv.

Det er kun i de kystvandoplande, som ikke når reduktionskravet, der har en marginal skyggepris over 228 kr. pr. kg N, at rensningsanlæg indgår. I en del kystvandoplande er der ikke yderligere tiltag i forhold til rensningsanlæg. Men for de tre angivne kystvandoplande betyder inddragelsen af en sæsoneffekt, at effekten øges, og at omkostningen pr. kg N reduceres. Så for 12 mio. kr. opnås der nu en effekt på 29tons N og ikke på 18 tons N (uden en sæsoneffekt) som tidligere angivet (se tabel 9).

De samlede omkostninger baseret på den nye analyse med en ny retention samt den nye analyse med en ny retention og en sæsoneffekt er angivet i figur 2, hvor de er sammenlignet med tidligere opgørelser anvendt i VP3-analysen (Jacobsen, 2022) for anlæg i udvalgte kystvandoplande. Det fremgår, at det for nogle rensningsanlæg bliver dyrere pr. kg N, når en ny retention og en sæsoneffekt indregnes, mens det for andre rensningsanlæg bliver noget billigere, når disse effekter indregnes. Det er således ikke entydigt for alle rensningsanlæg, at omkostningerne i den nye analyse med en ny retention og en sæsoneffekt er lavere end den tidligere analyse, men det gælder for nogle anlæg. Dertil kommer sæsoneffekter af P, som ikke indgår i opgørelsen.



Figur 2. *Omkostninger pr. kg N for 40 udvalgte rensningsanlæg (kystvandopland 121-236) ved den tidligere VP3-analyse, den nye analyse uden en sæsoneffekt og den nye analyse med en sæsoneffekt*

Kilde: COWI (2023, AP2), DHI-rapport (Erichsen et al., 2024) og Jacobsen (2022).

Til sammenligning gav udgangspunktet i VP3-analysen en effekt uden en sæsoneffekt på 40 tons N og 3,5 tons P for 24 mio. kr. årligt med flere trin (Jacobsen, 2022). Det optimale ville være at kombinere de flere trin i grundanalysen med en indregning af sæsoneffekten, således at der måske kunne opnås den høje effekt fra VP3-analysen (Jacobsen, 2022) ganget med en sæsoneffekt på for eksempel 1,7. Omvendt findes der ikke nogen sæsoneffekt (eller den kan ikke kan opgøres) for en række rensningsanlæg, og det betyder, at dette virkemiddel ikke bliver mere omkostningseffektivt i en del af de kystvandoplande, der indgår i SO. De nye omkostninger for tiltagene fremgår af tabel 9 på næste side, og der kan man se, at omkostningen pr. kg N for rensningsanlæg nok reduceres, men at omkostningen er stadig over 200 kr. pr. kg N i disse kystvandoplande. Den beregnede sæsoneffekt er opgjort til den højere effekt på 29,4 tons N minus 17,8 tons N eller 11,6 tons N. Værdien er opgjort til 57,8 mio. kr. baseret på 4.987 kr. pr. kg N. De direkte omkostninger for spildevandsrensningen er de samme, da kun effekten er ændret.

Tabel 9. *Økonomisk gevinst ved en sæsoneffekt i kystvande, hvor rensningsanlæg indgår i løsningen*

Kyst-vand-op-land	Navn	Antal af anlæg	Effekt (uden en sæson-effekt) (tons N)	Ækv. (sæson-effekt)	Effekt (med en sæson-effekt) (tons N)	Omk.-eff. VP3 (kr. pr. kg N)	Omk.eff. (ny reten-tion uden en sæson-effekt) (kr. pr. kg N)	Omk.eff. (med en sæson-effekt) (kr. pr. kg N)	Økono-misk gevinst af en sæson-effekt (mio. kr.)
120	Knude-dyb	5	7,0	2,1	14,4	734	554	268	36,9
124	Kolding Fjord, indre	1	2,1	1,3	2,7	393	376	286	3,2
236	Thisted Bred-ning	3	8,7	1,4	12,2	511	829	590	17,6
I alt		9	17,8	1,7	29,4		668	404	57,8

Note: For rensningsanlæg indgår kun sæsoneffekten af N i beregningen og ikke sæsoneffekten af P. Den økonomiske gevinst er baseret på den marginale skyggepris, der indgår, og er på 4.987 kr. pr. kg N baseret på RBU-tiltag i disse tre kystvandoplande. Den samlede effekt af sæsoneffekten baseret på (29,4 tons N – 17,8 tons N) ganget med 4.987 kr. pr. kg N er 57,8 mio. kr.
Kilde: Egne beregninger.

3.2. Industrielle rensningsanlæg

3.2.1. Introduktion

Som anført i tabel 7 er den samlede udledning af spildevand fra industrielle rensningsanlæg noget lavere end fra kommunale rensningsanlæg. Da industrielle rensningsanlæg ikke indgik i VP3-analysen, er det ikke muligt at lave en direkte sammenligning. Det er dog muligt at se på, hvilke tiltag der økonomisk ville give mening i relevante kystvandoplande, og at vurdere, hvordan inddragelsen af sæsoneffekten påvirker den beregnede effekt og omkostningseffektivitet. Den anvendte omkostning er den opgjorte marginalomkostning i VP3-analysen.

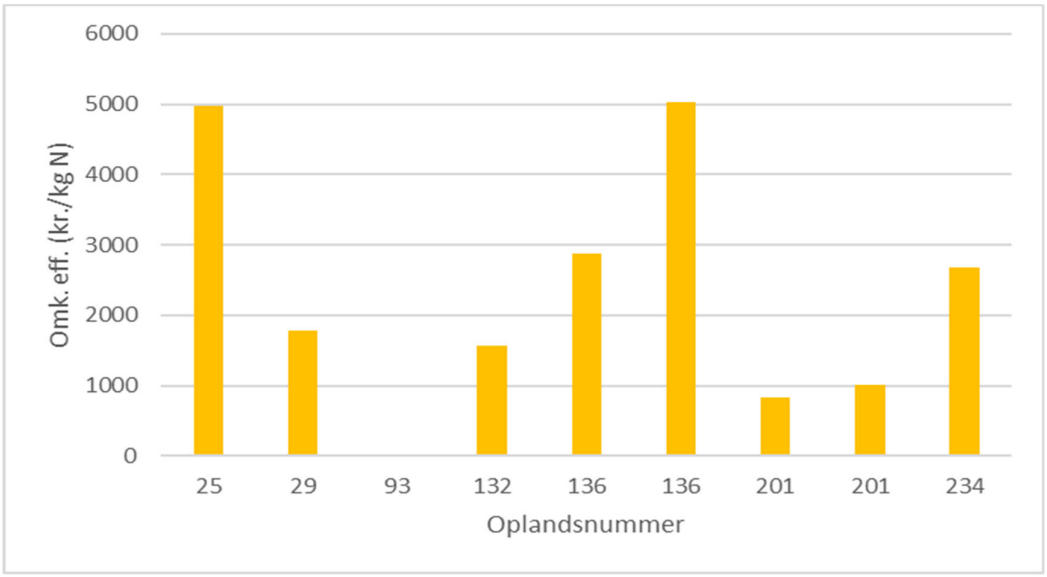
3.2.2. Analyse baseret på ny retention

Der indgår i COWI-analysen 52 industrielle rensningsanlæg, men da mange anlæg har en udløbskoncentration på under 4 mg N pr. l eller en total udledning på under 1 ton pr. år, eller der mangler data, så er der kun lavet en økonomisk analyse for 9 anlæg (COWI, 2023). Effekten af de mulige tiltag udgør herefter 27 tons N før retention og 25 tons N efter retention. Effekten er mellem 1 og 9 tons N pr. år pr. anlæg, og retentionen er i gennemsnit på 2 procent (fra 0 til 14 procent). Andelen af N- og P-belastning fra industrielle rensningsanlæg er størst for Skælskør Fjord med henholdsvis 3 procent og 33 procent samt Flensborg Fjord med henholdsvis 3 procent og 9 procent.

De samlede investeringer for alle ni anlæg er opgjort til 509 mio. kr. De årlige omkostninger efter diskontering er opgjort til cirka 22 mio. kr., og dette beløb kan omregnes til cirka 1.291 kr. pr. kg N efter retention.

Som det fremgår af figur 3, er der en betydelig variation i omkostningseffektiviteten, og særligt Stige Ø losseplads nord for Odense er speciel, idet effekten er høj, fordi der i dag ikke er nogen rensning eller en meget begrænset rensning, og omkostningen ifølge COWI-analysen er relativt lav. Imidlertid oplyser MST, at udledningen fra Stige Ø i praksis er nedsivning og udsivning langs cirka to tredjedele af kystperimeteren. Der er således ingen udledning gennem et rør (personlig meddelelse, Thomas Rützou, specialkonsulent, MST, 20. november 2023). Der er en betydelig investering knyttet til etableringen af en membran, for at det opsamlede perkolat kan afledes til rensningsanlægget. Det vurderes således ikke længere at være en omkostningseffektiv løsning,

For de andre tiltag er omkostningen på over 800 kr. pr. kg N. Da ingen af disse tiltag er beliggende i kystvandoplande med høje omkostninger, så vil indsatsen grundlæggende være dyrere end de tiltag, der indgår i VP3-analysen.



Figur 3. *Omkostningseffektivitet ved tiltag for ni industrielle rensningsanlæg fordelt på kystvandoplande*

Note: Omkostningeffektiviteten for anlæg i kystvandopland 93 er 24 kr. pr. kg N.
Kilde: Egne beregninger baseret på data fra COWI (COWI, 2023).

3.2.3. Analyse af sæsoneffekt

Der er opgjort sæsonækvivalenter i forhold til N og P for tre kystvandoplande. I forhold til N er ækvivalenterne opgjort til henholdsvis 3,3, 1,1 og 0,6 for kystvandopland nr. 25 (Skælskør), nr. 38 (Guldborgsund) og 113 (Flensborg Fjord, indre). Da der ikke indgår mulige tiltag i rensningsanlæg i COWI-analysen i disse kystvandoplande, vurderes det ikke, at der er en sæsoneffekt for industrielle rensningsanlæg.

3.3. Dambrug

3.3.1. Introduktion

Der er ifølge vandområdeplanerne for perioden 2021-2027 i alt 166 ferskvandsdambrug, hvoraf de 163 er placeret i Jylland (Miljøministeriet, 2023). Der er 9 saltvandsdambrug, hvoraf 8 er placeret i Jylland

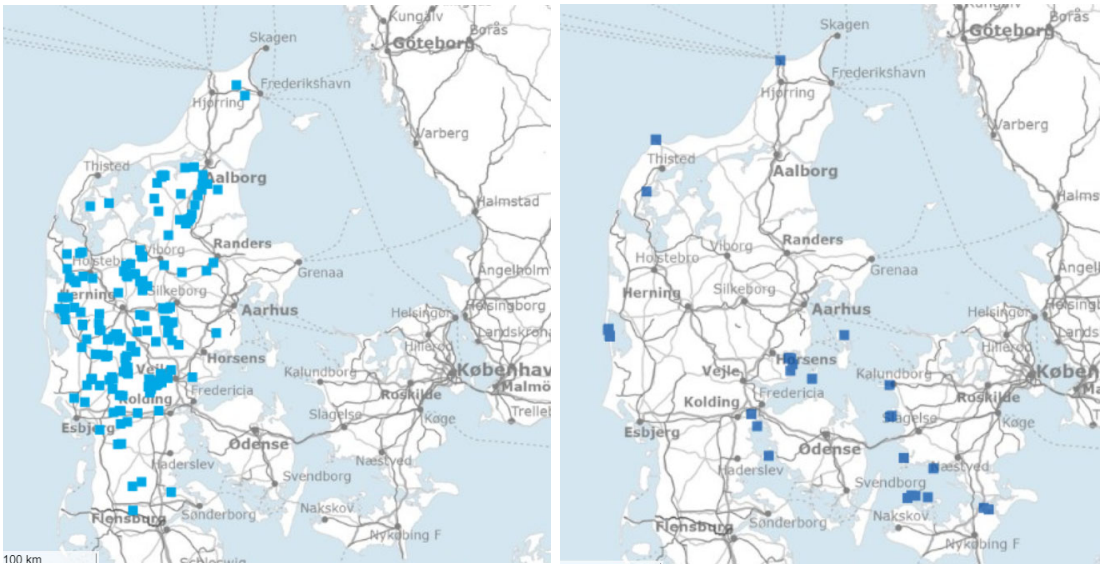
(Ringkøbing og Skagen/Hanstholm), og der er 20 havbrug, hvoraf 9 er placeret i Jylland (primært Horsens). Resten af havbrugene er placeret på Sjælland (primært Lolland).

Produktionen fra danske ferskvandsdambrug faldt i 2020 med 4.000 ton til 31.500 ton. Alligevel steg det samlede driftsresultat for sektoren med 15 mio. kr. til 68 mio. kr. (Danmarks Statistik, 2022).

Saltvandsdambrug er placeret på land, men har et indtag af saltvand. Der er flere ældre anlæg nær Ringkøbing Fjord, mens de mere moderne er placeret ved Storebælt, Lillebælt og Nordjylland (Skagen/Hanstholm). De producerede tidligere omkring cirka 1.800 tons fisk (Miljøstyrelsen, 1998), men dette tal var på omkring 3.500 tons fisk i 2020 (personlig kommunikation, Rasmus Nielsen, lektor, Institut for Fødevare- og Ressourceøkonomi, Københavns Universitet, 10. august 2023).

Produktionen i havbrug er opgjort til cirka 11.000 tons fisk (personlig kommunikation, Rasmus Nielsen, lektor, Institut for Fødevare- og Ressourceøkonomi, Københavns Universitet, 10. august 2023).

Det er kun udledninger fra eksisterende dambrug i 2018, der er fremskrevet i baselinen i vandområdeplanerne, og som der er beregnet reduktionspotentiale for. I selve belastningsopgørelsen indgår der derimod også udledninger fra dambrug, der ikke fandtes i 2018. I vandområdeplanerne indgår stigningen i N-udledningen baseret på den såkaldte N-indfasningsordning til akvakultur fra 2019, som kan øge udledningen, men hvor omfanget er usikkert (Miljøministeriet, 2023).



Figur 4a. *(til venstre) Ferskvandsdambrug*
Figur 4b. *(til højre) Saltvandsdambrug samt havbrug*

Kilde: Miljøstyrelsen (2023).

For dambrug indgår der i alt 153 anlæg i COWI's analyse (2023) med et samlet tab på 629 tons N. I den opgørelse indgår kun der ferskvandsdambrug og ikke saltvandsdambrug og havbrug. Effekten er opgjort uden retention. De anlæg, der indgår, er af tre til fire forskellige typer med henholdsvis biofilter, central bundfældning, decentral bundfældning, mikrosigte og lagune, mens typen ikke er oplyst for en del anlæg.

Det fremgår af tabel 10 nedenfor, at der er over 40 anlæg i Ringkøbing Fjord. Anlæggene i Nissum Fjord og Knudedyb er større end i andre kystvandoplande.

Der er fra 2014 blevet gennemført en opkøbsordning, og der blev fra 2014 til 2017 opkøbt 37 dambrug til 51 mio. kr., svarende til 1,4 mio. kr. pr. anlæg (Sportsfiskeren, 2018). Der blev i VP2 for perioden 2015-2021 antaget ophør af cirka 50 dambrug (80 tons N og 10 tons P), men der er kun opkøbt 5 dambrug (0,9 tons P i kystvandoplande til søer) (Miljøministeriet, 2023). Det vurderes nu i vandområdeplanerne, at belastningen fra dambrug vil stige fra 670 til 736 tons N i 2027 grundet indfasningsordningen (primært i Jylland) (Miljøministeriet, 2023).

I de nye vandområdeplaner fra 2023 (Miljøministeriet, 2023) er der afsat 45 mio. kr. til opkøb og lukning af 30 dambrug (1,5 mio. kr. pr. stk.). Det er ikke angivet, hvordan man prioriterer opkøb, men skrivningen indikerer, at de gamle anlæg opkøbes først. Effekten er angivet som 2,75 tons P, mens N-effekten ikke nævnes i vandområdeplanerne. Det kunne tilsige, at fokusset er på anlæg, der ligger, hvor der er behov for en fosforindsats. Tabet vurderes at udgøre cirka 4 tons N pr. anlæg, hvorfor ophør skulle betyde, at reduktionen udgør cirka 120 tons N.

Det vurderes, at den anførte miljøpåvirkning varierer mellem de forskellige typer af dambrug, da nogle anlæg har faktiske målinger af N-indhold til tilførselsvand og N-indhold i fraførselsvand, mens effekten i andre tilfælde er baseret på vurderinger af foderet og de anvendte udlednings-/fodertilladelser. Omkring dette er det tidligere anført, "at hvis der fodres med 1 ton foder, dannes ca. 80-90 kg. tørstof, hvoraf N og P hver udgør ca. 2 %, svarende til lidt under 2 kg N og P." (Nielsen et al., 2010). Det vurderes endvidere, at der i opgørelser baseret på foder kan være en overvurdering af kvælstoftabet på 30 procent, når det beregnede tab sammenholdes med det målte tab for disse anlæg (Nielsen et al., 2010).

Det vil være logisk at prioritere at opkøbe og lukke de gamle dambrug, fordi de nye anlæg med biofilter har en meget større effektivitet (et mindre N-tab), men der er her anvendt en gennemsnitstilgang i forhold til opgørelse af omkostningen pr. kg N. Samlet kan dambrug således være en mulighed for at fjerne fosfor og til dels kvælstof.

Der er ikke så mange dambrug, der vil deltage i ordningerne til den angivne opkøbspris på 1,5 mio. kr., men den er brugt som udgangspunkt her. Placeringen af, hvor staten ønsker udtagning, kan være koblet til steder, hvor der er behov for en fosforreduktion, men det er ikke klart. Hvis støtten vurderes over 20 år med en rente på 4 procent, giver det en årlig kompensation på cirka 110.000 kr. pr. år pr. anlæg, svarende til cirka 30 kr. pr. kg N ved cirka 3.700 kg N pr. anlæg (efter retention). Imidlertid er der meget forskel på anlæggenes kvælstofseffektivitet, idet de mest miljørigtige anlæg har et meget mindre N-tab end de gamle anlæg. Omvendt kan det også anføres, at dambrug er en intensiv produktionsform, hvorfor salgsværdien set i forhold til udledningen af næringsstoffer er højere end den fra landbruget. Analyser viser således, at skyggeprisen for kvælstof eller værdien af N i akvakultur er tre gange så høj som i landbruget (Nielsen et al., 2015).

Grundet den lave omkostning på 30 kr. pr. kg N vil en reduktion af omfanget af dambrug kunne indgå som et omkostningseffektivt virkemiddel i en række kystvandoplande, hvis der alene ses på omkostningerne ved tiltaget. Virkemidlet ses her i forhold til gennemsnitsomkostningen i kystvandoplandet, da det dækker mange kystvandoplande og har en større effekt. Det vurderes, at omkostningen på 30 kr. pr. kg N kan være for lav, også fordi en række opkøb omfatter mere end bare dambrug, idet der også kan indgå en genetablering af området omkring anlæggene.

3.3.2. Analyse baseret på ny retention

Generelt gælder det, at retentionen af havbrug og saltvandsdambrug er på 0 procent, mens retentionen for dambrug på land er på mellem 1 procent og 51 procent (se tabel 11 nedenfor).

Tabel 10. *Oversigt over udledning fra dambrug og pr. anlæg før retention fordelt på kystvandoplande*

Nr.	Kystvandopland	Antal	Effekt i alt (tons N)	Kg N pr. anlæg
111	Lister Dyb	3	10	3.435
120	Knudedyb	6	91	15.189
121	Grådyb	20	89	4.447
22	Vejle Fjord, ydre	1	4	3.562
123	Vejle Fjord, indre	22	53	2.389
124	Kolding Fjord, indre	1	2	1.816
129	Nissum Fjord, ydre	1	3	2.749
130	Nissum Fjord, mellem	1	4	4.051
131	Nissum Fjord, Felsted Kog	6	81	13.494
132	Ringkøbing Fjord	43	162	3.759
136	Randers Fjord, indre	17	35	2.066
157	Bjørnholms Bugt, Riisgårde Bredning, Skive Fjord og Lovns Bredning	15	63	4.212
158	Hjarbæk Fjord	11	21	1.896
233	Kås Bredning og Venø Bugt	3	7	2.384
234	Løgstør Bredning	1	0	0
236	Thisted Bredning	1	2	2.052
238	Halkær Bredning	1	3	2.836
Sum	Alle	153	629	4.111

Note: I dataene fra perioden 2014-2018 (gns.) har 21 dambrug biofilter, 83 har central bundfældning, og 5 har decentral bundfældning. Resten er ikke oplyst.
Kilde: COWI, 2023.

Af figur 4a (Nordjylland) kan man se, at der var en del dambrug i VP3-opland nr. 235 (Nibe Bredning) og et enkelt i VP3-opland nr. 234 (Løgstør Bredning), som var aktive i 2016. De indgår ikke i datasættet fra COWI (2023).

Tabel 11. *Oversigt over N-udledning fra dambrug før og efter indregning af retention*

Nr.	Kystvandopland	Antal af anlæg	N-udledning før retention (tons N)	Retention (%)	N-udledning efter retention (tons N)
111	Lister Dyb	3	6	19 %	5
120	Knudedyb	6	22	5 %	21
121	Grådyb	19	119	15 %	101
122	Vejle Fjord, ydre	1	1	1 %	1
123	Vejle Fjord, indre	19	67	7 %	62
124	Kolding Fjord, indre	1	1	4 %	1
129	Nissum Fjord, ydre	1	1	29 %	1
130	Nissum Fjord, mellem	1	2	4 %	2
131	Nissum Fjord, Felsted Kog	6	31	14 %	27
132	Ringkøbing Fjord	35	140	16 %	118
136	Randers Fjord, indre	15	56	45 %	31
157	Bjørnholms Bugt, Riisgårde Bredning, Skive Fjord og Lovns Bredning	14	36	13 %	31
158	Hjarbæk Fjord	11	84	7 %	78
233	Kås Bredning og Venø Bugt	1	0,2	51 %	0.1
234	Løgstør Bredning	1	2	9 %	1
238	Halkær Bredning	1	14	5 %	13
Sum	Alle	135	582	15 %	493

Kilde: COWI (2023) (udledningsdata) og retentionsdata fra AU (Thodsen et al., 2023). Det lavere antal af dambrug i denne skyldes, at der kun indgår 135 dambrug i AP2-dataene fra AU. Forskellen skyldes blandt andet skyldes forskellige opgørelsesår. Der er for eksempel otte færre anlæg i Ringkøbing Fjord i tabel 11 i forhold til tabel 10.

Samlet set opnås der en reduktion på 493 tons N med en gennemsnitsomkostning på 30 kr. pr. kg N, svarende til 14,8 mio. kr. Da det her antages, at dette virkemiddel erstatter et virkemiddel med en gennemsnitsomkostning på 62 kr. pr. kg N (se tabel 12), er den opnåede gevinst på 32 kr. pr. kg N, svarende til 15,8 mio. kr., uden at værdien af et lavere P-tab er indregnet.

3.3.3. Analyse af sæsoneffekt

Det har ikke i alle tilfælde været muligt at lave opgørelser for de samme anlæg grundet forskellige opgørelsestidspunkter.

Der er derfor valgt den tilgang, at der anvendes opgørelser fra COWI (2023) i AP2 hvad angår udledning, mens dataene for retention kommer fra AP1 (Thodsen et al., 2023), og sæsonækvivalenter for de analyserede kystvandoplande er opgjort i AP4 (Erichsen et al., 2024).

Den indregnede sæsoneffekt omfatter for dambrug både N- og P-effekten i det pågældende kystvandopland. I yderste kolonne til højre i tabel 12 nedenfor er værdien af den øgede reduktionseffekt angivet. Effekten af reduktionen i for eksempel Grådyb øges derved fra 101 tons N til 523 tons N. Værdien baseret på gennemsnitsværdien kan herefter opgøres til henholdsvis 4,2 mio. kr. og 22,0 mio. kr., idet der er en

sæsonækvivalent på 5,2 og en gennemsnitlig skyggeomkostning på 42 kr. pr. kg N. Fra dette beløb fratrækkes omkostningen ved at udfase dambrug, som er opgjort til cirka 30 kr. pr. kg N.

For dambrug gælder det generelt, at de er placeret i kystvandoplande med større chancer for at nå reduktionsmålet, hvorfor marginalomkostningen for reduktionen er lavere. Marginalomkostningen er således mellem 35 og 207 kr. pr. kg N alt afhængigt af kystvandoplandet (se tabel 12). Analysen viser, at de dambrug, der er i Randers Fjord, er inddraget i opgørelsen i AP2 (COWI, 2023), men ikke i analysen fra DHI i AP4 (Erichsen et al., 2024), mens det omvendte er tilfældet for dambrug i Nibe Bredning. Forskellene kan skyldes, at forskellige år indgår i analysen.

Den lave omkostning på 30 kr. pr. kg N ved dette tiltag betyder, at der vælges mange anlæg, men at den lavere skyggeomkostning reducerer den økonomiske gevinst ved dambrug i forhold til for eksempel rensningsanlæg, da den ikke erstatter meget dyre tiltag. Ved en indregning af sæsoneffekten falder omkostningen reelt fra 30 kr. pr. kg N til cirka 9 kr. pr. kg N. I tabel 12 på næste side er nettogevinsten angivet. Det er den sparede omkostning baseret på den nuværende gennemsnitlige omkostning i forhold til omkostningen ved dambrug ganget med den angivne N-effekt før og efter inddragelsen af sæsonækvivalenter. Lukningen af 135 dambrug uden en sæsonindregning vil give en gevinst på 32 mio. kr., men denne gevinst øges til 90 mio. kr. ved en indregning af sæsonen og uden meromkostninger ved etablering af dambrug (se tabel 12). Netto med indregningen af etablering af dambrug bliver gevinsten på 47 mio. kr. baseret på en nettogevinst på 62 pr. pr. kg N minus 30 kr. pr. kg N. Af dette udgør de 31 mio. kr. gevinsten ved sæsoneffekten. Værdien af en lavere fosfortilførsel er ikke indregnet.

Hvis det antages, at dambrug erstatter de dyreste virkemidler baseret på marginalomkostningen i de enkelte kystvandoplande, så bliver gevinsten noget højere, nemlig cirka 620 mio. kr. Den høje værdi skyldes specielt, at der i Knudedyb med en lukning af seks dambrug og med en indregning af en sæsoneffekt reduceres 84 tons N til en værdi af 420 mio. kr. baseret på en omkostning på 4.987 kr. pr. kg N. Den høje værdi skyldes som tidligere anført, at reduktionsbehovet ikke opnås i udgangssituationen. Det er efter dette tiltag muligt, at reduktionsbehovet i Knudedyb opnås, da der i udgangspunktet i VP3-analysen manglede 69 tons N.

Tabel 12. *Oversigt over N-effekt og direkte økonomisk gevinst ved en reduktion af omfanget af dambrug*

Nr.	Kystvandopland	Antal af anlæg	Tons N (uden en sæson-effekt)	Sæson-ækv.	Tons N (med en sæson-effekt)	Anvendt gns. omk. (kr. pr. kg N)	Gns. gevinst (1.000 kr.)
111	Lister Dyb	3	5	1,0	5,0	43	219
120	Knudedyb	6	21	4,0	84,3	91	7.699
121	Grådyb	19	101	5,2	523,0	42	22.221
122	Vejle Fjord, ydre	1	1	1,0	0,8	73	61
123	Vejle Fjord, indre	19	62	0,9	55,8	67	3.757
124	Kolding Fjord, indre	1	1	1,0	1,3	172	217
129	Nissum Fjord, ydre	1	1	2,1	1,6	72	115
130	Nissum Fjord, mellem	1	2	3,5	8,2	69	572
131	Nissum Fjord, Felsted Kog	6	27	6,6	176,6	71	12.557
132	Ringkøbing Fjord	35	118	3,2	373,0	80	29.775
136	Randers Fjord, indre	15	31	1,0	30,9	38	1.178
157	Bjørnholms Bugt, Riisgårde Bredning, Skive Fjord og Lovns Bredning	14	31	3,3	102,2	41	4.207
158	Hjarbæk Fjord	11	78	1,0	77,7	55	4.247
233	Kås Bredning og Venø Bugt	1	0,1	1,0	0,1	35	4
238	Halkær Bredning	1	13	1,0	12,9	207	2.678
Sum	Alle	134	493	3,0	1.454	62	89.507

Note: Gevinsten er beregnet ud fra gennemsnitsomkostningen for det pågældende kystvandopland i forhold til omkostningen ved tiltag. Hvor der ikke foreligger en sæsoneffekt, er den sat til 1,0, mens den for Vejle Fjord er beregnet til 1,0. Der er ikke opgjort dambrug i Randers Fjord i Erichsen et al. (2024), men årsagen er ukendt. For Grådyb er indsatsbehovet 693 tons N, hvorfor lukningen af 19 dambrug vil betyde, at indsatsen fra andre virkemidler bliver begrænset. Gevinsten er opgjort uden øgede omkostninger, som udgør i alt cirka 14,8 mio. kr. årligt.
Kilde: COWI (2023), Erichsen et al., (2024), Thodsen et al. (2023) og egne beregninger.

Der er også lavet enkelte analyser for havbrug. Det fremgår af tabel 13, at der kun er opgjort en sæsoneffekt for Horsens Fjord. Det er kun i Grønsund, Horsens Fjord og Aarhus Bugt, at man kan sige, at havbrug har en indvirkning. Der er ikke opstillet økonomiske beregninger for tabet ved at lukke et havbrug. Den opgjorte værdi er begrænset til højest 10.000 kr.

Tabel 13. *Oversigt over udledning og mulige gevinster fra havbrug fordelt på kystvandoplande*

Nr.	Kystvandopland	Tons N	Ækviva-lent	Tons N (med en sæson-effekt)	Skygge-pris (gns.) (kr. pr. kg N)	Gns. værdi uden en sæson-effekt (1.000 kr.)	Gns. værdi med en sæson-effekt (1.000 kr.)
29	Kalundborg Fjord	26	1,8	47	28	740	1.346
45	Grønsund	48	1,0	48	46	2.191	2.191
125	Kolding Fjord, ydre	6	1,0	6	266	1.575	1.575
127	Horsens Fjord, ydre	23	4,5	103	39	893	3.992
219	Aarhus Bugt syd, Samsø og og Nordlige Bælthav	46	1,0	46	43	1.975	1.975
I alt	Alle	148	1,7	249		7.373	11.078

Note: I analysen er retentionen lig nul. For kystvandoplande uden en angivet sæsoneffekt er denne sat til 1,0. Kilde: Erichsen et al. (2024).

3.4. Regnbetingede overløb (RBU)

3.4.1. Introduktion

Spildevandsselskaberne håndterer og renser spildevand fra beboelse, industrier og regnvand, der ledes gennem offentlige kloakker. I 2022 var der registreret 482 renseanlæg, 4.257 overløb og 16.016 regnvandsudløb hos MST (Rigsrevisionen, 2023).

Regnbetingede udledninger (RBU) omfatter både regnvandsudledninger fra separate kloaker og udledninger af opblandet spildevand og regnvand fra fælleskloakkers overløbsbygværker (se figur 5). Regnvandsudledninger udleder alt regnvandet til et vandområde. Ofte er der et åbent jordbassin (forsinkelsesbassin) ved regnvandsudledninger. Den primære opgave for bassinet er at neddrosle udledningsflowet til vandløbet til et fastlagt niveau. Derudover tilbageholdes en del forurenende stoffer

Der sker overløb fra regnvandsbassiner, når det fastlagte udledningsflow overskrides, det vil sige, når bassinet løber over. I separatkloakerede områder er der ud over en regnvandskloak også en spildevandskloak, der leder alt husspildevand til renseanlæg.

Fælleskloakker leder spildevand og regnvand til renseanlægget, og her kan der være overløbsbygværker, hvor det opblandede spildevand kan løbe ud i et vandområde. Det er udledningen fra overløbsbygværket til et vandområde, der er den regnbetingede udledning fra fælleskloakken. Ofte er der lukkede betonbassiner (sparebassin) ved udledninger fra overløbsbygværker. Den primære opgave for bassinet er at opbevare det første og mest forurenede overløbsspildevand og at lede dette spildevand tilbage til fælleskloakken og

renseanlæg, når der er plads i systemet. Når sparebassinet er fyldt op, sker der et overløb af overvand (næsten rent regnvand) til vandområdet.

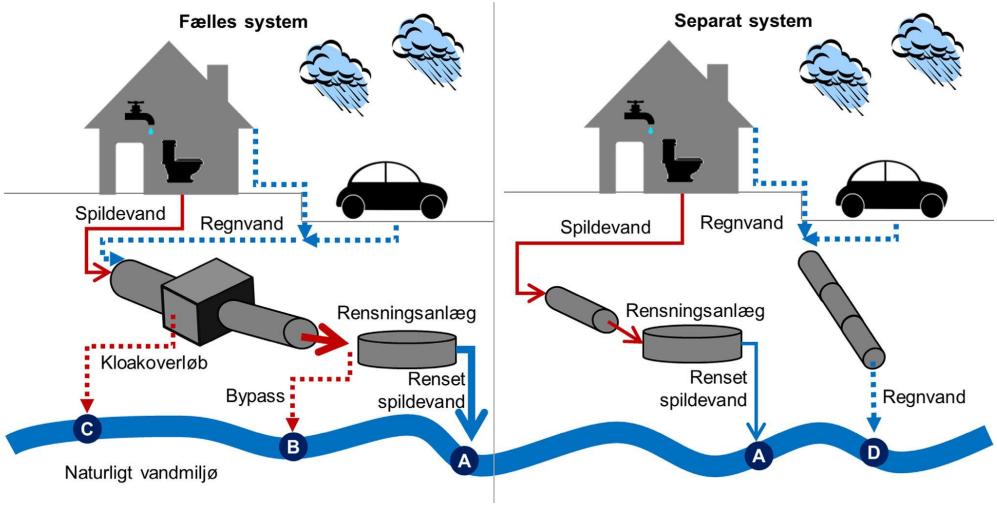
Overløb af urenset spildevand (RBU) udgør en lille del af den samlede mængde af spildevand, der udledes til vandmiljøet, men spildevand fra overløb har en høj koncentration af forurenende stoffer, fordi det er urenset. RBU udgør i opgørelserne omkring 2 procent af den samlede kvælstofudledning til havmiljøet (Miljøministeriet, 2023). I gennemsnit er cirka 40 procent af det befæstede areal tilsluttet en form for bassin, mens de resterende cirka 60 procent af det fælleskloakerede areal ikke er forsynet med bassiner. Der er et noget lavere N-indhold i et udløb fra en separat kloak end fra et overløb fra en fælleskloak. Omvendt er den årlige vandmængde noget højere i den separate kloak.

I COWI-analysen i AP2 (COWI, 2023) indgår der et regnvandsbassin baseret på sediment, som er beplantet. Af de samlede RBU-analyser fra COWI udgør cirka 75 procent separate kloakker og cirka 25 procent fælles kloakanlæg. Der er i COWI-analysen i AP2 (COWI, 2023) valgt et åbent bassin med i alt 220 m3 pr. ha. I analysen er der antaget et standardbassin, også i det tilfælde, hvor der allerede er et forsinkelsesbassin. Det gør, at omkostningerne kan være lidt højere i de tilfælde, hvor det er et supplement til et eksisterende bassin. Der afledes gennemsnitligt en regnvandsmængde på 3.950 m^3 pr. ha pr. år fra befæstede arealer, herunder tagflader. Under kraftig regn aflastes en del af dette vand fra de fælleskloakerede områder. Rensegraden for bassiner er på 45 procent for total-N og 60 procent for total-P.

Typetallene for overvand (regnvand) og spildevand, som findes i rapporten *Bestemmelse af belastningen fra regnvandsbetingede udløb* (Miljøstyrelsen, 1990), er:

Overvand (udløb): 10 mg total-N pr. l, 2,5 mg total-P pr. l og 120 mg COD pr. l.
Spildevand (overløb): 43 mg total-N pr. l, 13 mg total-P pr. l og 320 mg COD pr. l.

Den største udledning af spildevand, nemlig 7 mio. m^3, sker fra overløb til Øresund, da der her også er flest mennesker og mest spildevand, der skal håndteres. Miljøministeriet oplyser, at det nationale udlederkrav fra renseanlæg er 8 mg N pr. l (Miljøministeriet, 2017). Der er generelt stor usikkerhed om udledningsmængden, fordi der kan være relativt få hændelser med meget store vandmængder (skybrud).



Figur 5. *Udledninger fra et fælles system og et separat system*

Kilde: Vezzaro et al. (2023).

3.4.2. Analyse baseret på ny retention og nye omkostninger

Omkostningerne er af COWI opgjort for 8.064 regnbetingede udledninger (RBU) fra 34 hovedkystvandoplande (COWI, 2023). I COWI-analysen indgår begge typer af regnbetinget udledning, nemlig udledning fra et fællessystem (spildevand og regnvand) og udledning fra regnvandsspærerede udløb (regn- og overfladevand).

Anlæg er her analyseret alene i forhold til kvælstof, men de kan i praksis også være tænkt som klimatilpasningsforanstaltninger. I analysen er bassinet dimensioneret efter det restbehov, der er. I almindelige overløbsværker er der ikke et bassin, men det er der i de anlæg, som angives som et sparebassin (OS), et forsinkelsesbassin (OF) eller begge (OK) (COWI, 2023).

Tabel 14. *Effekt og omkostninger i forbindelse med overløb for en fælles og en separat kloak (opgjort pr. ha)*

Kloak	Bassintype	Antal i analyse	Total-N	Total-P	Kr. pr. kg N 2019	Kr. pr. kg N 2023
Fælles kloak	10 mm	1.200	10,26	1,52	4.987	Gns. 18.946 (typisk 4.836)
Separat kloak	Sediment Sektioner beplantet	6.900	2,61	0,53	5.597	Gns. 6.907 (typisk 4.646)

Note: For separat rensning er rensegraden 45 procent for total-N og 60 procent for total-P. Den anvendte enhed for tab er pr. ha. For fælles anlæg anvendes der en reduktion på 75 procent for N og P.
Kilde: COWI (2019) og COWI (2023).

Omkostningerne var typisk opgjort til 4.646 kr. pr. kg N og opefter før retention. Gennemsnittet er på 6.343 kr. pr. kg N før indregningen af retentionen. Omkostningerne pr. kg N er således på niveau med dem, som er anvendt i VP3-analyserne, hvor omkostningen udgjorde 4.987 kr. pr. kg N (sparrebassiner på 10mm).

Næste trin er en indregning af retentionen som opgjort af Aarhus Universitet (Thodsen et al., 2023). Der er modtaget retentioner fra cirka 37.000 lokaliteter, og af dem var cirka 16.000 uden navn. Det har dog været muligt at koble retentionen med omkostningerne ved at bruge det såkaldte Puls-id, der entydigt kobler opgørelser i den økonomiske analyse med retentionen. Der er nemlig en del overløb (cirka 1.000 af de 37.000), der har navne, der går igen i forskellige kommuner. Det har også vist sig, at navnene i de forskellige opgørelser ikke er helt de samme. Puls-id'et er således den eneste entydige navngivning. Det ville dog være en fordel, hvis overløb i Danmark havde et unikt navn. I analysen af, hvorvidt RBU-tiltag skal indgå, anvendes marginalomkostningen fra VP3-analysen for de enkelte kystvandoplande, undtagen for de kystvandoplande, hvor målet ikke opnås. Her er marginalomkostningen sat til 10.000 kr. pr. kg N for at sikre, at stort set alle tiltag er med.

Opgørelsen af retentionen fra AP1 viser, at den gennemsnitlige retention for alle 8.064 observationer af RBU udgør 12 procent (Thodsen et al., 2023). Der er en stor variation i retentionen fra 0 procent til 94 procent. Den årlige besparelse fra alle RBU udgør kun 109 tons N før retention og 96 tons N efter retention. I dette indgår alle RBU, men det er ikke relevant at antage indsatser i alle kystvandoplande, da dette tiltag er et af de dyreste.

Uden indregningen af ækvivalenter indgår 765 lokaliteter i den omkostningseffektive løsning, og af dem er 87 procent separatkloakeret. Der indgår i alt cirka 10 tons N, svarende til 13 kg N pr. anlæg, så N-reduktionen pr. anlæg er meget lav pr. år (se tabel 15 på næste side). Når de indgår i løsningen, er det, fordi de har en omkostning, der ligger under marginalomkostningen i VP3-analysen.

Der indgik som anført en effekt på 14 tons N og 2,5 tons P i VP3-analysen, og da effekten nu er på 10 tons N, er der tale om en reduktion på 4 tons N. Værdien er opgjort til 20 mio. kr. baseret på en værdi på 4.987 kr. pr. kg N.

3.4.3. Analyse af sæsoneffekt

Som tidligere anført indgår både N -og P-effekten i beregningen af sæsonækvivalenter for RBU. I analysen fra AP4 foretaget af DHI indgår der analyser for 80 kystvandoplande, men det har kun været muligt at opstille sæsonækvivalenter i forhold til RBU for 32 af disse kystvandoplande (Erichsen et al., 2024). I analysen med COWI -og DHI-data fra AP2 og AP4 (COWI, 2023, Erichsen et al., 2024) indgår der 34 kystvandoplande, hvoraf det for 20 kystvandoplande ikke har været muligt at opgøre en sæsonækvivalent, mens der er 4 kystvandoplande, som ikke indgår i DHI-analysen (Erichsen et al., 2024), men som indgår i COWI-analysen (COWI, 2023). I de kystvandoplande, hvor der ikke foreligger data, antages sæsonækvivalenten at være 1,0 som tidligere angivet.

Når analysen i forhold til marginalomkostningen gentages med en indregning af sæsonækvivalenterne, indgår der tiltag på 784 lokaliteter, og af dem er 86 procent en indsats i et separatkloakeret udløb (16 tons N) (se tabel 15). Der hentes her kun cirka 20 kg N pr. år pr. overløb, der elimineres. Den gennemsnitlige sæsoneffekt er opgjort til 1,3 for disse tilfælde. Det kan bemærkes, at sæsoneffekten i nogle tilfælde er under 1,0, hvor effekten er lavere end i udgangspunktet (Erichsen et al., 2024). Det er således interessant, at hovedparten af indsatsen sker overfor overløb af regnvand, der har et noget lavere N-indhold end overløb fra et fællessystem. Det følger dog logisk, at omkostningerne pr. kg N er højere for fællessystemer end for regnvandsudledninger med en separat kloak. Analyser påpeger også, at den samlede stofmængde kan være høj, fordi den vandmængde, der transporteres, er højere end i forbindelse med overløb fra fællesanlæg.

Generelt er tiltag i forhold til RBU noget dyrere end andre virkemidler, hvorfor de kun vælges, når andre virkemidler er opbrugt. Det kræver derfor typisk en årsækvivalent på over 10, for at omkostninger på cirka 4.987 kr. pr. kg N kommer under 500 kr. pr. kg N for at være nogenlunde konkurrencedygtige. RBU-virkemidler vil således kun være konkurrencedygtige i kystvandoplandene nr. 120, 124, 159, 236 og 238.

Det fremgår af VP3-analysen (Jacobsen, 2022), at der for en del kystvandoplande ikke er behov for dyre virkemidler, da målsætningen nås med brug af landbrugsvirkemidler. Med omkostninger på omkring 60-100 kr. pr. kg N kræves der således en sæsonækvivalent på over 50, for at RBU-virkemidler reelt kan siges at være omkostningseffektive i sådanne kystvandoplande. Den højeste årsækvivalent er 27, svarende til at omkostningen reduceres til cirka 150 kr. pr. kg N. Samlet set reducerer indregningen af sæsonomkostningerne omkostningerne pr. kg N, men RBU-virkemidlerne koster stadig cirka 4.600 kr. pr. kg N efter indregningen af en sæsoneffekt i de kystvandoplande, hvor de indgår i løsningen (se tabel 15).

Tabel 15. *Oversigt over N-effekt og økonomisk gevinst ved en reduktion af RBU*

Nr.	Kystvand-opland	Antal af tiltag (uden en sæson-effekt)	Tons N før en sæson-effekt (tons N)	Ækviva-lenter	Antal af tiltag	Tons N efter en sæson-effekt (tons N)	Omk.-eff. efter en sæson-effekt (kr. pr. kg N)	Gevinst ved sæson (mio. kr.)
120	Knudedyb	310	2,7	1,0	310	2,7	5.328	0
124	Kolding Fjord, indre	195	4,4	2,1	203	9,5	2.625	25,4
159	Mariager Fjord, indre	98	1,1	1,0	98	1,1	5.767	0
236	Thisted Bredning	81	1,2	1,0	81	1,2	5.265	0
238	Halkær Bredning	81	0,8	1,0	81	0,8	4.978	0
I alt		765	10,3	1,5	773	(10,3) 15,4	4.585	25,4

Note: COWI har ikke RBU-data for Stege Nor (nr. 49) og Kolding Fjord, ydre (nr. 125), som optræder i MST-dataene. I kystvandoplande, hvor indsatskravet ikke opnås, er den maksimale omkostning sat til 10.000 kr. Der anvendes en sæsonækvivalent på 1,0 i kystvandoplande, hvor der ikke af DHI er opgjort en sæsoneffekt. Kilde: COWI (2023), Erichsen et al. (2024), Thodsen (2023) og egne beregninger.

Den angivne effekt på 10,3 tons N angivet i parentes er effekten uden en sæsoneffekt for de tiltag, der indgår i løsningen med en sæsoneffekt, hvorfor den er brugt til at beregne den gennemsnitlige sæsonækvivalent på 1,5. Den økonomiske gevinst er marginalt opgjort til 4.987 kr. pr. kg N. Det er på niveau med omkostningerne ved genberegningen, hvor der ikke er en sæsoneffekt.

Der er således samlet tale om relativt få tiltag, der er dyre at gennemføre, men som i nogle kystvandoplande har en betydelig værdi, fordi der er få alternativer. Sæsoneffekten i disse kystvandoplande er begrænset til 5 tons N, svarende til 25 mio. kr.

4. Ny vurdering af effekter af minivådområder

Den gennemførte analyse af markvirkemidler har set på både en mere detaljeret opgørelse af effekten og en opgørelse af en mulig sæsoneffekt. Analyser af sæsoneffekten i AP3 omfatter både drænvirkemidler og andre markvirkemidler (lavere normer og efterafgrøder).

Generelt viser analysen, at de kystvandoplande, der har den største sæsonvariation, er de kystvandoplande med den største andel af N-transporten via dræn. Kystvandoplande med en begrænset dræning ses at have en næsten konstant effekt for markvirkemidlerne, da kun en lille del af effekten slår hurtigt igennem via drænttransporten. Overordnet er konklusionen fra AP3 og AP4 (Højberg et al., 2024; Erichsen et al., 2024), at der ikke er nogen tydelig sæsoneffekt for drænvirkemidler. De opgjorte ækvivalenter er således typisk under 1,0.

Da det vurderes, at der kun er begrænsede sæsoneffekter af markvirkemidler, er det alene minivådområder, der analyseres nærmere i dette afsnit, da der i AP3 er sket en nyberegning af effekterne af minivådområder baseret på deres placering i 23 kystvandoplande (Højer et al., 2024).

4.1. Effekt af minivådområder på oplandsniveau

Der er i forbindelse med arbejdet i AP3 lavet en detaljeret beregning af effekterne af minivådområder i de 23 kystvandoplande (Højberg et al., 2024) (se bilag A). Analyserne er lavet for flere kystvandoplande end i andre analyser, fordi flere kystvandoplande omkring Limfjorden indgår i analysen.

I tabel 16 på næste side er effekterne af minivådområder angivet for de 23 kystvandoplande. Dette er ud over udgangspunktet, som var sat til 4,23 kg N pr. ha i virkemiddelkataloget (Eriksen et al., 2020) efter indregningen af en retention på 10 procent. Effekten er i AP3 opgjort på to måder, svarende til enten gennemsniteffekten for alle relevante arealer i de enkelte kystvandoplande eller effekten baseret på den mulige effekt i de 25 procent af ID15-oplandene i et kystvandopland, der har den højeste effekt (kg N pr. ha).

Den første tilgang svarer til, at gennemsnitseffekten dækker et tilfældigt valg af placering af et minivådområde (inden for potentialekortet). Den anden tilgang dækker en målrettet indsats i forhold til arealer, hvor effekten er størst. Når der i AP3-analysen angives 100 procent, så er der altså ikke tale om, at alle potentialearealer (75.000 ha) har minivådområder, men at alle arealer kunne vælges, og at der derfor må forventes en gennemsnitlig effekt.

Som det fremgår af tabel 16 på næste side, er effekten i gennemsnit cirka 50 procent højere end udgangspunktet, og ved en målretning er effekten cirka dobbelt så høj som udgangspunktet i VP3. For en nærmere beskrivelse af, hvordan effekten er beregnet, henvises der til AP3-notatet (Højberg et al., 2024).

Som det også fremgår af tabel 16, er der nu en del variation mellem effekten af minivådområder, og de højeste effekter findes i Knudedyb og Nibe Bredning.

Tabel 16. *Effekt af minivådområder i udgangspunktet for et gennemsnit og med fokus på 25 procent af de bedste områder (kg N pr. ha haveffekt)*

Kystvandopland	Navn	Udgangspunkt (kg N pr. ha)	Gennemsnitlig effekt i ny opgørelse (kg N pr. ha)	Effekt i de 25 procent bedste områder (kg N pr. ha)
29	Kalundborg Fjord	4,2	4,6	5,2
35	Karrebæk Fjord	4,2	7,2	9,7
59	Nærå Strand	4,2	6,1	7,7
92	Odense Fjord, ydre	4,2	5,1	5,7
93	Odense Fjord, Seden Strand	4,2	6,2	9,2
106	Haderslev Fjord	4,2	5,4	7,1
109	Hejlsminde Nor	4,2	5,0	7,5
120	Knudedyb	4,2	9,9	15,3
122	Vejle Fjord, ydre	4,2	5,5	7,4
123	Vejle Fjord, indre	4,2	6,5	8,8
124	Kolding Fjord, indre	4,2	8,0	10,3
128	Horsens Fjord, indre	4,2	7,0	9,4
132	Ringkøbing Fjord	4,2	6,2	11,7
146	Norsminde Fjord	4,2	5,4	8,2
157	Bjørnholms Bugt, Riisgårde Bredning, Skive Fjord og Lovns Bredning	4,2	5,3	7,4
158	Hjarbæk Fjord	4,2	5,1	7,3
207	Nakskov Fjord	4,2	7,8	8,2
232	Nissum Bredning	4,2	8,1	11,2
233	Kås Bredning og Venø Bugt	4,2	5,7	8,3
234	Løgstør Bredning	4,2	5,7	7,9
235	Nibe Bredning og Langerak	4,2	8,0	11,8
236	Thisted Bredning	4,2	8,8	11,7
238	Halkær Bredning	4,2	7,2	10,8
Gns. (vægtet)		4,2	7,0	10,0

Note: Det første gennemsnit er baseret på de 25 procent af arealerne i hvert ID15-opland, der har den højeste effekt. Grundniveauet fremgår af virkemiddelkataloget (Eriksen et al., 2020). Effekten er her sat til 4,7 x 0,9 = 4,23 kg N pr. ha. Kilde: Højberg et al. (2024).

Der er her antaget, at de anvendte potentielle arealer er de samme i de forskellige situationer, således at den effekt, der her beskrives, alene skyldes den ændrede effektberegning pr. ha. Der er således opstillet to nye analyser. I analyse 1 anvendes der en ny SO-gennemsnitseffekt på det begrænsede areal (25 procent af potentialet). I analyse 2 anvendes der en ny, højere målrettet SO-effekt for et begrænset areal (25 procent af potentialet). Omkostningen pr. ha er uændret på 986 kr. pr. ha pr. år (Jacobsen, 2022).

Som det fremgår af tabel 17, så viser resultatet, at uanset at effekten pr. ha er højere, og virkemidlet derved er billigere end tidligere, så indgår det ikke i løsningen i en række kystvandoplande. Dette skyldes, at marginalomkostningen i disse kystvandoplande er relativt lav. Der indgår dog flere minivådområder i den genberegnede løsning, og effekten er nu på 139 tons N mod et udgangspunkt med en effekt på 47 tons N. Der indgår nu 16.818 ha mod tidligere 11.193 ha i løsningen. Merværdien er opgjort til cirka 4 mio. kr. årligt.

Hvis der sker en målretning og en øget effekt pr. ha, så øges omfanget til 33.714 ha, og effekten er nu på 369 tons N. Målretningen hjælper således meget på effekten. Merværdien er opgjort til 6 mio. kr. årligt. Det er dog tydeligt, at en række kystvandoplande er begrænset af potentialet for dette virkemiddel, men det kan være farligt at overvurdere det realistiske potentiale, da der kan være for eksempel administrative eller andre forhold omkring fosfor med mere, der kan gøre, at projekter ikke kan gennemføres i praksis.

Tabel 17. *Effekt i VP3 sammenholdt med areal i løsninger i SO med en ny gennemsnitseffekt, en høj effekt samt med en sæsoneffekt, alle baseret på et potentiale på 25 procent af det egnede areal (ha opland i løsning)*

Kystvand-opland	Navn	Potentiale (25 %) (ha)	Løsning VP3 (med et reduceret potentiale) (ha)	SO-løsning gns. effekt (ha)	SO-løsning 25 % højeste effekt (ha)	SO med ækviva-lenter (ha)
29	Kalundborg Fjord	658	0	0	0	0
35	Karrebæk Fjord	9.442	0	0	0	0
59	Nærå Strand	992	0	0	658	0
92	Odense Fjord, ydre	596	0	0	379	0
93	Odense Fjord, Seden Strand	7.988	0	0	7.988	0
106	Haderslev Fjord	1.868	0	18.68	1.868	0
109	Hejlsminde Nor	740	740	740	740	0
120	Knudedyb	7.144	7.144	7.144	7.144	7.144
122	Vejle Fjord, ydre	1.772	0	0	67	0
123	Vejle Fjord, indre	1.624	0	0	1.182	0
124	Kolding Fjord, indre	1.253	1.253	1.253	1.253	1.253
128	Horsens Fjord, indre	3.756	0	3.756	3.756	0
132	Ringkøbing Fjord	6.625	0	0	6.625	6.625
146	Norsminde Fjord	376	0	0	0	0

157	Bjørnholms Bugt, Riisgårde Bredning, Skive Fjord og Lovns Bredning	6.443	0	0	0	0
158	Hjarbæk Fjord	4.800	0	0	0	0
207	Nakskov Fjord	2.993	0	0	0	0
232	Nissum Bredning	3.567	0	0	0	0
233	Kås Bredning og Venø Bugt	5.665	0	0	0	0
234	Løgstør Bredning	1.863	0	0	0	0
235	Nibe Bredning og Langerak	2.546	0	0	0	0
236	Thisted Bredning	2.031	2.031	2.031	2.031	2.031
238	Halkær Bredning	25	25	25	25	25
Sum		74.767	11.193	16.817	33.714	17.078
Omk. (mio. kr. årligt)			11,0	16,6	33,2	16,8
Effekt tons N			47	139	369	319
Effekt (kg N pr. ha opland)			4,2	8,2	11,0	18,6
Omk. (kr. pr. ha kystvand-opland)			986	986	986	986
Omk.eff. (kr. pr. kg N)			233	119	90	53
Merværdi af ny opgørelse – gns. pris (mio. kr. pr. år)				4	6	19

Note: Potentialet i udgangspunktet er minivådområder ganget med andelen, der indgår (25 procent), minus arealet indregnet i VP2. Det vurderes som mere konsistent at bruge de samme arealpotentialer som i VP3-analysen, således at det alene bliver den nye effekt, der fremstår som resultatet. De anvendte potentialer afviger ikke meget fra hinanden (25 procent i VP3 er 75.000 ha over for cirka 61.000 ha i SO-AP3-analysen med brug af 25 procent af arealet) (Højberg et al., 2024). Merværdien er opgjort som stigningen i N-effekten ganget med den gennemsnitlige værdi af N i oplandet minus meromkostningerne ved et øget areal. Ved brug af ækvivalenter fra AP4, så udgør effekten for Ringkøbing nu 38,5 kg N pr. ha, da ækvivalenten er 3,3, og arealet her stadig udgør maksimalt 6.625 ha. Den samlede effekt udgøres herefter af cirka 230 tons N alene i Ringkøbing, og omkostningen ved brug af ækvivalenter er faldet til 28 kr. pr. kg N.
Kilde: Egne beregninger.

4.2. Diskussion af sæsoneffekt af minivådområder

For minivådområder er ækvivalenten typisk under 0,5. Dette kan tolkes som om, at der ikke er nogen sæsoneffekt i de analyserede måneder, blandt andet fordi vandtilførslen er meget begrænset. For Ringkøbing Fjord er den beregnede ækvivalent imidlertid 3,3 og derfor noget højere end de andre kystvandoplande (se AP4 og Erichsen et al. (2024)).

Der kunne argumenteres for, at ækvivalenter under 1,0 også bør indgå i analysen, idet den så vil vise, at effekten er mindre end den hidtidige indregnede effekt af minivådområder i den angivne periode. Dette er angivet i yderste kolonne til højre i tabel 17. Indregningen af sæson reducerer arealet i løsningen til cirka

17.100 ha, men effekten pr. ha øges til 18,6 kg N pr. ha grundet sæsoneffekten i de udvalgte kystvandoplande. Som angivet kan gevinsten ved sæsoneffekten opgøres til 180 tons N og cirka 15 mio. kr. i forhold til niveauet uden en sæsoneffekt

Det er valgt ikke at medtage den foretagne analyse med en sæsoneffekt for minivådområder i opsamlingstabellen i næste afsnit grundet den angivne usikkerhed.

5. Konklusion

Formålet med analysen har været at genvurdere omkostningerne for primært punktkilder i forhold til en revision af retentionen og inddragelse af sæsoneffekten.

I analysen er der først etableret et nyt udgangspunkt, da der er foretaget en revurdering af omkostningerne ved de påsatte krav for 2027 i SMART-modellen ved brug af en ny retentionsopgørelse og et justeret reduktionskrav på 12.955 tons N. Det vurderes, at der kun er mindre ændringer i forhold til den oprindelige analyse, idet omkostningerne ændres fra 938 mio. kr. til 973 mio. kr., men omkostningen fortsat er omkring 77-78 kr. pr. kg N. Der er en højere målopfyldelse (97 procent mod tidligere 92 procent), men der er stadig 5 til 7 kystvandoplande af de 108 kystvandoplande, der ikke når de opsatte reduktionskrav med de anvendte forudsætninger om potentialer og effekter. Analysen viser også, at to kystvandoplande (Mariager Fjord og Halkær Bredning) ikke når reduktionsmålet, selvom hele landbrugsarealet udtages med den antagne effekt af braklægning på 49 kg N pr. ha i rodzonen. Analysen indikerer dog, at effekten af braklægning kan være højere i nogle kystvandoplande, hvorfor det anbefales, at der gennemføres mere detaljerede analyser af den nødvendige indsats i de kystvandoplande, hvor indsatskravet er svært at nå.

Der er i analysen set nærmere på marginalomkostningskurverne for de kystvandoplande, der ikke når indsatskravet. Den viser generelt, at en stor del af indsatsen opnås med omkostninger under 150 kr. pr. kg N, men at for at komme nærmere målet, så er marginalomkostningen af de sidste tiltag noget over 200 kr. pr. kg N. Effekten af disse dyre tiltag er ofte begrænset. Det er således også de arealmæssige potentialer, der indgår i analysen, som gør det svært at nå målet. Analysen viser imidlertid også, at selvom der er indlagt en begrænsning på potentialet for udtagning og kollektive virkemidler, så er der kystvandoplande, hvor arealet med virkemidler overstiger det samlede areal, hvorfor der kan være behov for to virkemidler på nogle arealer.

I den efterfølgende analyse er der i trin 1 anvendt en ny retentionsopgørelse for punktkilder og en nyvurdering af omkostningen. Derefter er det i trin 2 indregnet, hvad sæsoneffekten derefter betyder for resultaterne. I begge tilfælde er udgangspunktet den nye analyse af omkostninger angivet ovenfor. Analysen er kun gennemført for udvalgte kystvandoplande, hvor der vurderes at kunne være en sæsoneffekt. Det har dog ikke for alle typer af forureningskilder været muligt at beregne eller påvise en sæsoneffekt i de udvalgte kystvandoplande. Revurderingen af omkostninger for punktkilder er foretaget af COWI (2023), den nye retention er udarbejdet af AU (Thodsen et al., 2023), og sæsoneffekten af DHI (Erichsen et al, 2024).

Analyserne omfatter reduktioner i N fra punktkilder som rensningsanlæg, industri, dambrug og regnbetingede udløb (RBU) ved forskellige virkemidler/tiltag. Da analysen kun gennemføres for udvalgte kystvandoplande, er der i den økonomiske analyse valgt en partiel tilgang, hvor fokus er på, om de nye beregninger af omkostning kan betyde, at det bliver billigere at opnå indsatskravene i de enkelte kystvandoplande. Omkostningerne ved de nye tiltag skal således være lavere end marginalomkostningerne for tiltag i den oprindelige analyse for det pågældende kystvandopland.

Den lavere retention (fra 23 procent til 10 procent) for rensningsanlæg betyder, at reduktionerne er højere. Med stort set uændrede omkostninger betyder det, at omkostningerne pr. kg N generelt er lidt lavere i nærværende analyse i forhold til VP3-analysen (Jacobsen, 2022). Da COWI-analysen (AP2) (COWI, 2023) kun omfatter et trin, er effekten i de kystvandoplande, hvor rensningsanlæg indgår som et omkostningseffektivt virkemiddel, imidlertid nu kun 18 tons mod tidligere 40 tons N i VP3-analysen omfattende fire kystvandoplande (Jacobsen, 2022).

Sæsoneffekten er højest for Knudedyb med 2,1, og indregnes sæsoneffekten for alle tre kystvandoplande, bliver den samlede effekt nu 29 tons N. Sæsoneffekten gør tiltagene lidt billigere, idet de nu koster 404 kr. pr. kg N. Samlet betyder sæsoneffekten, at løsningen med rensningsanlæg har en øget værdi på 58 mio. kr., men rensningsanlæg indgår fortsat ikke i mange løsninger, fordi omkostningen stadigt er højere end andre alternativer.

Tabel 18. *Ændringer i effekter og årlig værdi ved en ny retention og en sæsoneffekt set i forhold til VP3-analysen for udvalgte kystvandoplande i SMART-analysen*

	Effekt af virkemidler i udgangspunk-tet (tons N)	Effekt af en ny retention og nye virkemidler (tons N)	Værdi af ændring (mio. kr.)	Sæsoneffekt (tons N)	Værdi af sæsoneffekt (mio. kr.)
Kommunale renseanlæg	40	-22	-98	12	58
Dambrug	0	493	16	960	31
RBU	14	-4	-20	5	25
Minivådområder	47	92	4	0	0
I alt	101	559	-98	977	114

Note: For rensningsanlæg og RBU er værdien baseret på marginalværdien i de relativt få kystvandoplande. For dambrug og minivådområder anvendes gennemsnitsomkostningen af de nuværende tiltag i de pågældende kystvandoplande minus omkostningen ved brug af det pågældende virkemiddel. Det er valgt ikke at lade en sæsoneffekt indgå i forhold til minivådområder, idet en række kystvandoplande har en lavere sæsoneffekt (sæsonækvivalenten er under 1,0).
Kilde: Egne beregninger.

For dambrug gælder det, at de ikke var med i de oprindelige økonomiske VP3-analyser, men indgår i vandområdeplanerne med en effekt frem til 2027 på cirka 120 tons N og 2,5 tons P. I alt 153 dambrug indgår i COWI-analysen (AP2) (COWI, 2023), men kun for 134 anlæg er der alle de nødvendige data omfattende et N-tab på 493 tons N årligt.

Omkostningerne ved opkøb og lukning af dambrug er som gennemsnit opgjort til 30 kr. pr. kg N i tråd med den kompensation, der gives i vandområdeplanerne. Sæsonækvivalenten er opgjort til mellem 0,9 (Vejle Fjord, indre) og 5,2 (Grådyb), og dette øger miljøeffekten til 1.454 tons N, da sæsoneffekten i gennemsnit udgør 3,0. Den lave omkostning betyder, at det er meget relevant at inddrage dambrug i de fleste vandoplande med et indsatsbehov. Lukning af dambrug er et omkostningseffektivt virkemiddel, som kan indgå både med og uden en indregning af sæsoneffekten i alle kystvandoplandene, undtagen Nibe Bredning, der ikke har et indsatsbehov. Den økonomiske nettoværdi af at inddrage dambrug i stedet for den nuværende gennemsnitsomkostning er opgjort til 16 mio. kr. uden en sæsoneffekt og til yderligere 31 mio. kr. med indregning af en sæsoneffekt. Hvis denne ordning skal have en større effekt, skal den fremtidige

kompensation måske øges til mere end cirka 1,5 mio. kr. pr. anlæg. For havbrug kan der også være en effekt, men omfanget af kvælstofreduktionen er begrænset.

Med hensyn til tiltag i forhold til regnvandsudledninger (RBU) omfatter analysen både overløb fra fælleskloakker og regnvandsudledninger fra separate kloaker. Generelt er kvælstofindholdet i overløb fra spildevand højere end kvælstofindholdet i regnvand fra en separat kloak, men den årlige vandmængde fra regnvand er noget højere.

Cirka 8.000 overløb fra 34 kystvandoplande indgår i analysen fra COWI (AP2) (COWI, 2023). Der indgår herefter en indsats på 10 tons N i 765 opløb i de fem kystvandoplande, der ellers ikke kan nå indsatskravet. Når sæsoneffekten indregnes, stiger effekten til 15 tons N, idet den gennemsnitlige sæsoneffekt for de valgte anlæg er 1,5. Der indgår nu 773 anlæg, idet der er sat en maksimumsgrænse for omkostningen på 10.000 kr. pr. kg N. Omkostningen falder her i gennemsnit til cirka 4.600 kr. pr. kg N, men det er fortsat et meget dyrt virkemiddel set i forhold til de analyserede markvirkemidler. Virkemidler implementeres primært i forhold til udløb fra separate udløb og i færre tilfælde i forhold til overløb i forhold til fællesanlæg. Effekten pr. anlæg er på cirka 20 kg N pr. anlæg pr. år, og samlet pr. år er effekten også relativt lav, nemlig på 10 tons N uden en sæsoneffekt (reduceret fra 14 tons N) og på 15 tons N med en sæsoneffekt. Der er således en tabt værdi på 18 mio. kr. ved det første skridt og en gevinst alene ved en sæsoneffekt på 25 mio. kr., begge baseret på en omkostning ved RBU på 4.987 kr. pr. kg N.

Det er vurderet, om der vil være en sæsoneffekt ved markvirkemidler. Konklusionen er, at sæsoneffekten i langt de fleste tilfælde er under 1,0. Det kan fremadrettet overvejes, om ikke sæsoneffekter under 1,0 også bør indregnes, hvis det reelt betyder, at effekten grundet sæsonen er lavere end forventet.

Der er lavet en analyse af konsekvensen af at indregne den faktiske effekt af minivådområder i de enkelte kystvandoplande i stedet for det nationale gennemsnit, der blev brugt i VP3-analysen (Jacobsen, 2022). Der er opstillet to scenarier, hvor der på et areal svarende til 25 procent af potentialet indregnes henholdsvis den gennemsnitlige effekt i det enkelte kystvandopland og en høj effekt grundet en målretning til de 25 procent bedste områder i hvert kystvandopland. Den gennemsnitlige effekt for de 23 kystvandoplande for de to tilgange er opgjort til 6,5 kg N pr. ha og 9,0 kg N pr. ha overfor 4,2 kg N pr. ha kystvandopland i VP3-analysen (Jacobsen, 2022). For minivådområder kan effekten øges yderligere til 300 tons N, hvis de kan anlægges på de 25 procent af arealet, hvor effekten er højest, og hele dette større areal (34.000 ha) etableres. Når disse højere effekter indregnes, så kan det øge omfanget af minivådområder i den endelige løsning, også fordi flere anlæg bliver mere omkostningseffektive. Omvendt kræver mere målretning en større indsats, hvis ordningen er frivillig.

Samlet set viser analysen, at effekten af minivådområder i løsningen øges fra 47 tons N til 139 tons N uden en målretning og til cirka 370 tons N ved en målretning mod de 25 procent af arealet, der giver den største effekt. De flere minivådområder betyder, at indsatsen i forhold til renseanlæg og RBU kan reduceres i for eksempel Knudedyb. Såfremt sæson indregnes, fastholdes arealomfanget uden målretning på cirka 17.000 ha, men effekten øges til cirka 319 tons N. Der opnås specielt en højere effekt i Ringkøbing Fjord.

I vandområdeplanerne udestår der en indsats for en række kystvandoplande. De kystvandoplande med de største manglende indsatbehov er Knudedyb, Ringkøbing Fjord, Nissum Fjord, Thisted Bredning, Hjarbæk Fjord, Skive Fjord, Halkær Bredning og Mariager Fjord, indre. En indregning af sæsoneffekten kan hjælpe til en lidt højere reduktion i enkelte af disse kystvandoplande. Værdien pr. kg N er høj, fordi der er få

alternativer. En højere effekt af minivådområder hjælper blandt andet Knudedyb, mens lukning af dambrug reducerer N-tabet i Ringkøbing Fjord.

Samlet set viser den gennemførte analyse med en ny retention og en anvendelse af dambrug, at effekten øges, fordi dambrug nu indgår i analysen, ligesom der også er en højere effekt af minivådområder. Omvendt reduceres effekten af rensningsanlæg grundet færre trin i analysen.

De samlede omkostninger for at opnå indsatskravet i vandområdeplanerne er tidligere opgjort til cirka 970 mio. kr. En indregning af sæsoneffekten alene har en værdi på cirka 115 mio. kr. Sæsoneffekten giver en øget effekt, primært fra dambrug, og det gør dambrug til et endnu mere omkostningseffektivt virkemiddel, selv når P-effekten ikke er indregnet. Sæsoneffekten betyder derudover, at der i enkelte kystvandoplande indgår en yderligere anvendelse af rensning af spildevand og tiltag over for RBU.

Referencer

COWI (2019). Virkemidler over for punktkilder. Miljøstyrelsen. https://mst.dk/media/srqlyiyc/laes-om-virkemidler-for-punktkilder.pdf

COWI (2023). Second opinion fase III, styrket modelgrundlag – punktkilder. Endelig udgave fra juli 2023. (Samt regneark omfattende N- og P-analyser, som ikke er offentligt tilgængelige) https://edit.mst.dk/media/fefpfloj/udarbejdelse-af-spildevandsindsatsprogrammer-til-reduktion-af-kvaelstofbelastningen-i-4-spildevandsbelastede-kystvandsoplande.pdf

Danmarks Miljøportal (u.å.). PULS. https://puls.miljoeportal.dk/

Danmarks Statistik (2022). Fremgang for ferskvandsdambrug. https://www.dst.dk/da/Statistik/nyheder-analyser-publ/nyt/NytHtml?cid=38351#:~:text=Produktionen%20fra%20danske%20ferskvandsdambrug%20faldt,til%2068%20mio

Erichsen A. C., Nielsen, S. E. B., Timmermann, K., Højberg, A., Eriksen, J. og Pedersen B. F. (2021). Muligheder for optimeret regulering af N- og P-tilførslen til kystvandene med fokus på tilførslen i sommerhalvåret - Analyse og kvantificering. Miljøstyrelsen. Teknisk notat. https://orbit.dtu.dk/files/265980398/Muligheder_for_optimeret_regulering_af_N_og_P_tilf_rslen_til_kystvandene_med_fokus_p_tilf_rslen_i_sommerhalv_ret.pdf

Erichsen, A. C.; Larsen, T. C.; Christensen, P.A. og Timmermann, K. (2024). Second opinion fase III: Styrket modelgrundlag – Scenarier og fortolkning. DHI. Teknisk rapport.

Eriksen, J., Thomsen, I. K., Hoffmann, C. C., Hasler, B. og Jacobsen, B. H. (2020). Virkemidler til reduktion af kvælstofbelastningen af vandmiljøet. Aarhus Universitet. DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. DCA rapport nr. 174. https://dcapub.au.dk/djfpdf/DCArapport174.pdf

Finansministeriet (2022). Evaluering af det faglige grundlag for kvælstofindsatsen er igangsat. https://fm.dk/nyheder/nyhedsarkiv/2022/maj/evaluering-af-det-faglige-grundlag-for-kvaelstofindsatsen-er-igangsat/

Hasler, B., Filippelli, R., Levin, G. og Nainggolan, D. (2022). Økonomiske konsekvensberegninger for vandrammedirektivet i 2027: Scenarier for fuld implementering af VP3 indsatskrav for kystvandoplande 2021-2027. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. Videnskabelig rapport nr. 502. http://dce2.au.dk/pub/SR502.pdf

Hasler, B. og Jacobsen, B. H. (2022). Økonomiske konsekvensberegninger for vandrammedirektivet i 2027: Sammenligning af resultater fra de økonomiske modeller SMART og TargetEconN. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. Videnskabelig rapport nr. 503. https://dce2.au.dk/pub/SR503.pdf

Højberg, A. L., Thodsen, H., Børgesen, C. D., Tornbjerg, H., Nordstrøm B. O., Troldborg, L., Hoffmann, C. C., Kjeldgaard, A., Holm, H., Audet, J., Ellermann, T., Christensen, J. H., Bach, E. O. og Pedersen, B. F. (2021). National kvælstofmodel – version 2020. Metode rapport. https://www.geus.dk/Media/637576521860083405/NKM2020_Rapport_18maj2021_web.pdf

Højberg, A. L., Børgesen, C. D & Andersen H. E. (2024). Second opinion, fase III, Styrket modelgrundlag. Delrapport 3: Diffus bidrag og virkemidler.

Jacobsen, B. H. (2016). Driftsøkonomiske konsekvenser ved model for fosforregulering som led i ny husdyrarealregulering. Københavns Universitet, Institut for Fødevare- og Ressourceøkonomi. IFRO Udredning Nr. 2015/19. https://static-curis.ku.dk/portal/files/192565346/IFRO_Udredning_2016_19

Jacobsen, B.H. (2022). Økonomiske konsekvensberegninger af scenarier for vandområdeplaner 2021-2027 med brug af SMART-modellen. Københavns Universitet, Institut for Fødevare- og Ressourceøkonomi, IFRO Udredning Nr. 2022/03.https://static-curis.ku.dk/portal/files/320645278/IFRO_Udredning_2022_03.pdf

Miljøministeriet (2017). Bekendtgørelse om spildevandstilladelser m.v. efter miljøbeskyttelseslovens kapitel 3 og 4. BEK nr 1469 af 12/12/2017 https://www.retsinformation.dk/eli/lta/2017/1469

Miljøministeriet (2022a). Kommissorium for "Second Opinion". https://fm.dk/media/25992/kommissorium-for-second-opinion_a.pdf

Miljøministeriet (2022b). Second Opinion Fase III Styrket modelgrundlag. Projektbeskrivelse. Notat. 14. september 2022.

Miljøministeriet (2023). Vandområdeplanerne 2021-2027. https://mim.dk/media/njvlvhax/vandomraadeplanerne-2021-2027-22-9-2023.pdf

Miljøstyrelsen (1998). Punktkilder 1997: 9 Saltvandsbaseret fiskeopdræt. https://www2.mst.dk/udgiv/Publikationer/1998/87-7909-162-8/html/kap09.htm#:~:text=%22Saltvandsdambrug%22%20d%C3%A6kker%20over%20%22opdr%C3%A6tsanl%C3%A6g,saltvandsdambrug%20der%20udnyttede%20deres%20drifttilladelse

Miljøstyrelsen (2019). Virkemidler over for punktkilder. https://mst.dk/media/srqlyiyc/laes-om-virkemidler-for-punktkilder.pdf

Miljøstyrelsen (2023a). MiljøGIS for Vandområdeplanerne 2015-2021 (se *Ferskvandsdambrug* og *Havbrug* under *Vp2 – Påvirkninger og arealanvendelse*). https://miljoegis.mim.dk/cbkort?&profile=vandrammedirektiv2-bek-2019

Nielsen, R., Petersen, C. S., Jensen, F. og Nielsen, M. (2010). Økonomiske konsekvenser ved indførelse af et individuelt omsætteligt kvotesystem for kvælstof i akvakultursektoren. Københavns Universitet, Fødevareøkonomisk Institut. FOI-notat. https://mst.dk/media/knwc0w0t/11foikonomiskekonsekvenserforindfrelseafkvotehande.pdf

Nielsen, M., Nielsen, R., Jacobsen, L. B. og Jacobsen, B. H., (2015). Bedre udnyttelse af kvælstof i landbrug og akvakultur. Københavns Universitet, Institut for Fødevare- og Ressourceøkonomi. IFRO Udredning Nr. 2015/05. https://static-curis.ku.dk/portal/files/135688162/IFRO_Udredning_2015_05.pdf

Regeringen, Venstre, Dansk Folkeparti, Socialistisk Folkeparti, Radikale Venstre, Enhedslisten, Det Konservative Folkeparti, Nye Borgerlige, Liberal Alliance og Kristendemokraterne (2021). Aftale om grøn omstilling af dansk landbrug. https://fm.dk/media/25302/aftale-om-groen-omstilling-af-dansk-landbrug_a.pdf

Rigsrevisionen (2023). Tilsyn og afgiftskontrol med spildevand. Beretning. https://rigsrevisionen.dk/Media/638324451682913555/SR0223.pdf

SEGES (2023). PULS-data fra alle renseanlæg og punktudledninger i Danmark for året 2020. https://www.spildevandsdata.dk/

Sportsfiskeren (2018). Naturgevinst: 37 dambrug nedlagt ved frivillig opkøbsordning. https://www.sportsfiskeren.dk/natur-og-fiskeripolitik/nyheder/2018/09/naturgevinst-37-dambrug-nedlagt-ved-frivillig-opkoebsordning

Thodsen, H. (2023). Opgørelse af retention fra punktkilder. Aarhus Universitet, Institut for Ecoscience. Regneark fremsendt i projektet. Ikke offentliggjort materiale.

Thodsen, H., Tornbjerg, H., Trolle, D, Erichsen, A. og Larsen, T. (2023). Næringsstofbelastning, kildeopsplitning og kvælstofretention – AP1 i "Second opinion" fase III (Vandplan 3 genbesøg). Aarhus Universitet, DCE – National Center for Miljø og Energi. Teknisk rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 293. https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Tekniske_rapporter_250-299/TR293.pdf

Vezzaro, L., Mikkelsen, P. S. og Arnbjerg-Nielsen, K. (2023). Danvas Hvidbog om udledninger af vand fra byer – et værktøj for at diskutere kloakkers fremtid. Viden der dyrker, 36(1), 24-29. https://issuu.com/madsthomsen/docs/2023_01_eva_blad

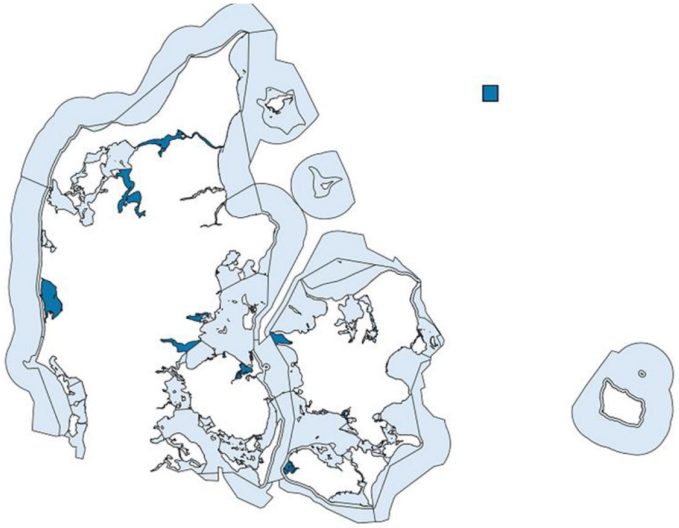
Ørum, J. E., Kjærgaard, C. og Thomsen, I. K. (2017). Landbruget og vandområdeplanerne: omkostninger og implementering af virkemidler i oplandet til Norsminde Fjord. Københavns Universitet, Institut for Fødevare- og Ressourceøkonomi. IFRO Rapport Nr. 258. https://static-curis.ku.dk/portal/files/178737610/IFRO_Rapport_258.pdf

Bilag A

Tabel A1. *Kystvandoplande inkluderet i forskellige dele af projektet*

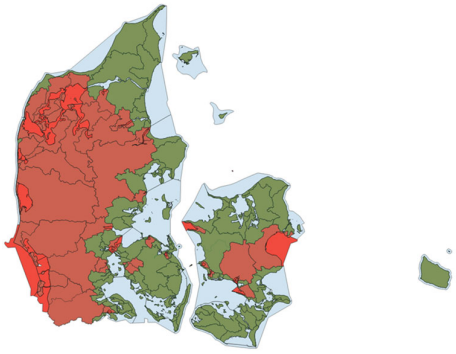
Nr.	Vandområde	Nr.	Sæson-følsom	Analyse i AP3	P-effekt	Analyse i AP4
1	Korsør Nor	16			1	1
2	Skælskør Fjord og Nor	25			1	1
3	Kalundborg Fjord	29	1	1	1	
4	Karrebæk Fjord	35	1	1	1	1
5	Avnø Fjord	37			1	1
6	Nærå Strand	59	1	1	1	1
7	Kertinge Nor	85			1	1
8	Odense Fjord, ydre	92	1	1		1
9	Odense Fjord, Seden Strand	93	1	1		1
10	Haderslev Fjord	106	1	1		1
11	Juvre Dyb	107			1	1
12	Hejlsminde Nor	109	1	1	1	1
13	Nybøl Nor	110			1	1
14	Lister Dyb	111			1	1
15	Vesterhavet, syd	119			1	1
16	Knudedyb	120		1	1	1
17	Grådyb	121			1	1
18	Vejle Fjord, indre	122	1	1		
19	Vejle Fjord, ydre	123	1	1	1	1
20	Kolding Fjord, indre	124	1	1		1
21	Horsens Fjord, indre	128	1	1		1
22	Nissum Fjord, ydre	129			1	1
23	Nissum Fjord, mellem	130			1	1
24	Nissum Fjord, Felsted Kog	131			1	1
25	Ringkøbing Fjord	132	1	1	1	1
26	Randers Fjord, indre	136			1	
27	Randers Fjord, ydre	137			1	
28	Norsminde Fjord	146	1	1	1	1
29	Bjørnsholm Bugt, Riisgarde Bredning, Skive Fjord, og Lovns Bredning	157	1	1	1	1
30	Hjarbæk Fjord	158	1	1	1	1
31	Mariager Fjord, indre	159			1	1
32	Køge Bugt	201			1	
33	Nakskov Fjord	207	1	1		1
34	Nissum Bredning	232		1	1	1
35	Kås Bredning og Venø Bugt	233		1	1	1
36	Løgstør Bredning	234		1	1	1
37	Nibe Bredning og Langerak	235	1	1		1
38	Thisted Bredning	236		1	1	1
39	Halkær Bredning	238	1	1	1	1
I alt	Alle		18	23	31	35

Note: De 18 sæsonkystvandoplande er baseret på Erichsen et al. (2021).
Kilde: Erichsen (2021) samt projektbeskrivelse lavet i projektet.



Figur A1. *Kystvandoplande, hvor et fokus på en reduktion af kvælstofudledningen i sommerhalvåret potentielt kan reducere det beregnede årsreduktionsbehov af kvælstof (mørkeblå markering)*

Kilde: Miljøministeriet (2022b).



16	Korsør Nor
25	Skælskør Fjord og Nor
29	Kalundborg Fjord
35	Karrebæk Fjord
37	Avnø Fjord
59	Nærå Strand
85	Kertinge Nor
107	Juvre Dyb
109	Hejlsminde Nor
110	Nybøl Nor
111	Lister Dyb
119	Vesterhavet, syd
120	Knudedyb
121	Grådyb
123	Vejle Fjord, indre
129	Nissum Fjord, ydre

130	Nissum Fjord, mellem
131	Nissum Fjord, Felsted Kog
132	Ringkøbing Fjord
136	Randers Fjord, indre
137	Randers Fjord, ydre
146	Norsminde Fjord
157	Bjørnholms Bugt, Riisgårde Bredning, Skive Fjord og Lovns Bredning
158	Hjarbæk Fjord
159	Mariager Fjord, indre
201	Køge Bugt
232	Nissum Bredning
233	Kås Bredning og Venø Bugt
234	Løgstør Bredning
236	Thisted Bredning
238	Halkær Bredning

Figur A2. *Fosforfølsomme kystvandoplande*

Kilde: Miljøministeriet (2022b).

Bilag B

Tabel B1. *Retention og omkostninger i et revurderet scenarie 2 i SMART-modellen*

Nr.	Navn	Indsats-krav (tons N)	Mål-opfyldel-se	Retention (%)	Gns. omk. (kr. pr. ha)	Gns. omk. (kr. pr.kg N)	Marg.-omk. (kr. pr. kg N)
1	Roskilde Fjord, ydre	124	100 %	79 %	196	48	63
2	Roskilde Fjord, indre	92	100 %	82 %	175	49	116
6	Nordlige Øresund	0	100 %	78 %	0	0	0
16	Korsør Nor	0	100 %	60 %	0	0	0
17	Basnæs Nor	9	100 %	48 %	62	24	24
18	Holsteinborg Nor	0	100 %	48 %	0	0	0
24	Isefjord, ydre	28	100 %	74 %	1.060	235	511
25	Skælskør Fjord og Nor	0	100 %	58 %	3	28	28
28	Sejerø Bugt	0	100 %	63 %	0	0	0
29	Kalundborg Fjord	10	100 %	50 %	85	27	38
34	Smålandsfarvandet, syd	18	100 %	62 %	18	31	33
35	Karrebæk Fjord	203	100 %	60 %	120	40	61
36	Dybsø Fjord	0	100 %	39 %	0	0	0
37	Avnø Fjord	0	100 %	47 %	0	0	0
38	Guldborgsund	0	100 %	59 %	0	0	0
44	Hjelm Bugt	5	100 %	65 %	25	36	36
45	Grønsund	62	100 %	65 %	222	49	69
46	Fakse Bugt	0	100 %	47 %	0	0	0
47	Præstø Fjord	46	100 %	43 %	211	44	100
48	Stege Bugt	0	100 %	58 %	0	0	0
49	Stege Nor	8	88 %	71 %	1.870	380	4.987
56	Østersøen, Bornholm	399	100 %	55 %	1.008	88	188
59	Nærå Strand	52	100 %	76 %	623	70	159
62	Lillestrand	4	100 %	68 %	221	60	52
68	Lindelse Nor	12	100 %	71 %	1.021	221	354
72	Kløven	9	100 %	71 %	223	48	127
74	Bredningen	52	100 %	62 %	820	99	233
80	Gamborg Fjord	48	100 %	64 %	1.969	156	270
82	Aborg Minde Nor	75	100 %	63 %	495	42	102
83	Holckenhavn Fjord	126	100 %	63 %	1.062	124	234
84	Kerteminde Fjord	7	100 %	49 %	194	38	74
85	Kertinge Nor	6	100 %	52 %	225	46	117
86	Nyborg Fjord	0	100 %	59 %	0	0	0
87	Helnæs Bugt	40	100 %	71 %	148	44	60
89	Lunkebugten	0	100 %	56 %	0	0	0
90	Langelandssund	0	100 %	61 %	0	0	0
92	Odense Fjord, ydre	18	100 %	70 %	281	80	48

93	Odense Fjord, Seden Strand	402	100 %	63 %	603	86	154
95	Storebælt, SV	5	100 %	63 %	16	32	34
96	Storebælt, NV	38	100 %	51 %	205	42	77
101	Genner Bugt	8	100 %	65 %	112	31	31
102	Åbenrå Fjord	23	100 %	57 %	185	32	44
103	Als Fjord	21	100 %	70 %	106	39	42
104	Als Sund	11	100 %	61 %	118	34	44
105	Augustenborg Fjord	18	100 %	68 %	108	38	40
106	Haderslev Fjord	82	100 %	68 %	668	96	196
107	Juvre Dyb	107	100 %	81 %	219	42	53
108	Avnø Vig	29	100 %	63 %	1.540	183	288
109	Hejlsminde Nor	67	100 %	63 %	1.332	163	283
110	Nybøl Nor	0	99 %	62 %	2	31	31
111	Lister Dyb	62	100 %	89 %	22	43	43
113	Flensborg Fjord, indre	13	100 %	72 %	780	121	233
114	Flensborg Fjord, ydre	0	100 %	67 %	2	35	35
119	Vesterhavet, syd	0	100 %	87 %	0	0	0
120	Knudedyb	1,725	96 %	72 %	1.362	87	4.987
121	Grådyb	693	100 %	78 %	273	44	56
122	Vejle Fjord, ydre	116	100 %	63 %	300	56	154
123	Vejle Fjord, indre	96	100 %	68 %	261	56	118
124	Kolding Fjord, indre	243	96 %	62 %	4.139	325	4.987
125	Kolding Fjord, ydre	27	74 %	59 %	1.674	156	4.987
127	Horsens Fjord, ydre	10	100 %	56 %	246	49	38
128	Horsens Fjord, indre	208	100 %	60 %	533	79	154
129	Nissum Fjord, ydre	172	100 %	78 %	705	77	144
130	Nissum Fjord, mellem	55	100 %	81 %	534	68	115
131	Nissum Fjord, Felsted Kog	629	100 %	79 %	625	71	151
132	Ringkøbing Fjord	1,647	100 %	81 %	591	76	131
133	Vesterhavet, nord	0	100 %	70 %	0	0	0
136	Randers Fjord, indre	312	100 %	76 %	67	38	38
137	Randers Fjord, ydre	21	100 %	75 %	80	43	43
138	Hevring Bugt	0	100 %	72 %	0	0	0
139	Anholt	0	100 %	72 %	0	0	0
140	Djursland Øst	221	100 %	79 %	263	51	63
141	Ebeltoft Vig	1	100 %	85 %	28	43	43
142	Stavns Fjord	2	100 %	72 %	161	49	51
144	Knebel Vig	5	100 %	81 %	281	87	196
145	Kalø Vig	0	100 %	63 %	0	0	0
146	Norsminde Fjord	31	100 %	64 %	207	49	38
147	Århus Bugt og Begtrup Vig	0	100 %	78 %	0	0	0
154	Kattegat, Læsø	0	100 %	72 %	0	0	0
157	Bjørnholms Bugt, Riisgårde Bredning,	718	100 %	79 %	338	43	57

	Skive Fjord og Lovns Bredning						
158	Hjarbæk Fjord	897	100 %	74 %	724	65	120
159	Mariager Fjord, indre	256	62 %	69 %	1.073	109	4.987
160	Mariager Fjord, ydre	0	100 %	69 %	0	0	0
165	Isefjord, indre	324	100 %	57 %	388	52	132
200	Kattegat, Nordsjælland	64	100 %	73 %	629	134	233
201	Køge Bugt	54	100 %	59 %	34	30	31
204	Jammerland Bugt og Musholm Bugt	256	100 %	62 %	124	35	38
206	Smålandsfarvandet, åbne del	0	100 %	60 %	0	0	0
207	Nakskov Fjord	47	100 %	69 %	112	45	179
208	Femerbælt	0	100 %	59 %	0	0	0
209	Rødsand og Bredningen	185	100 %	60 %	814	98	153
212	Faaborg Fjord	6	100 %	76 %	659	175	263
214	Det sydfynske Øhav	114	100 %	68 %	806	156	307
216	Lillebælt, syd	1	100 %	71 %	2	38	38
217	Lillebælt, Bredningen	89	100 %	70 %	938	145	236
219	Århus Bugt syd, Samsø og Nordlige Bælthav	98	100 %	62 %	197	45	43
221	Skagerrak	0	100 %	72v%	0	0	0
222	Kattegat, Aalborg Bugt	0	100 %	69 %	0	0	0
224	Nordlige Lillebælt	130	100 %	61 %	361	62	157
225	Nordlige Kattegat, Ålbæk Bugt	0	100 %	76 %	0	0	0
231	Lillebælt, Snævringen	26	100 %	66 %	2.032	170	272
232	Nissum Bredning	209	100 %	71 %	211	40	63
233	Kås Bredning og Venø Bugt	15	100 %	69 %	9	31	31
234	Løgstør Bredning	10	100 %	73 %	9	36	36
235	Nibe Bredning og Langerak	0	100 %	71 %	0	0	0
236	Thisted Bredning	540	89 %	66 %	1.528	116	4.987
238	Halkær Bredning	368	59 %	70 %	878	78	4.987
Sum	Alle	12.955	97,1 %	71,2 %	366	77	

Note: Christiansø (57) og Nordsjælland (205) indgår ikke i opgørelsen.
Kilde: Egne beregninger.

Bilag C

Tabel C1. *Overfladeretention i VP3-analyse og i SO for 63 rensningslæg*

Kystvand-opland	Navn	Anlægsnavn	Retention DCE (%)	Retention AP1 (%)	Forskel (%)
35	Karrebæk Fjord	Næstved	0 %	0 %	0 %
35	Karrebæk Fjord	Sneslev	38 %	34 %	4 %
35	Karrebæk Fjord	Ørslev	40 %	3 %	37 %
92	Odense Fjord, ydre	Hofmansgave Renseanlæg	0 %	0 %	0 %
93	Odense Fjord, Seden Strand	Ejby Mølle Renseanlæg	12 %	2 %	10 %
93	Odense Fjord, Seden Strand	Nordøst Renseanlæg	12 %	2 %	10 %
93	Odense Fjord, Seden Strand	Ringe Renseanlæg	22 %	12 %	11 %
93	Odense Fjord, Seden Strand	Otterup Renseanlæg	10 %	3 %	7 %
111	Lister Dyb	Skærbæk	15 %	2 %	13 %
111	Lister Dyb	Højer	24 %	4 %	19 %
111	Lister Dyb	Agerskov	24 %	14 %	10 %
111	Lister Dyb	Bredebro	26 %	7 %	18 %
111	Lister Dyb	Bedsted	28 %	19 %	9 %
111	Lister Dyb	Øster Højst	39 %	15 %	23 %
120	Knudedyb	Gram	36 %	8 %	28 %
120	Knudedyb	Sommersted	57 %	19 %	38 %
120	Knudedyb	Skrydstrup	23 %	17 %	6 %
120	Knudedyb	Nustrup	43 %	18 %	25 %
120	Knudedyb	Ødise Renseanlæg	43 %	20 %	22 %
121	Grådyb	Esbjerg vest	0 %	0 %	0 %
121	Grådyb	Esbjerg øst	0 %	1 %	-1 %
121	Grådyb	Grindsted	28 %	13 %	15 %
121	Grådyb	Skovlund Renseanlæg	27 %	10 %	17 %
122	Vejle Fjord, ydre	Gårslev Renseanlæg	46 %	1 %	45 %
123	Vejle Fjord, indre	Vejle Centralrens.	0 %	1 %	-1 %
124	Kolding Fjord, indre	Ågård Renseanlæg	27 %	12 %	15 %
128	Horsens Fjord, indre	Horsens	12 %	1 %	11 %
130	Nissum Fjord, mellem	Linde	20 %	7 %	12 %
131	Nissum Fjord, Felsted Kog	Holstebro	16 %	6 %	10 %
131	Nissum Fjord, Felsted Kog	Herning	44 %	23 %	21 %
131	Nissum Fjord, Felsted Kog	Aulum	32 %	17 %	14 %
132	Ringkøbing Fjord	Trehøje Øst	48 %	19 %	30 %
132	Ringkøbing Fjord	Sdr. Omme	36 %	13 %	23 %
132	Ringkøbing Fjord	Thyregod Renseanlæg	43 %	28 %	16 %
132	Ringkøbing Fjord	Sdr. Felding	32 %	10 %	22 %
136	Randers Fjord, indre	Randers	31 %	1 %	30 %
136	Randers Fjord, indre	Viborg Centralrenseanlæg	25 %	10 %	15 %
136	Randers Fjord, indre	Hinnerup	22 %	8 %	14 %
136	Randers Fjord, indre	Langå	21 %	3 %	18 %
136	Randers Fjord, indre	Ry	48 %	37 %	10 %
136	Randers Fjord, indre	Tørring	88 %	70 %	18 %
136	Randers Fjord, indre	Hammershøj	25 %	7 %	18 %

136	Randers Fjord, indre	Skanderborg	91 %	88 %	2 %
137	Randers Fjord, ydre	Råby Kær	0 %	0 %	0 %
146	Norsminde Fjord	Odder, Odder Å	18 %	5 %	13 %
146	Norsminde Fjord	Viby J - Fiskbæk	9 %	1 %	8 %
157	Skive Fjord og Lovns Bredning	Skive	25 %	1 %	23 %
157	Skive Fjord og Lovns Bredning	Trevad	31 %	8 %	23 %
157	Skive Fjord og Lovns Bredning	Ulbjerg	4 %	1 %	3 %
158	Hjarbæk Fjord	Bjerregrav	7 %	5 %	2 %
158	Hjarbæk Fjord	Fiskbæk	5 %	1 %	4 %
158	Hjarbæk Fjord	Skals	15 %	1 %	15 %
201	Køge Bugt	Køge-Egnens Renseanlæg I/S	0 %	0 %	0 %
201	Køge Bugt	Mosede	0 %	0 %	0 %
201	Køge Bugt	Karise	9 %	6 %	3 %
201	Køge Bugt	Spildevandscenter Avedøre	0 %	0 %	0 %
207	Nakskov Fjord	Søllested	23 %	22 %	1 %
232	Nissum Bredning	Harboøre	24 %	1 %	23 %
233	Kås Bredning og Venø Bugt	Søndbjerg Serup strand	1 %	1 %	0 %
234	Løgstør Bredning	Østerstrand	0 %	0 %	0 %
236	Thisted Bredning	Thisted	0 %	0 %	0 %
236	Thisted Bredning	Vilsund	0 %	0 %	0 %
236	Thisted Bredning	Karby	0 %	0 %	0 %
Sum			23 %	10 %	13 %

Note: De 63 anlæg er placeret i de oplande, som indgår i SO i forhold til kvælstofvirkemidler. Kilde: Overfladeretention baseret på Højberg et al. (2021) og genberegnet retention fra AP1 (Thodsen et al. (2023).

Bilag D

Tabel D1. *Omkostningseffektivitet for 63 renseanlæg i VP3-analyser sammenholdt med analyse i SO foretaget i AP1 og AP2 (kr. pr.kg N) samt anvendt skyggepris i VP3*

Kystvand-opland	Navn	Anlægsnavn	VP3 (kr. pr. kg N)	AP1+AP2 (kr. pr. kg N)	Skyggepris VP3 (kr. pr kg N)
35	Karrebæk Fjord	Næstved	1.498	499	51
35	Karrebæk Fjord	Sneslev	489	527	51
35	Karrebæk Fjord	Ørslev	507	558	51
92	Odense Fjord, ydre	Hofmansgave Renseanlæg	2.630	2.086	70
93	Odense Fjord, Seden Strand	Ejby Mølle Renseanlæg	379	434	152
93	Odense Fjord, Seden Strand	Nordøst Renseanlæg	304	470	152
93	Odense Fjord, Seden Strand	Ringe Renseanlæg	569	647	152
93	Odense Fjord, Seden Strand	Otterup Renseanlæg	1.064	1.140	152
111	Lister Dyb	Skærbæk	411	146	43
111	Lister Dyb	Højer	648	608	43
111	Lister Dyb	Agerskov	316	534	43
111	Lister Dyb	Bredebro	500	422	43
111	Lister Dyb	Bedsted	96	133	43
111	Lister Dyb	Øster Højst	477	490	43
120	Knudedyb	Gram	36.659	404	4.987
120	Knudedyb	Sommersted	1.814	942	4.987
120	Knudedyb	Skrydstrup	766	692	4.987
120	Knudedyb	Nustrup	327	658	4.987
120	Knudedyb	Ødis Renseanlæg	757	841	4.987
121	Grådyb	Esbjerg vest	1.603	1.180	50
121	Grådyb	Esbjerg øst	4.816	1.319	50
121	Grådyb	Grindsted	414	566	50
121	Grådyb	Skovlund Renseanlæg	1.634	281	50
122	Vejle Fjord, ydre	Gårslev Renseanlæg	1.516	878	173
123	Vejle Fjord, indre	Vejle Centralrens.	550	509	188
124	Kolding Fjord, indre	Ågård Renseanlæg	387	369	4.987
128	Horsens Fjord, indre	Horsens	862	737	228
130	Nissum Fjord, mellem	Linde	155	246	128
131	Nissum Fjord, Felsted Kog	Holstebro	2.133	2.137	153
131	Nissum Fjord, Felsted Kog	Herning	256	372	153
131	Nissum Fjord, Felsted Kog	Aulum		1.298	153
132	Ringkøbing Fjord	Trehøje Øst	1.419	684	138
132	Ringkøbing Fjord	Sdr. Omme	3.092	1.645	138
132	Ringkøbing Fjord	Thyregod Renseanlæg	2.306	1.904	138
132	Ringkøbing Fjord	Sdr. Felding	11.814	2.927	138

136	Randers Fjord, indre	Randers	303	201	38
136	Randers Fjord, indre	Viborg Centralrenseanlæg	437	324	38
136	Randers Fjord, indre	Hinnerup	1.398	984	38
136	Randers Fjord, indre	Langå	2.768	1.557	38
136	Randers Fjord, indre	Ry	2.713	1.959	38
136	Randers Fjord, indre	Tørring	12.213	4.555	38
136	Randers Fjord, indre	Hammershøj	1.840	1.367	38
136	Randers Fjord, indre	Skanderborg		14.435	38
137	Randers Fjord, ydre	Råby Kær	360	429	31
146	Norsminde Fjord	Odder, Odder Å	2.002	2.967	44
146	Norsminde Fjord	Viby J - Fiskbæk	713	611	44
157	Skive Fjord og Lovns Bredning	Skive	683	555	44
157	Skive Fjord og Lovns Bredning	Trevad	2.745	1.774	44
157	Skive Fjord og Lovns Bredning	Ulbjerg	663	699	44
158	Hjarbæk Fjord	Bjerregrav	360	416	84
158	Hjarbæk Fjord	Fiskbæk	1.302	912	84
158	Hjarbæk Fjord	Skals	1.473	970	84
201	Køge Bugt	Køge-Egnens Renseanlæg I/S	636	508	14
201	Køge Bugt	Mosede	901	714	14
201	Køge Bugt	Karise	1.864	533	14
201	Køge Bugt	Spildevandscenter Avedøre	366	246	14
207	Nakskov Fjord	SØLLESTED	806	550	27
232	Nissum Bredning	Harboøre	1.702	1.517	63
233	Kås Bredning og Venø Bugt	Søndbjerg Serup strand	265	740	35
234	Løgstør Bredning	Østerstrand	14.126	3.031	30
236	Thisted Bredning	Thisted	599	790	4.987
236	Thisted Bredning	Vilsund	1.726	1.259	4.987
236	Thisted Bredning	Karby	512	750	4.987
Gns.			641	541	

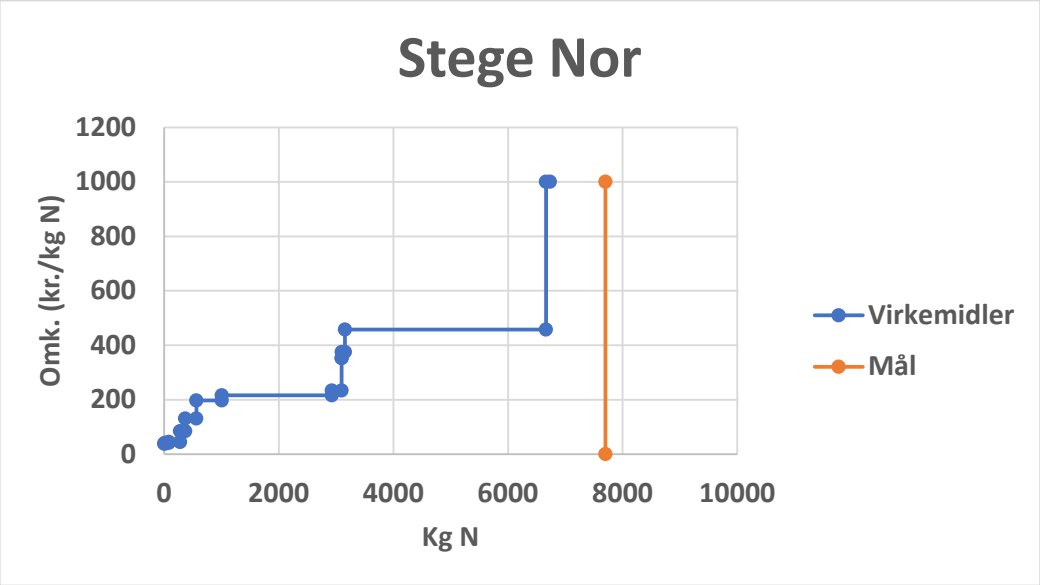
Note: Den ene analyse er baseret på omkostninger fra MST og en retention, som indgår i VP3-analysen, mens den anden analyse er baseret på omkostningsestimater fra COWI (AP2) og en retention fra AP1. De 63 anlæg er placeret i de kystvandoplande, som indgår i SO i forhold til kvælstofvirkemidler.
Kilde: AP1 og AP2 i SO (COWI, 2023; Thodsen et al., 2023) og VP3 (Jacobsen, 2022).

Bilag E

Tabel E1. *Rækkefølge af virkemidler ved opstilling af marginalomkostningskurve for fem kystvandoplande*

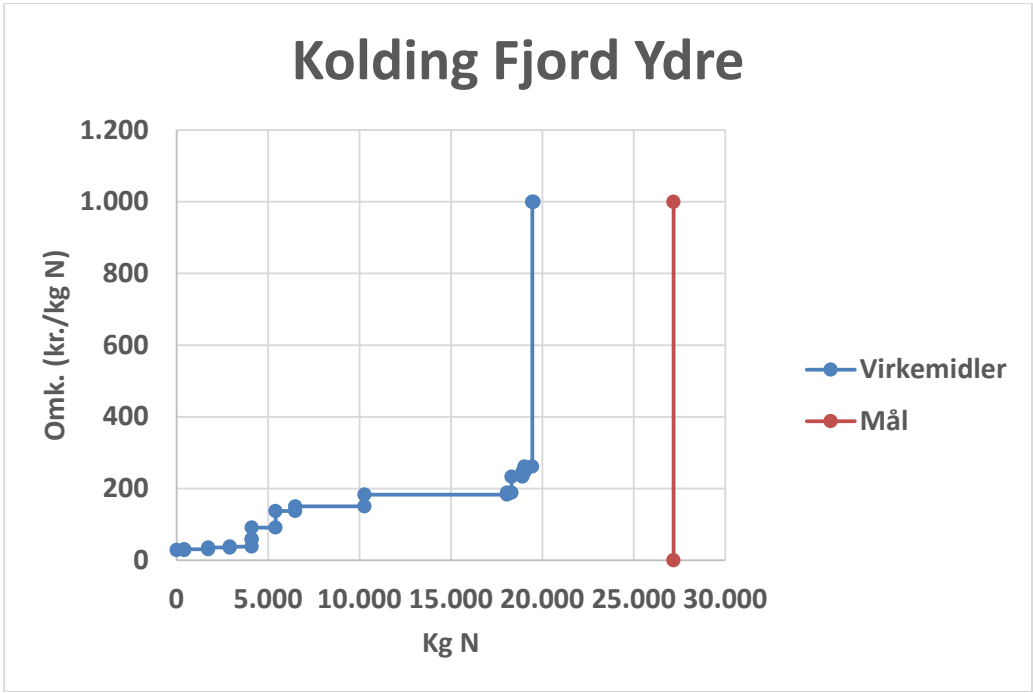
Stege Nor	Kolding Fjord	Mariager Fjord	Thisted Bredning	Halkær Bredning
	Tidlig såning af vintersæd	**Efterafgrøder uden sæd**	**Efterafgrøder uden sæd**	**Efterafgrøder uden sæd**
Vådområder	**Norm -10 %**	**Tidlig såning af vintersæd**	**Tidlig såning af vintersæd**	**Tidlig såning af vintersæd**
Tidlig såning af vintersæd	**Efterafgrøder uden sæd**	**Norm -10 %**	**Norm -10 %**	**Norm -10 %**
Norm -10 %	**Vådområder**	**Vådområder**	**Vådområder**	**Vådområder**
Efterafgrøder uden sæd.	**Mellemafgrøder**	**Lavbund**	**Lavbund**	**Lavbund**
Mellemafgrøder	**Norm -20 %**	**Skov**	**Skov**	**Skov**
Norm -20 %	**Skov**	**Mellemafgrøder**	**Mellemafgrøder**	**Mellemafgrøder**
Skov	**Udtagning**	**Udtagning**	**Udtagning**	**Udtagning**
Udtagning	Efterafgrøder med sædskifte-ændringer	Efterafgrøder med sædskifte-ændringer	**Efterafgrøder med sædskifteændringer**	Efterafgrøder med sædskifteændringer
Minivådområder	Lavbund	Norm -20 %	Norm -20 %	Norm -20 %
Randzoner	Minivådområder	Energiafgrøder	Energiafgrøder	Energiafgrøder
Energiafgrøder	Randzoner	Randzoner	Randzoner	Randzoner
Efterafgrøder med sædskifteændringer	Energiafgrøder	Minivådområder	Minivådområder	Minivådområder
			Rensningsanlæg	RBU
RBU	RBU	RBU	RBU	Rensningsanlæg

Note: I fem kystvandoplande er der udfordringer med at nå de opsatte reduktionsmål. De angivne virkemidler er angivet i en rækkefølge fra billigst til dyrest. Virkemidler under 100 kr. pr. kg N er angivet med fed. Kurverne stopper ved 1.000 kr. Pr. kg N, men vil ofte fortsætte til 5.000 kr. pr. kg N for det dyreste virkemiddel.
Kilde: Egne beregninger baseret på Jacobsen (2022).



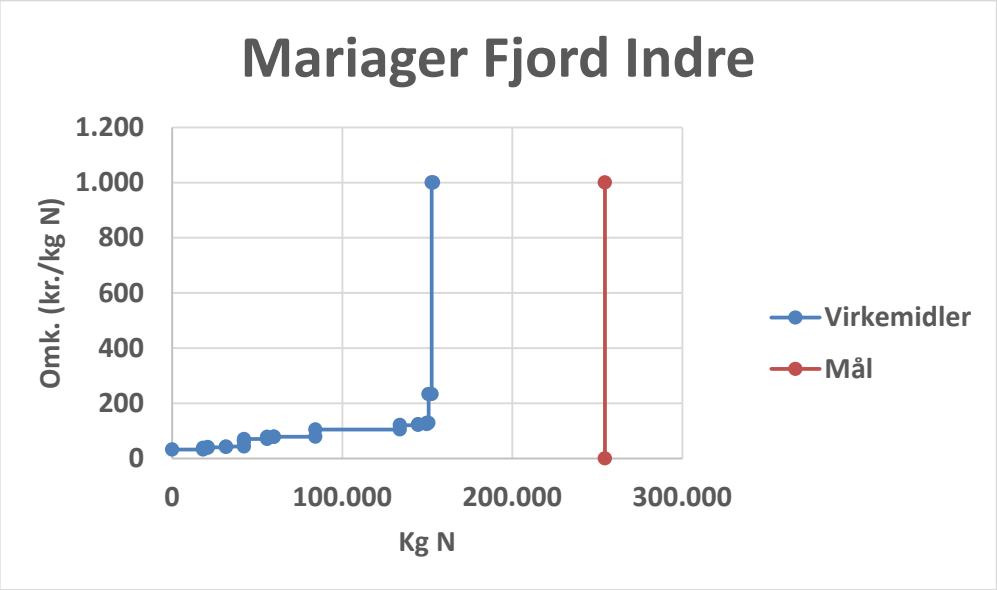
Figur E1. *Marginal omkostningskurve for Stege Nor (målet er indsatskravet)*

Kilde: Egne beregninger.



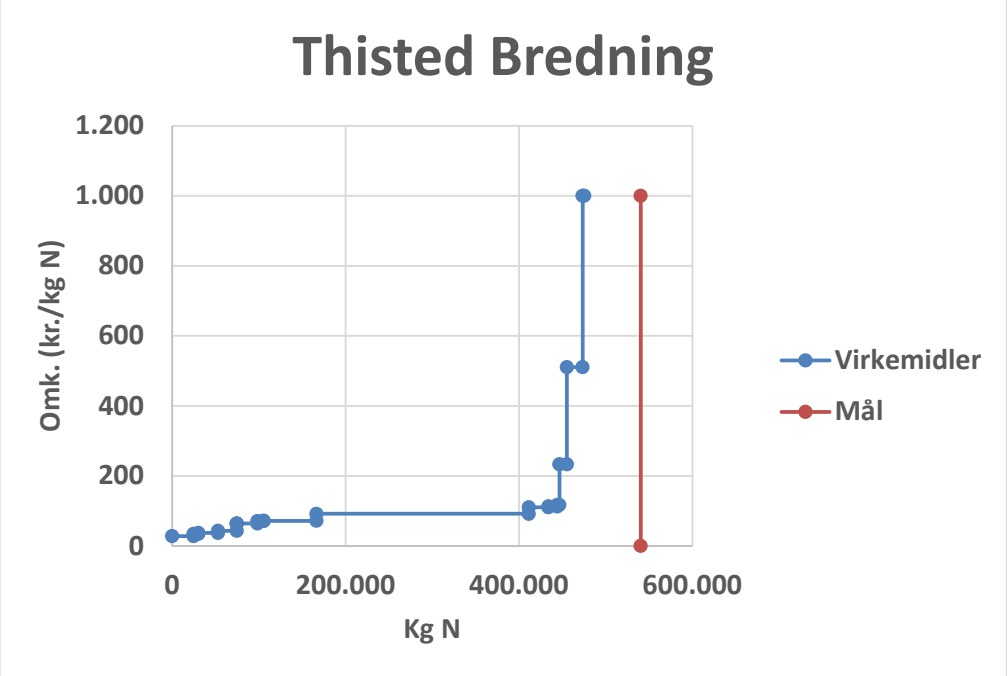
Figur E2. *Marginal omkostningskurve for Kolding Fjord, ydre (målet er indsatskravet)*

Kilde: Egne beregninger.



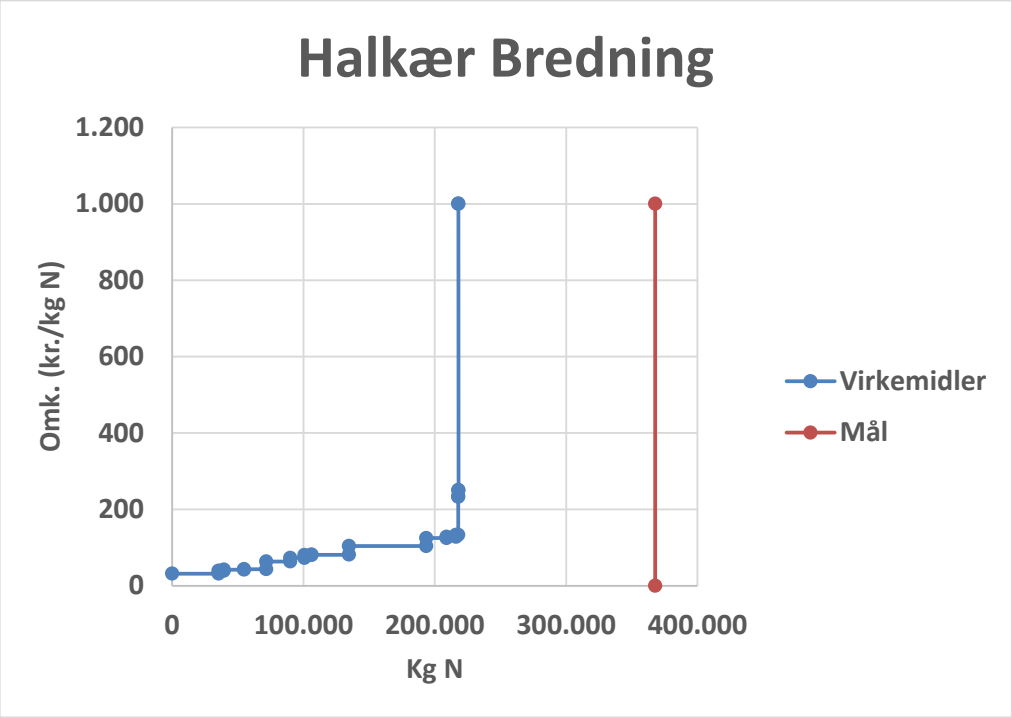
Figur E3. *Marginal omkostningskurve for Mariager Fjord, indre (målet er indsatskravet)*

Kilde: Egne beregninger.



Figur E4. *Marginal omkostningskurve for Thisted Bredning (målet er indsatskravet)*

Kilde: Egne beregninger.



Figur E5. *Marginal omkostningskurve for Halkær Bredning (målet er indsatskravet)*

Kilde: Egne beregninger.

Ovenfor er de fem marginalomkostningskurver, der angiver sammenhængen mellem omkostningen pr. kg N og den opnåede reduktion i kvælstof med de anvendte virkemidler (se tabel E1), angivet. I tabel E1 er de angivne virkemidler opstillet i en rækkefølge med den billigste først. Det fremgår, at rækkefølgen for Stege Nor er lidt anderledes end de andre kystvandoplande. Dette skyldes blandt andet, at det er et lerjordsopland, så for eksempel vådområder ligger med lavere omkostninger end tidlig såning, mens efterafgrøder er lidt længere nede.

Af figur E1 fremgår det, at for Stege Nor kan der hentes en god del ved omkostninger op til 400 kr. pr. kg N. Der er dog ikke arealer nok til at nå helt i mål, og RBU og rensningsanlæg kan ikke bidrage med meget (70 kg N), uanset omkostningen. For de andre fire kystvandoplande (figurer E2-E5) kan der opnås en del med virkemidler, som koster op til 200 kr. pr. kg N, men derefter er det svært at finde løsninger. Der er i løsningerne på trods af de anvendte begrænsninger på for eksempel udtagning brugt over 150 procent af det samlede areal i fire af kystvandoplandene (se tabel 6 og E2). Det er kystvandoplande, hvor der indgår meget af mange virkemidler (efterafgrøder, normreduktion og skovrejsning).

For Mariager Fjord, indre, og Halkær Bredning er afstanden til indsatskravet størst med en målopfyldelse på kun cirka 60 procent. Som det fremgår, så vil selv en udtagning af hele landbrugsarealet med de angivne forudsætninger i de to kystvandoplande betyde, at indsatskravet opnås (se også tabel E2).

Tabel E2. *Nøgletal ved opnåelse af indsatskrav i vandområdeplanerne for fem kystvandoplande*

Opland	Stege Nor	Kolding Fjord, ydre	Mariager Fjord, indre	Thisted Bredning	Halkær Bredning
Oplandsnr.	49	125	159	236	238
Retention (%)	71	59	69	66	70
Opland (ha)	1.369	1.882	16.154	36.681	19.455
Reduktions-krav (tons N)	7,7	27,2	256	540	368
Reduktion i løsning (tons N)	6,7	20,2	159	475	218
Manko (tons N)	1,0	7,0	97	57	150
Målopfyldelse (%)	87	74	62	89	59
Areal anvendt i løsning (%)	108	173	189	189	223
Omk. pr. kg N	380	156	109	116	78
Omk. pr. ha	1.870	1.674	1.073	1.528	876
Effekt af udtagning (kg N pr. ha)	14	20	15	17	15
Areal for at nå mål alene ved udtagning (ha)	549	1.352	16.908	32.506	25.100
Andel af areal krævet alene ved udtagning (%)	40	72	105	89	129

Kilde: Miljøministeriet (2023) og egne beregninger.