



ØKONOMISKE KONSEKVENSBeregninger for Vandrammedirektivet i 2027

Scenarier for fuld implementering af VP3 indsatskrav for
kystvandoplande 2021-2027

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 502

2022



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

ØKONOMISKE KONSEKVENSBeregninger for Vandrammedirektivet i 2027

Scenarier for fuld implementering af VP3 indsatskrav for
kystvandoplande 2021-2027

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 502

2022

Berit Hasler
Raphael Filippelli
Gregor Levin
Doan Nainggolan

Aarhus Universitet, Institut for Miljøvidenskab



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Serietitel og nummer:	Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 502
Kategori:	Rådgivningsrapporter
Titel:	Økonomiske konsekvensberegninger for vandrammedirektivet i 2027
Undertitel:	Scenarier for fuld implementering af VP3 indsatskrav for kystvandoplande 2021-2027
Forfatter(e):	Berit Hasler, Raphael Filippelli, Gregor Levin, Doan Nainggolan
Institution(er):	Aarhus Universitet, Institut for Miljøvidenskab
Udgiver:	Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ©
URL:	http://dce.au.dk
Udgivelsesår:	September 2022
Redaktion afsluttet:	September 2022
Faglig kommentering:	Katarina Elofsson
Kvalitetssikring, DCE:	Signe Jung-Madsen
Sproglig kvalitetssikring:	Ann-Katrine Holme Christoffersen
Ekstern kommentering:	Kommentarerne findes her: http://dce2.au.dk/pub/komm/SR502_komm.pdf
Finansiel støtte:	Projektet er udført under ydelsesaftalen Ressource- og samfundsøkonomi - ydelsesaftale til rammeaftale indgået mellem Miljøministeriet og Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri (tidligere Miljø og Fødevareministeriet) og Københavns Universitet (KU). Et konsortium mellem KU IFRO og AU DCE leverer rådgivning på den del af aftalen der omhandler samfundsøkonomi, og rapporten er en del af opfyldelsen af denne aftale for 2020 og 2021.
Bedes citeret:	Hasler B., Filippelli R., Levin G. & 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, 78 s. - Videnskabelig rapport nr. 502. http://dce2.au.dk/pub/SR502.pdf
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
Sammenfatning:	Rapporten beskriver omkostningseffektiv opnåelse af det samlede indsatsbehov for kvælstof i Vandområdeplan 2021-2027, som bidrager til Vandrammedirektivets mål om god økologisk tilstand i 2027. I beregningerne indgår en lang række virkemidler, både for landbrug og spildevand-rapporten dokumenterer også modellen TargetEconN, der er opdateret med indarbejdelse af de nyeste kortlag for potentialer for effekter af virkemidler, de nyeste omkostninger fra virkemiddelkatalog, samt indsatskrav for de 108 kystvandoplande. Der er udført beregninger for 13075 tons N, og omkostningerne er beregnet til totalt 510-881 millioner kroner årligt, for forskellige scenarier.
Emneord:	Vandrammedirektivet, vandområdeplaner, omkostningseffektivitet, TargetEconNx
Layout:	Ann-Katrine Holme Christoffersen
Foto forside:	Ann-Katrine Holme Christoffersen (<i>Sydspidsen, Sejerø</i>)
ISBN:	978-87-7156-699-4
ISSN (elektronisk):	2244-9981
Sideantal:	78
Internetversion:	Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) som http://dce2.au.dk/pub/SR502.pdf

Indhold

Forord	5
Sammenfatning	7
Summary	9
1 Indledning og baggrund	11
1.1 Baggrund	11
1.2 TargetEconN-modellen	11
1.3 Scenarieberegninger	12
1.4 Omkostninger nationalt og per opland	14
1.5 Erhvervs og samfundsøkonomiske omkostningsberegninger	15
1.6 Rapportens indhold og opbygning	15
2 Metode og data	16
2.1 Model	16
2.2 Virkemidler	20
2.3 Datalag	25
3 Scenarier for opnåelse af indsatskrav	38
3.1 VP2 - forventede effekter i 2021	39
3.2 Indsatskrav for N	40
3.3 Hovedscenarier	40
3.4 Hovedscenarie 1: Omkostningseffektivt scenarie og resultater	41
3.5 Hovedscenarie 2)	46
3.6 Fordelingsscenarie målrettet/kollektivt	46
3.7 Sideeffekter	49
3.8 Følsomhedsanalyser	51
4 Konklusion og diskussion	57
Referencer	59
Bilag 1-4	64
4.1 Bilag 1 Oversigt over de 108 kystvandoplande	65
4.2 Bilag 2 Resultater for de 108 kystvandoplande	68
4.3 Bilag 3 Resultater fordelt på kystvandoplande	74
4.4 Omkostningseffektivitet af scenarier for kystvandoplande	74
4.5 Omkostninger per hektar, kystvandoplande	75
4.6 Bilag 4 Tabelbilag med detaljer for de 108 kystvandoplande	76

Forord

Projekterne "Økonomiske konsekvensberegninger ved fuld implementering af vandrammedirektivet i 2027" og "Scenarier for økonomiske konsekvensberegninger ved fuld implementering af vandrammedirektivet i 2027" er i perioden 2019-2021 gennemført af Aarhus Universitet, Institut for Miljøvidenskab, med bidrag fra Institut for Ecoscience. Projekterne er udført under Samfundsøkonomikontrakten, ved konsortiet Københavns Universitet/IFRO og Aarhus Universitet/DCE, som er en del af ydelsesaftalen for forskningsbaseret myndighedsbetjening mellem Miljøministeriet, Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri (tidligere Miljø og Fødevareministeriet) og Københavns Universitet/IFRO.

Rapporten omfatter redegørelse for datagrundlaget i modellen TargetEconN samt resultater af scenarieberegninger, mens modellen SMART, som indgår i det samme projekt, er beskrevet i Jacobsen (2022).

Formålet med den udførte model- og dataopdatering samt scenariekørsler er; at blive i stand til at beregne erhvervsøkonomiske konsekvenser for gennemførelsen af indsatskrav for alle kystoplande i Danmark, at opdatere datagrundlaget til de seneste indsatskrav og oplande, samt at opdatere datalag for dyrkning, retention og virkemiddelpotentialer. Tidligere datalag og opskalering er beskrevet i Hansen m.fl. (2019). Udover at sikre at de seneste datalag anvendes, er der tilstræbt konsistens mellem datagrundlagene for de tre modeller TargetEconN (AU/DCE, ENVIS), SMART (KU, IFRO) og Norsminde (KU, IFRO). Miljøministeriet har i bestillingen ønsket at der for alle modeller udføres scenarieberegninger for hhv. omkostningseffektiv løsning på indsatskravene samt et scenarie hvor der på nationalt niveau er sat en 25/75 pct. fordeling mellem kollektive og målrettede virkemidler. Den nærværende rapport beskriver modelgrundlag og resultater for modellen TargetEconN. I en efterfølgende rapport (Hasler og Jacobsen 2022) præsenteres resultater fra de to modeller TargetEconN og SMART samlet og resultaterne sammenlignes og diskuteres for derved at opnå et bedre, konsolideret grundlag for den økonomiske analyse af konsekvenserne af vandområdeplanerne for 2021-27. Den variation og heterogenitet, der er imellem modellerne, bidrager til at belyse konsekvenserne af at anvende forskellige aggregeringsniveauer og antagelser i modellerne, samt den usikkerhed og de konsekvenser, der er ved at anvende hhv. et højt eller et lavt detaljeringsniveau. Modellerne er sat op med de seneste data for udpegninger af kystvandoplande, retention, potentialer, omkostninger og effekter for virkemidler. Disse datalag er udviklet som led i Ministeriernes arbejde med at forberede vandområdeplanerne for 3. vandplansperiode (2021-2027). Som led i modelopsætningen, er modellen blevet testet på tidligere versioner af datalagene.

Projektet har været fulgt af en følgegruppe med repræsentanter fra SEGES og Danmarks Naturfredningsforening. Følgegruppen har kommenteret rapportudkast, inklusive rapportens forudsætninger og resultater. Projektets metode og resultater er også blevet forelagt Ministeriets faglige referencegruppe, som består af interessenter, forskere og repræsentanter fra organisationer og ministerier.

Projektet har også været fulgt af en ministeriel følgegruppe med repræsentanter fra Miljøstyrelsen (Henriette Hossy og Thomas Rützou), fra Miljøministeriets departement (Henrik Leth Jørgensen og Jens Helt Vestergaard) samt Michael Clausen (LBST, FVM). Denne gruppe har diskuteret scenarier og resultater, og været behjælpelige med at fremskaffe bagvedliggende datalag i forbindelse med opdateringen af modellen, bl.a. vedrørende kystvandoplande, opdaterede indsatskrav, retention, ID15-oplande, lavbundskortlægning, potentialekort for vådområder og minivådområder samt data for spildevand og overløb. Den ministerielle projektgruppe har også kommenteret udkast til rapporten og deres kommentarer er vedlagt.

Berit Hasler, DCE, AU har ledet projektet, indsamlet datalag og –forudsætninger samt beskrevet modeludviklingen i nærværende rapport i samarbejde med de øvrige deltagere, som har leveret bidrag til rapporten. Raphael Filippelli har programmeret og designet alle ligninger i samarbejde med Maria Konrad og Berit Hasler. Han har desuden testet og tilpasset modellen og i samarbejde med Berit Hasler og Gregor Levin fundet løsninger til tilpasninger undervejs, som datagrundlaget har udviklet sig. Gregor Levin har indarbejdet og tilpasset datalag i Basemapdatabasen. Doan Nainggolan har bidraget med modelkørsler og fortolkninger af resultater.

Ud over forfatterne til rapporten, har følgende tidligere medarbejdere fra DCE, AU, bidraget til projektet: Louise Martinsen, Maria Konrad, Line Block Hansen og Mette Termansen. Hans Estrup Andersen (Ecoscience, AU) har leveret data vedr. udvaskning fra landbrugsarealer til den nuværende version af modellen og også til tidligere versioner, mens Gitte Blicher Mathiesen (Ecoscience, AU) har leveret opgørelse af efterafgrødepotentialer, beskrevet i Blicher-Mathiesen (2021).

Forfatterne til denne rapport er alene ansvarlige for den nuværende modelopsætning og resultaterne.

Sammenfatning

Nærværende rapport beskriver omkostningseffektiv opnåelse af det samlede indsatsbehov for kvælstof i Vandområdeplan 2021-2027, som bidrager til Vandrammedirektivets mål om god økologisk tilstand i 2027. I beregningerne indgår en lang række virkemidler, både såkaldte målrettede virkemidler og ”kollektive” virkemidler, og indarbejdelsen af virkemidlerne bygger på arbejderne i virkemiddelkatalogerne (Eriksen, m.fl. 2020) samt de nyeste basisanalyser for Vandrammedirektivet således at datagrundlaget for beregningerne er helt opdateret ift. det vidensgrundlag som er gældende.

Rapporten dokumenterer også modellen TargetEconN, der er opdateret med indarbejdelse af de nyeste kortlag for potentialer for effekter af virkemidler, de nyeste omkostninger fra virkemiddelkatalog, samt indsatskrav for de 108 kystvandoplande i vandområdeplanerne fra juni 2021 (Miljøministeriet, 2021). Disse indsatskrav er en del af de vandområdeplaner, der er i høring. Det samlede indsatsbehov er på 13.075 tons N for vandområdeplan 2021-2027. Indsatsen inkluderer en videreført indsats på ca. 3.500 tons N fra (VP2).

Det økonomiske problem i TargetEconN er at minimere omkostningerne ved at opnå indsatskrav for reduktionen af udledningerne af kvælstof fra kystvandoplande til kystvandene. Modellen TargetEconN identificerer derfor den mest omkostningseffektive måde at opnå kvælstofindsatskravene på ved at sammensætte de virkemidler, der er mest omkostningseffektive. Doseringen af virkemidler bestemmes ift. den sammensætning og placering på markniveau, som gør det muligt at opfylde indsatskravet for det enkelte opland til de lavest mulige omkostninger. På baggrund af løsningerne kan sideeffekter for fosfor (P) og klima også beregnes.

Scenarieløserne med modellen køres for de 108 oplande og de indsatskrav der er fastsat for disse, og totale omkostninger, effekter, omkostninger per hektar samt omkostningseffektivitet, per opland og totalt for hele landet, opgøres og præsenteres. Følsomhedsanalyser er udført for væsentlige modelforudsætninger.

Der er udført beregninger af to hovedscenarier for VP3:

1. den mest omkostningseffektive gennemførelse af indsatskravene til de 108 oplande, samt
2. omkostningerne ved en på forhånd fastlagt fordeling imellem såkaldt ”kollektive” og ”målrettede” virkemidler, som Miljøministeriet har fastsat: 75 pct. målrettede og 25 pct. kollektive virkemidler.

I beregningerne tages der højde for, at der allerede er implementeret obligatoriske efterafgrøder, og disse arealer er derfor udtaget af det fastlagde potentiale for dette virkemiddel. Ligeledes er der taget højde for, at der allerede er implementeret skovrejsning, vådområder, minivådområder og udtagning på lavbundsarealer. Reduktionen af potentialerne er vigtig da de billigste arealer er brugt.

Resultaterne viser, at der er minimale forskelle i de samlede omkostninger mellem de to hovedscenarier. Den omkostningseffektive løsning (scenarie 1) er beregnet til 510 millioner med en reduktionsomkostning på 41 kr./kg N,

mens scenarie 2 med den fastlagte fordeling mellem kollektive og målrettede virkemidler koster 545 millioner kroner og reduktionsomkostningen stiger til 42 kr./kg N. Sammensætningen af virkemidler i de to scenarier er forskellig, i det scenariet med 75 pct. målrettede virkemidler domineres af udtagning på højbund, mens skovrejsning dominerer sammen med udtagning af højbund i det omkostningseffektive scenarie. Denne forskel giver udslag i de klima sideeffekter der opnås fra scenarierne, som reduceres markant fra 2.921.689 tons CO₂-ækvivalenter i scenarie 1 til 1.240.179 tons i scenarie 2. Der sker også en reduktion i fosforsideeffekterne fra 97 tons fosfor til 86 mellem scenarie 1 og 2.

Følsomhedsanalyserne er vigtige da det er en metode til at udforske den usikkerhed der er ved model- og dataantagelserne. I en af de udførte følsomhedsanalyser er der beregnet omkostninger og effekter hvis modellens løsning bindes til at anlægge de efterafgrøder der er planlagt for den målrettede regulering i 2022 (Landbrugsstyrelsen, 2021). Den samlede omkostning stiger markant herved med 310-330 millioner kroner, og virkemiddelanvendelsen ændres mod flere efterafgrøder og mindre udtagning. Løsningerne i scenarie 1 og 2 indeholder for alle oplande en stor andel udtagning af landbrugsjord og skovrejsning. Årsagen til at dette er omkostningseffektivt er, at modellen identificerer de marker, hvor dækningsbidraget ¹fra de dyrkede afgrøder i den 5-års periode (2013-2018) er lavt, dvs. omkostningerne ved udtagning er lave. Dækningsbidragene var således lave for mange afgrøder i perioden 2013 til 2018, og det medfører lave omkostninger for udtagning og skovrejsning.

¹ Dækningsbidrag II, dvs. nettoindtjeningen fra arealerne inden afholdelse af egne lønomkostninger.

Summary

This report describes cost-effective solutions for achieving the input requirements for nitrogen in accordance with the river basin management plans for 2027. The calculations include a large number of instruments, both so-called targeted instruments and "collective" instruments, and the incorporation of the measures is based on the catalogue of measures (Eriksen m.fl., 2020) produced for the implementation of the Water Framework Directive, as well as updated data on potential of measures, retention etc. so that the data basis for the calculations is completely updated in relation to the knowledge base that applies.

The report documents how the TargetEconN model is updated with the incorporation of the latest updated spatial data layers for potentials for effects of measures, updated costs from the catalogue as well as nitrogen reduction targets set for the 108 coastal water catchments in the river basin management plans from June 2021 in order to achieve good ecological status of these water recipients (Ministry of the Environment, 2021), currently under public consultation. The total target is 13,075 tonnes nitrogen (N) for the river basin management plan (VP) 2021-2027. The target includes a continued effort of approx. 3,500 tonnes N from VP2 (river basin management plans 2).

The economic problem in TargetEconN is to minimize the cost of achieving the required reduction of the nitrogen loads from coastal water catchments to coastal waters. The TargetEconN model therefore identifies the most cost-effective way to achieve the nitrogen input requirements by combining the most cost-effective instruments. The dosage of measures is determined in relation to the composition and location at field level, which makes it possible to meet the targets for the individual catchment area at the lowest possible cost.

Based on the solutions, side effects for phosphorus and climate can also be calculated.

The scenario runs with the model are run for the 108 catchments and the targets set for these. Total costs, effects, costs per hectare and cost-effectiveness, per catchment area and total for the whole country, are calculated and presented. Sensitivity analyzes have been performed for significant model assumptions

Calculations have been made of two main scenarios for VP3 (river basin management plan 3):

1. the most cost-effective implementation of the targets for the 108 catchments, and
2. the costs of a pre-determined distribution between so-called "collective" and "targeted" measures, which the Ministry of the Environment has determined: 75 per cent targeted and 25 per cent collective measures.

The calculations take into account that mandatory catch crops have already been implemented, and these areas have therefore been withdrawn from the established calculated potential for this instrument. - It has also been taken into account that fields already covered with forest, wetlands, mini-wetlands

and set-aside should be withdrawn from the potential. The reduction of the potentials is important as the cheapest areas are already used.

The results show that there are minimal differences in the total costs between the two main scenarios, as the cost-effective solution (scenario 1) is calculated at 510 million with a reduction cost of 41 DKK kg N, while scenario 2 with the determined distribution between collective and targeted measures, the distributed solution costs - DKK 545 million- and the reduction cost increases to DKK 42/kg N. Targeted measures are dominated by set-aside on mineral soils, while afforestation dominates together with set-aside in the cost-effective scenario. This difference is reflected in the climate side effects obtained from the scenarios, which are significantly reduced from 2,921,689 tonnes of CO₂ equivalents in scenario 1 to 1,240,179 tonnes in scenario 2. There is also a reduction in the phosphorus side effects from 97 tonnes of phosphorus to 86 between scenarios 1 and 2.

The sensitivity analyzes are important to explore the uncertainty of the model and data assumptions. In one of the sensitivity analyzes carried out we have anticipated that the catch crops are sown as planned for by the Agricultural Agency (Landbrugsstyrelsen, 2021). The total cost increases significantly by DKK 310-330 million compared to the basic scenario 1 and 2. The solutions in scenarios 1 and 2 include a large proportion of set-aside of agricultural land and afforestation for all catchments, and the reason why this is cost-effective is that the model identifies the fields where the contribution margin (contribution margin II, i.e. the net earnings from the areas before incurring own wage costs) is low. The contribution margins were low for many crops in the period 2013 to 2018 and the solutions are of course affected by these costs.

1 Indledning og baggrund

1.1 Baggrund

I henhold til Vandrammedirektivet (VRD) skal der opnås god økologisk tilstand i overfladevand og grundvand senest i 2027. I perioden 2018-2021 er der udført en række projekter med henblik på at opnå et konsolideret modelgrundlag til beregninger af de erhvervsøkonomiske konsekvenser af Vandområdeplan 3 (VP3). Modelgrundlaget er tidligere dokumenteret i Hansen m.fl. (2019), og består af modellerne TargetEconN, SMART og Norsmindemodellen.

Formålet med den samlede projektportefølje af kvælstofprojekter er at indarbejde opdaterede indsatskrav og datalag i de økonomiske modeller, med henblik på at analysere de erhvervsmæssige omkostninger forbundet med gennemførelse af et omkostningseffektivt indsatsprogram for kvælstof (N) i den 3. planperiode frem mod 2027, (VP3). Beregningerne inddrager opdaterede vurderinger af implementering af de tidligere indsatser i vandområdeplan 2 (VP2) (2015-2021) på kystoplandsniveau, idet beregningerne tager højde for de allerede implementerede tiltag fra denne periode, som begrænser det tilgængelige potentiale for virkemiddelimplementering i VP3.

Nærværende rapport dokumenterer den opdaterede version af modellen TargetEconN (opdateringer udført i 2020 og 2021), samt resultater for at opnå indsatskrav for N i 2027. Opdateringerne bygger på tidligere versioner af modelgrundlaget, dokumenteret og anvendt i Konrad m.fl. 2014, Hasler m.fl. 2015, Konrad m.fl. 2017, Hasler m.fl. 2019, Hansen m.fl. 2019, Filippelli m.fl. 2020, Filippelli, R. (under udarbejdelse).

Analyserne er blevet forsinket i forhold til oprindeligt planlagt afslutningstidspunkt, da opdateringer af datagrundlag og resultater har været nødvendige af flere omgange inden Miljøministeriets endelige indsatsbehov for VP3 blev tilgængelige i juni 2021 (Miljøministeriet, 2021). Indsatskrav og afgrænsningerne af kystvandoplande er blevet opdateret, ligesom vigtige data og datalag er blevet opdaterede i perioden 2020-2021.

Omkostningerne for N-indsatsen og omkostningseffektive løsninger beregnet med modellerne SMART (Jacobsen, 2022) og TargetEconN sammenlignes i Hasler et al. (2022). Denne sammenligning baseres på de scenarieberegninger for N-indsatsbehovet som præsenteres i nærværende rapport. I scenarieberegningerne placerer modellerne virkemidler omkostningseffektivt under givne forudsætninger til brug for vurdering af omkostningerne ved indsatser til reduktion af udledningen af N til kystvande. De to modeller har hver sin tilgang til analysen (se Hansen m.fl., 2019) og sideløbende anvendelse af modellerne giver dermed et grundlag for at vurdere størrelsen af det spænd i omkostninger, der er forbundet med beregning af de økonomiske konsekvenser af forskellige scenarier for indsatsbehov.

1.2 TargetEconN-modellen

Formålet med modelleringen i TargetEconN er at identificere den mest omkostningseffektive måde at opnå kvælstofindsatskravene på. Modellen er også sat op til at beregne fosforvirkemidler og krav (Hasler m.fl. in prep.). Den

samlede model, TargetEconN_P kan anvendes for kvælstof og fosfor hver for sig eller samlet.

Det økonomiske problem i TargetEconN er at minimere omkostningerne ved at opnå fastsatte indsatskrav med henblik på at reducere udledningerne af kvælstof fra kystoplande til de kystvande, der er fastlagt til opnåelse af Vandrammedirektivet i Danmark. Modelopsætning og beregninger er nu gennemført for de nuværende 108 kystoplande med tilhørende indsatskrav (Miljøstyrelsen, 2021). Der er i forbindelse med arbejdet med at opdatere datagrundlaget for modellen tidligere blevet regnet på indsatskrav for kvælstof for 90 og også 88 kystoplande.

Omkostningsminimeringsproblemet i TargetEconN er defineret som et "social planner-problem", dvs. at det identificeres hvilke virkemidler der skal placeres på hvilke marker for at opnå den omkostningseffektive løsning, uden hensyntagen til hvilke instrumenter der skal til for at skabe incitament hos landmændene til at udføre de nødvendige tiltag. Doseringen af virkemidler bestemmes ift. den sammensætning og placering som gør det muligt at opfylde indsatskravet for oplandet til de lavest mulige omkostninger.

1.3 Scenarieberegninger

Scenarieberegningerne omfatter en omkostningseffektiv opfyldelse af det samlede indsatsbehov på 13.075 tons N for vandområdeplan 2021-2027. Indsatsen inkluderer en videreført indsats på ca. 3.500 tons N fra VP2.

Modelleringen af scenarierne for VP3 tager højde for

- *Allerede implementerede obligatoriske efterafgrøder.* Disse efterafgrødearealer er implementeret i modellen således at de billigste efterafgrødearealer er anvendt og dermed udtaget af potentialet. Efterafgrødearealet er opgjort for 2018 (Blicher-Mathiesen og Kjeldgaard, 2021), og svarer til 255.000 hektar, fordelt omkostningseffektivt i TargetEconN på oplande iht. fordelingen i 2018.
- *Implementerede "kollektive" virkemidler (skovrejsning, vådområder, minivådområder og udtagning af lavbundsarealer):* Det antages at 62 pct. af det forventede indsatsbehov fra kollektive virkemidler er implementeret i 2021, og dette areal er fratrullet potentialet idet placeringen er foretaget omkostningseffektivt i TargetEconN.

Indsatsen i VP3 omfatter alle virkemidler (målrettet regulering, kollektive virkemidler og spildevand). Virkemidlerne er beskrevet i kapitel 2.

Der er udført beregninger af to hovedscenarier for VP3:

1. den mest omkostningseffektive gennemførelse af indsatskravene til de 108 oplande, samt
2. omkostningerne ved en på forhånd fastlagt fordeling imellem såkaldt "kollektive" og "målrettede" virkemidler, som Miljøministeriet har fastsat: 75 pct. målrettede og 25 pct. kollektive.

Som del af scenarie 1 er modellen kørt for de 108 oplande og de indsatskrav der er fastsat for disse. De totale omkostninger, effekter, omkostninger per hektar samt omkostningseffektivitet per opland og totalt for hele landet er beregnet.

Scenarie 2 er interessant af administrative hensyn, og omfatter gennemførelse af 25 pct. af indsatsbehovet med kollektive virkemidler (vådområder, minivådområder, lavbundsprojekter og skovrejsning) og 75 pct. af indsatsbehovet gennem målrettet regulering. Disse analyser er gennemført ved at sætte indsatskravet til den angivne procent og køre modellen med de ønskede virkemidler i analysen (kollektive og målrettede for sig). Fordelingen er fastsat nationalt. Indeholdt i de 75 pct. målrettet indsats er efterafgrøder, randzoner, nedsat gødsning, mellemafgrøder, tidlig såning, permanent udtagning på højbund² og spildevandsindsats. For den målrettede regulering inkluderer indsatsen en videreført indsats på ca. 3.500 tons N fra VP2.

I tillæg til disse to scenarier er der udført følsomhedsscenarier. Disse omfatter:

- *Additivitet.* Additivitet, eller krydseffekter er implementeret i et følsomhedsscenarie for oplande til minivådområder, hvor det på baggrund af Ørum (2020) antages, at effekten af fladevirkemidler implementeret i disse oplande får en reduceret effekt på N-udledningen til kyst (åkant). Vi har i disse scenarier regnet med en reduktion på 25 pct. af den oprindelige effekt anvendt i de øvrige scenarier. Resultatet er en opgørelse af de yderligere omkostninger ved at regne additivitet ind, og evt. ændringer i anvendelse af virkemidler i oplandet som følge af de reducerede effekter samt også ændringer i målopfyldelse af indsatskravene for oplande og totalt.
- *Følsomhedsscenarie for dækningsbidrag:* TargetEconN anvender dækningsbidrag for de indtægtstab der er ved permanent udtag af landbrugsjord på lavbund og højbund, ved kortvarig brak, ved skovrejsning og anlæggelse af vådområder, samt ved plantning af energiafgrøder. Dækningsbidrag II³ anvendes som mål for de tabte indtægter idet det antages, at maskiner og anlæg kan finde anden anvendelse. Dækningsbidragene i TargetEconN er differentierede efter de afgrøder der dyrkes på marken, mens reguleringsgrundlaget sjældent er så detaljeret. Det er derfor udført følsomhedsanalyser, hvor dækningsbidragene er gennemsnitlige for alle jordtyper og afgrøder på nær højværdiafgrøder (fx frøgræs, læggekartofler). Forudsætningerne for beregningerne af gennemsnitlige dækningsbidrag er beskrevet i Eriksen m.fl., 2020, bilag 1 (Martinsen m.fl., 2020).
- *Følsomhedsanalyse for regulering af efterafgrøder:* Iht. Landbrugsstyrelsen skal den målrettede kvælstofregulering i 2022 sikre en kvælstofindsats på 3.514 tons N, dette svarer til ca. 373.468 ha efterafgrøder. Indsatsbehovet er af Landbrugsstyrelsen foreslået for 69 kystvandoplande (VP2-oplande) og i scenariet er dette indsatsbehov fastsat som nedre grænse for det målrettede efterafgrødeareal. Dette scenarie er modelleret for at beregne omkostningerne som følge af dette krav sammenlignet med den implementering, som modellen foreskriver som den mest omkostningseffektive.

² Der er indlagt tre virkemidler for udtagning: Brak er et årig udtagning, mens permanent udtagning kan ske på hhv. højbunds- og lavbundsarealer hvor der er regnet med forskellig N-effekt samt sideeffekter for P og klima. Lavbundsarealerne er udpeget (jf. tabel 2.4) mens højbund udgør de øvrige jorde. Klassificeringen er anvendt i Eriksen m.fl. (2020), og bygger på den danske jordklassificering.

³ Dækningsbidrag II: Produktionsværdien (produktionens samlede værdi inkl. intern omsætning af produkter og biprodukter, fx husdyrgødning, halm) fratrasket variable omkostninger (fx gødning, sprøjtemidler, udsæd, energi) samt kapacitetsomkostninger (fx maskiner). Afskrivninger til bygninger mv. fratrækkes ikke, da det antages at disse ikke vil berøres af implementeringen af virkemidlerne (Martinsen et al. 2020). Aflønning af egen arbejdskraft er heller ikke omfattet af dækningsbidrag II, mens arbejdskraft anvendt i forbindelse med leje af maskinstation mv. er omfattet.

- *Følsomhedsanalyser for potentialet for skovrejsning:* I denne analyse er de arealer, hvor der kan udføres skovrejsning begrænset til potentialet for skovrejsning minus de arealer, der er udpeget som ikke ønskelige til skovrejsning af kommunerne: Data er downloadet fra Miljøportalen i 2021. Dette scenarie er indsat i sammenhæng med hovedscenarie 1, da vi regner det som en modifikation af hovedscenariet.

Som forudsætning for scenarieberegningerne er datagrundlaget opdateret fra VP2 til VP3. med nye afgrænsninger for kystvandoplande, reduktionsomkostninger og udvaskningseffekter for N-virkemidler, spildevandsvirkemidler og potentialekort for anvendelse af virkemidler. Retentionskortet og ID15 afgrænsningerne er opdaterede (Højbjerg m.fl., 2020).

Datagrundlag og beregninger i det opdaterede virkemiddelkatalog for N (Eriksen m.fl. 2020) anvendes for så vidt angår indarbejdelse af indkomsttab for virkemidlerne. I TargetEconN anvendes ikke de gennemsnitlige dækningsbidragstab, men dækningsbidragstab beregnet for de specifikke afgrødekombinationer på markniveau⁴, med anvendelse af det samme datagrundlag for dækningsbidrag som i virkemiddelkatalogerne (reference). Dette betyder at omkostningsberegningen i TargetEconN er meget detaljeret og reflekterer forskelle på markniveau, og det er derfor udført følsomhedsberegninger hvor der også er regnet med gennemsnitlige dækningsbidrag for alle afgrøder. Højværdiafgrøder som fx læggekartofler, er dog undtaget.

I tillæg til virkemidler i virkemiddelkataloget for kvælstof fra 2020, er datagrundlaget for spildevandsvirkemidler på renseanlæg og regnbetingede overløb opdateret i foråret 2021 og indgår i modellerne.

Beregningerne med TargetEconN foretages med maksimalt potentiale for alle virkemidler. Dvs. at vi ikke har indsat grænser for det maksimale omfang af udtagning af højbund og lavbund, samt skov, men udnytter de fulde potentialer.

I opgørelsen af omkostningerne for de to hovedscenarier og følsomhedsanalyser er der ikke taget højde for de krydseffekter af virkemidlerne som kan modelleres, også kaldet additivitet. Der er også beregnet et scenarie hvor additivitet er indregnet for placering af virkemidler i oplande til minivådområder, hvor forudsætningerne beskrevet af Ørum (2020) er fulgt. Problemstillingen er at opgjorte effekter af fladevirkemidler ikke fuldt ud kan summeres indbyrdes eller med effekten af drænvirkemidler (vådområder og minivådområder), som placeres i samme opland nedstrøms det pågældende landbrugsareal. For at anskueliggøre effekten af disse krydseffekter mellem minivådområdeoplande og enkelte fladevirkemidler er der derfor beregnet et scenarie for omkostningseffektiv placering hvor krydseffekterne er omfattet.

1.4 Omkostninger nationalt og per opland

I rapporten er omkostningerne opgjort for landet som helhed, men beregnet for alle oplande med indsatskrav. I resultattabeller og oversigter er de gennemsnitlige omkostninger for alle oplande gengivet, mens marginalomkostningerne per opland er at finde i bilag 2.

⁴ Se detaljeret beskrivelse af tilgang i kapitel 2.

1.5 Erhvervs og samfundsøkonomiske omkostningsberegninger

I rapporten præsenteres både gennemsnitsomkostninger for hele landet, og for kystvandoplandene, samt marginalomkostningerne for at opnå indsatskravene for kystvandoplandene.

Omkostningerne er opgjort som erhvervsøkonomiske omkostninger, og ikke velfærdsøkonomiske. Det bemærkes derfor at resultaterne ikke er direkte sammenlignelige med beregningsresultater hvor velfærdsøkonomiske omkostninger er anvendt. I Hasler m.fl. (2022), hvor resultaterne sammenlignes mellem modellen SMART og TargetEconN, er omkostningerne omregnet til samfundsøkonomiske omkostninger ved anvendelse af nettoafgiftsfaktoren (NAF), (Finansministeriet, 2019). Der er tale om kortfristede og ikke dynamiske effekter.

1.6 Rapportens indhold og opbygning

Rapporten består af 3 dele: En beskrivelse af den opdaterede version af modellen TargetEconN og datagrundlaget (kapitel 2), En beskrivelse af scenarier og resultater (kapitel 3) og en diskussion af resultaterne (kapitel 4).

2 Metode og data

2.1 Model

Omkostningseffektivitetsanalysen i TargetEconN foretages ved at minimere omkostningerne ved at opfylde N-miljømålene, udtrykt ved indsatsbehovene for kvælstof til kystvandene (N-reduktioner). Optimeringsrutinen medfører, at modellen er egnet til at beregne optimal målrettet og differentieret placering af virkemidler under hensyn til forskelle i både omkostninger, potentialer og effekter mellem marker, ID15-oplande og større deloplande. Modellen identificerer således, hvor virkemidlerne geografisk bør placeres for at opnå den mest omkostningseffektive løsning.

Model formulering

Denne version af modelformuleringen af TargetEconN tager højde for de opdateringer af modellen, der er foretaget i perioden 2020-2021, som anvendes til VP3-beregningerne. De seneste tilpasninger af modellen er programmeret af Raphael Filippelli, Aarhus Universitet og anvendt i hans Ph.d.-afhandling, hvor muslingeproduktion er tilføjet som virkemiddel. Den beskrevne modelkode på de efterfølgende sider er således udarbejdet af Raphael Filippelli.

Dette afsnit specificerer den optimering der foretages med modellen for denne version af TargetEconN, inklusive objektfunktion (målfunktion for optimeringen) og de biofysiske begrænsninger. Objektfunktionen definerer omkostningerne ved at reducere kvælstofudledningerne til kystvandene, mens de biofysiske begrænsninger beskriver og afgrænser potentialerne for de forskellige virkemidler samt effekterne. Variabel- og parameterbetegnelser og forklaringer er beskrevet indledningsvist for at introducere disse. Derefter beskrives objektfunktionen og begrænsningerne. Til sidst følger specifikke beskrivelser af hvordan minivådområder (også benævnt konstruerede vådområder), spildevand- og overløb er modelleret, da disse virkemidler adskiller sig fra de øvrige virkemidler ved at de ikke relaterer sig til en specifik landbrugsmark.

Alle virkemidler samt datagrundlag er beskrevet i de efterfølgende afsnit i kapitlet.

Model variable

Beslutningsvariabel

C Totale omkostninger ved at implementere virkemidler i kystopland k .

Kontrolvariable

x_{ij} Binær variabel for virkemiddel j implementeret på mark i .

y_{rtc} Binær variabel for minivådområder, størrelse c , implementeret på beliggenhed l i retentionsregion r (ID15).

z_{pw} Binær variabel for spildevandsrensning, virkemiddel w anvendt på anlæg p .

v_o Binær variabel for overløbsvirkemiddel v anvendt på beliggenhed o .

Model parametre

	Parametre
$FDcost_{ij}$	Omkostningen ved implementering af virkemiddel j på mark i .
$CWcost_c$	Omkostningen ved implementering af minivådområder, størrelse c .
$WWTcost_{pw}$	Omkostningen ved implementering af spildevandsvirkemiddel w på anlæg p
$OFcost$	Omkostningen ved implementering af overløbstiltag *
$SURFret_i$	Overfladevandsretention for N , mark i .
$SURFret_p$	Overfladevandsretention for N anlæg
$TOTret_i$	Total N retention, mark i .
EFF_{ij}	N reduktion, per arealenhed, virkemiddel j , i .
$CWeff_c$	N reduktion for minivådområde, størrelse c . Værdi
$WWTeff_w$	N reduktion, per anlæg p , teknologi w .
$OFeff_o$	N reduktion, per overløbstiltag, placering o .
POT_{ij}	Potentiale areal for virkemiddel j , mark i .
T_k	N reduktion, indsatskrav for kystvandopland k .

*Overløbstiltag er ikke medtaget i denne version af modellen da datagrundlaget til beregning af omkostninger og effekter er for usikkert.

Ligninger

Objektfunktionen minimerer omkostningerne, C . For hvert kystvandopland, k , er omkostningerne ved at opfylde indsatskravene specificeret:

eq. (1)

$$\min C_{x_{ij}, y_{rlq}, z_{pw}, v_o}$$

$$= \sum_k^K \left(\sum_i^{I_k} \sum_j^J FDcost_{ij} * x_{ij} + \sum_r^{R_k} \sum_l^{Lr_k} \sum_q^Q CWcost_q * y_{rlq} + \sum_p^{P_k} \sum_w^W WWTcost_{pw} * z_{pw} + \sum_o^{O_k} OFcost * v_o \right)$$

Begrænsninger (restriktioner)

Indsatskrav T for kystvandoplande (k) opfyldes eller overskrides, hvor effekten består af effekterne af virkemidler på udvaskningen fra rodzonen samt retentionen:

eq. (2)

$$\sum_i^{I_k} \sum_{j_s}^{J_s} (1 - SURFret_i) * EFF_{ij_s} * POT_{ij_s} * x_{ij_s} + \sum_i^{I_k} \sum_{j_t}^{J_t} (1 - TOTret_i) * EFF_{ij_t} * POT_{ij_t} * x_{ij_t}$$

$$+ \sum_r^{R_k} \sum_l^{Lr_k} \sum_q^Q CWeff_q * y_{rlq} + \sum_p^{P_k} \sum_w^W (1 - SURFret_p) * WWTeff_{pw} * z_{pw}$$

$$+ \sum_o^{O_k} OFeff_o * v_o \geq T_k \quad \forall k$$

Gensidig udelukkelse af virkemidler på samme mark (kombinerede virkemidler håndteres som et virkemiddel):

eq. (3)

$$\sum_j^J x_i \leq 1 \quad \forall i$$

Gensidig udelukkelse af minivådområder på samme areal l:

eq. (4)

$$\sum_q^Q y_l \leq 1 \quad \forall l$$

Gensidig udelukkelse af rensningsmetoder ved et anlæg p:

eq. (5)

$$\sum_w^W z_p \leq 1 \quad \forall p$$

Definitioner

$k \in \{1, 2, \dots, K\}$ – kystvandområder.

$i \in \{i_k, \dots, I_k\}$ – marker i kystvandomland k .

$r \in \{r_k, \dots, R_k\}$ – retentionsregion i kystområde k .

$l \in \{l_{r_k}, \dots, L_{r_k}\}$ – potentiel placering for minivådområder i retentionsopland r i kystvandomland k .

$p \in \{p_k, \dots, P_k\}$ – rensningsanlæg i kystvandomland k .

$o \in \{o_k, \dots, O_k\}$

–placeringer med potentiale for overløbsanlæg som virkemiddel i kystvandomland k

$j \in \{1, 2, \dots, J\}$ – virkemidler placeret på markniveau .

$j_s \subseteq J$ – virkemidler placeret på markniveau, overfladeretention.

$j_t \subseteq J$ – virkemidler placeret på markniveau, total N retention .

$w \in \{1, 2, \dots, W\}$ – virkemidler indenfor rensningsteknologier på eksisterende anlæg.

$q \in \{1, 2, 3\}$ – minivådområder, 3 størrelser.

Specifikke beskrivelser af virkemidlerne minivådområder, rensning og overløb

Virkemidlerne minivådområder, spildevandsrensning og overløb er ikke implementeret på markfladen og er derfor håndteret anderledes end de øvrige virkemidler. Fremgangsmåden beskrives nedenfor.

Minivådområder

Et minivådområde (konstruerede vådområder CW) i TargetEconN er 0,2, 0,5 eller 1 hektar stort (Eriksen m.fl., 2020), og der forudsættes at minivådområdet har et opland der er 100 gange større end minivådområdet selv, dvs. 20, 50 og 100 ha. Disse oplande til minivådområder omfatter flere marker – dvs. enheden er større end en mark, og minivådområder er derfor ikke modelleret med den binære variabel x_{ij} som jo er koblet til markniveauet. Tilgangen der er anvendt er at tildele flere potentielle minivådområder med oplande (l) til retentionsoplande (r), indenfor de potentialer for minivådområder der er udpeget på minivådområdekortet (figur 2.7). Modellen vælger derefter mellem disse arealer. Et retentionsopland (ID15) er i gennemsnit 15 km², og hvert ID15 opland er ligesom markerne knyttet til et kystvandomland k . Settet q definerer de tre størrelser. Den binære variabel y_{rlq} anvendes til at vælge om et minivådområde med størrelse q vil blive placeret i område l i retentionsopland r .

De totale omkostninger ved at implementere minivådområder CW er derfor beskrevet med denne ligning (6):

eq. (6)

$$\sum_r^{R_k} \sum_l^{L_{rk}} \sum_q^Q CWcost_q * y_{rlq} \quad \forall k$$

hvor $CWcost_q$ er omkostningen ved at anlægge minivådområder af forskellig størrelse.

Antal minivådområder der er tilladt indenfor hvert retentionsopland er begrænset af det potentielle minivådområdeareal, $PotCW_r$, der er givet ved minivådområdekortet (figur 2.7) (Landbrugsstyrelsen, 2020). Begrænsningen af hvor mange minivådområder der er implementeret i hvert retentionsopland er beskrevet med denne ligning:

eq. (7)

$$\sum_l^{L_r} \sum_q^Q y_{rlq} * CWarea_q \leq PotCW_r \quad \forall r$$

Hvor ' $CWarea_q$ ' er størrelsen på minivådområdet plus opland, CW (q), valgt for område l.

N effekten af minivådområder afhænger af deres størrelse. Ligningen nedenfor (8) definerer dette:

eq. (8)

$$\sum_r^{R_k} \sum_l^{L_{rk}} \sum_q^Q CWeff_q * y_{rlq} \quad \forall k$$

hvor ' $CWeff_q$ ' repræsenterer N-effekten af virkemidlet og y_{rlq} , den binære variabel der anvendes til at vælge størrelsen på minivådområdet i hvert område.

Yderligere rensning på eksisterende rensningsanlæg

Teknologier for forbedret rensning af spildevand er indført som virkemidler til N- og P-fjernelse i modellen ved eksisterende rensningsanlæg (WWT) og disse er valgt på kystoplandsniveau. Hvert WWT-anlæg er placeret indenfor et kystvandopland og den binære variabel z_{pw} er anvendt til at vælge hvilket WWT virkemiddel (w) der implementeres på hvilket anlæg (p). Omkostningen ved at implementere en teknologi (et virkemiddel) ved et anlæg er udtrykt ved parameteren $WWTcost_{pw}$. Den totale omkostning ved at implementere virkemidler ved rensningsanlæg er beskrevet i ligning 9 nedenfor:

eq. (9)

$$\sum_p^{P_k} \sum_w^W WWTcost_{pw} * z_{pw} \quad \forall k$$

N-effekten fra rensningsanlæg er selve effekten samt overfladevandsretentionen $SURFret_p$. Den totale N-reduktion efter retention er beskrevet ved ligning 10:

$$\sum_p^{P_k} \sum_w^W (1 - SURFret_p) * WWTeff_w * z_{pw} \quad \forall k \quad eq. (10)$$

hvor $WWTeff_w$ udtrykker effekten af virkemiddel w. N-reduktionen varierer ikke mellem anlæg, kun per teknologi / virkemiddel. I tillæg er teknologierne sekventielle, dvs. En mere effektiv teknologi erstatter en anden. En gensidig udelukkelse mellem disse teknologier (dvs. virkemidler) er derfor nødvendig.

$$\sum_w^W z_w \leq 1 \quad \forall p \quad eq. (11)$$

Overløb – etablering af regnvandsbassiner

Overløb som virkemiddel er implementeret som potentielt virkemiddel i modellen, og kan når data er tilstede indgå i modelleringen. Virkemidlet er lagt ind så det kan vælges på kystvandoplandsniveau hvor der er potentiale, og den binære variabel v_o anvendes til at vælge hvor virkemidlet kan anlægges. Omkostningen ved at implementere virkemidlet overløb er angivet ved $OFcost$. De totale omkostninger ved implementering af virkemidler er beskrevet ved ligning 12:

$$\sum_o^{O_k} OFcost * v_o \quad \forall k \quad eq. (12)$$

Den totale N-effekt er beskrevet ved ligning 13:

$$\sum_o^{O_k} OFeff_o * v_o \quad \forall k \quad eq. (13)$$

2.2 Virkemidler

Til opsætningen af TargetEconN til beregninger af VP3 scenarier er der udvalgt virkemidler, beskrevet i Eriksen m.fl. 2020. Det er en forudsætning for at virkemidlerne kan indgå i modellen at der er beregnet både reduktionseffekter på N-tab og omkostninger, samt potentialer for virkemidlerne.

2.2.1 Landbrugsvirkemidler

Landbrugsvirkemidlerne i TargetEconN er beskrevet i tabel 2.1 for effekter (kg N / ha) og omkostninger (kr. / ha).

Som det fremgår af tabel 2.1 er der udført beregninger for effekter og omkostninger for jordtyperne sand og ler, samt for afgrøder der er husdyrgødede (over 0,8 dyreenheder / ha) og under 0,8 dyreenheder per ha. Opdelingen i sand og ler, samt efter husdyrtryk, er medtaget da både omkostninger og effekter er forskellige for jordtyperne samt for husdyrgødede og ikke-

husdyrgødede afgrøder. Tabel 2.1 er indsat efter en forklaring på effekt- og omkostningsberegningerne.

Effekter af virkemidlerne

Effekterne af virkemidlerne, er beregnet i kg N / ha som effekt på udvaskningen. For enkelte virkemidler er effekten sammensat af en referenceværdi for udvaskningen fra de afgrøder der dyrkes i udgangssituationen, samt effekten af virkemidlerne.

Denne tilgang er anvendt for virkemidlerne permanent udtagning på højbund*, brak, skovrejsning og randzoner.

For disse virkemidler er den beregnede udvaskning efter implementering af virkemidlet fratrasket effekten af virkemidlet, således at differentierede værdier for udvaskningseffekten indgår for virkemidlerne, alt efter hvor de implementeres. Omkostning (se efterfølgende forklaring) og effekt afhænger således af den specifikke lokalitet (mark). Udvasningen i udgangssituationen er beregnet for de afgrøder der dyrkes på marken, og er beregnet med udvaskningsmodellen NLES4 for året 2018. Datagrundlaget til beregningen af udvaskningseffekten er fra 2018 og derfor ikke længere begrænset af den tidligere normreduktion, da den beregnede udvaskning er foretaget med den gødningstildeling, der er indmeldt til gødningsregisteret. Udvasningen er beregnet for en afgrøderotation på marken der følger metoden beskrevet i Børgesen et al. (2009). Data er leveret fra Ecoscience (Hans Estrup Andersen, personlig kommunikation, august 2020). Anvendelse af denne beregnede effekt per afgrøde og mark giver et differentieret udgangspunkt for effektberegningerne, idet udvasningen i reference – eller basissituationen er forskellig fra mark til mark.

For nogle af virkemidlerne er det ikke muligt at beregne disse markspecifikke effekter, og der er anvendt den samme effekt uanset placering. Disse virkemidler omfatter efterafgrøder, efterafgrøder med sædskifte, energiafgrøder, mellemafgrøder, tidlig såning, normreduktion for gødningsanvendelsen, vådområder, udtagning lavbund og minivådområder. For disse virkemidler er effekterne taget fra Virkemiddelkataloget for kvælstof (Eriksen m.fl., 2020). For udtagning af lavbund er effektberegningen leveret af Miljøstyrelsen (2021c).

Omkostninger

I tabel 2.1 er der i højre side af tabellen kolonner der beskriver omkostninger per hektar er der angivet at omkostningen består af et ”DB tab” samt en hektaromkostning. DB tab står for tab af dækningsbidrag fra marken, mens hektarbeløbet står for etablerings og vedligeholdsmarkostningerne beregnet per hektar. Omkostningerne til etablering og vedligehold omfatter også transportomkostninger for husdyrgødning for de virkemidler hvor jord tages ud af omdrift og hvor husdyrtrykket er over 0,8 husdyrenheder (DE)/ hektar. Disse omkostninger er taget fra Virkemiddelkataloget (Eriksen m.fl. 2020) for hvert virkemiddel. Dækningsbidragstabene er beregnet for et 5-årigt gennemsnit, for perioden 2013-2018, jf. tabel 2.2. Beregningerne af dækningsbidragstab og udvaskning er yderligere beskrevet i afsnit 2.3.

Tabel 2.1 Oversigt over virkemidler i TargetEconN, effekter på kvælstofudvaskning og omkostninger.

Virkemiddel	Effekt Kg N/ha				Omkostning kr./ha			
	Effekt på udvaskningen (reduktion i udvaskningen sammenlignet med udgangssituationen For virkemidler med en * beregnes udvaskningen som ændring ift. udvaskning i udgangssituationen.				Omkostningen består af dækningsbidragstab (DB) som er beregnet for marken (5 årigt gennemsnit) og en hektaromkostning. Hektaromkostningen kan være positiv (udgift) eller negativ (indtægt). For nogle virkemidler er omkostningen udelukkende et DB tab eller en hektaromkostning.			
Jordtype	Ler		Sand		Ler		Sand	
Dyreenheder (DE)/ha	<0,8	=>0,8	<0,8	=>0,8	<0,8	=>0,8	<0,8	=>0,8
Efterafgrøder	12	24	32	45	396	288	384	315
Efterafgrøder med sædskifte	12	24	32	45	3168	3120	2016	1980
Energiafgrøder	34	34	51	51	DB**- 1696	DB**-1696	DB**+599	DB**+599
Vådområder	190	190	120	120	DB**+3486	DB**+ 3486+ 200	DB**+ 3486	DB**+ 3486 + 200
Mellemafgrøder	14	14	14	14	325	325	325	325
Brak	UB*-27	UB*-27	UB*-27	UB*-27	DB**+250	DB**+ 250+200	DB**+250	DB** +250 + 200
Skovrejsning	UB*-8	UB*-8	UB*-8	UB*-8	DB**-37	DB**- 37	DB**- 37	DB**- 37
Tidlig såning	17	17	17	17	200	200	200	200
Randzoner (smal, 10 m)	UB* - 12	UB* - 12	UB* - 12	UB* - 12	DB**	DB **	DB**	DB**
Randzoner (bred, 20 m)	UB* - 12	UB* - 12	UB* - 12	UB* - 12	DB**	DB**	DB**	DB**
Udtagning, lavbund	40	40	40	40	DB** + 1016	DB** + 1016 +200	DB** + 1016	DB**+ 1016+200
Udtagning, højbund	UB* - 12	UB* - 12	UB* - 12	UB* - 12	DB**	DB** + 200	DB**	DB**+200
Norm reduktion 10 pct. (N handelsgødning)	0.1*0.18*N	0.1*0.18*N	0.1*0.18*N	0.1*0.18*N	44,5	44,5	44,5	44,5
Norm reduktion 20 pct. (N handelsgødning)	0.2*0.18*N	0.2*0.18*N	0.2*0.18*N	0.2*0.18*N	178	178	178	178
Minivådområde (beregnet for oplandet til minivådområdet, som er 100 x minivådområdet, 20, 50 og 100 ha).	20ha:94,5 50ha:236 100ha:472	20ha:94,5 50ha:236 100ha:472	20ha:94,5 50ha:236 100ha:472	20ha:94,5 50ha:236 100ha:472	23255 33617 50391	23255 33617 50391	23255 33617 50391	23255 33617 50391

*UB: udvaskning i udgangssituationen, beregnet for afgrøderne på marken (2013-2018).

** DB: DækningsbidragII, beregnet for afgrøderne på marken (2013-18).

Tabel 2.2 Beregnede dækningsbidragstab (DBII) for afgrøder.

Jordtype	Ler		Sand	
	2013-17*	2013-18	2011-16	2013-18
Afgrøde				
Bælgsæd	820	752	-6	357
Foderroer	2652	4128	3596	2599
Frø til udsæd	6114	6730	6172	5554
Græs i omdrift	706	2199	2265	1834
Havre	1011	1534	1117	708
Helsæd, vår	2620	3437	2510	1644
Helsæd, vinter	4681	5692	3616	2859
Læggekartofler	12503	12460	11484	11413
Majs	2112	2861	3170	2253
Spisekartofler	15459	15209	14523	14245
Stivelseskartofler	6883	7872	5799	6762
Sukkerroer	5687	5117	5687	5117
Vårbyg	1670	2325	1098	851
Vårhvede	1099	1600	535	193
Vårrops	1071	1286	630	173
Vårrug	1729	2111	828	-216
Vårtriticale	985	1779	342	-59
Vedvarende græs	-53	643	-159	342
Vinterbyg	2375	3070	773	508
Vinterhvede	3022	4468	2023	1912
Vinterraps	2570	3062	1850	1260
Vinterrug	1729	2111	828	-216
Vintertriticale	985	1779	342	-59

*2013-17 er gennemsnitsperioden anvendt i tidligere beregninger (Hansen m.fl., 2019).

2.2.2 Spildevand og renseanlæg

I tillæg til disse landbrugsvirkemidler, er der også lagt virkemidler ind til reduktioner af kvælstofudledningerne fra rensningsanlæg. Disse virkemidler reducerer også fosfor. Data er modtaget fra Miljøstyrelsens Pulsdatabase og BBR vedr.

- placering af spildevandsanlæg med KMS koordinat og placering i ID15 opland.
- trinvis opgradering af rensetrin på renseanlæg indtil anlægget er fuldt udbygget til maksimal fjernelse af fosfor og kvælstof.

Data for renseanlæg og regnvandsbaserede overløb er beskrevet i Miljøstyrelsen (2020), og de beregnede omkostninger bygger på Miljøstyrelsen/COWI (2019) samt Miljøstyrelsens udarbejdelse af spildevands-indsatsprogrammer til reduktion af kvælstofbelastningen. Denne opgørelse er foretaget for fire spildevandsbelastede kystvandoplande (Miljøstyrelsen, 2017).

Data for renseanlæg og regnvandsbaserede overløb er placeret for de 108 kystvandoplande ved anvendelse af x,y-koordinater for lokaliseringen af anlæggene. For alle anlæg er der beskrevet statusudledninger af kg N og kg P per år, mens virkemidlerne beskriver reduktionseffekter for kg N og kg P per

år, samlet omkostning for hvert virkemiddel i kroner per år, samt udledninger af kg N og kg P ved anvendelse af virkemiddel.

Renseanlæg

Der er medtaget renseanlæg med en kapacitet større end 30 PE, der er registreret i PULS. Der er ikke taget højde for eventuelle planlagte ændringer i perioden 2021-2027, og der er ikke medtaget renseanlæg, der har været omfattet af indsatsprogrammet i VP1 og VP2.

For renseanlæggene er der tre virkemidler for P og fire virkemidler for N:

1. M til MBN (N, P)
2. MBN til MBNDK (N, P)
3. MBNDK til MBNDKF (N, P)
4. MBNDKF til MBNDKFe (N)

hvor M=mekanisk rensning, B=biologisk rensning, N=nitrifikation, D=denitrifikation, K=kemisk fældning, F= efterpolering i filter, e=efterdenitrifikation.

Virkemidlerne er indbyrdes uafhængige, og omkostningerne for tidligere nødvendige etableringer er indregnet i alle virkemidler.

Tabel 2.3 Beskrivelse af rensningstrin ved spildevandsrensning.

	Udbygning 1	Udbygning 2	Udbygning 3	Udbygning 4
Renseanlæg	MBN	MBNDK	MBNDKF	MBNDKFe
N og reduktion, kg N (P)/år	Udledning i baseline minus udledning efter implementering af udbygning 1	Udledning i baseline minus udledning efter implementering af udbygning 2	Udledning i baseline minus udledning efter implementering af udbygning 3	Udledning i baseline minus udledning efter implementering af udbygning 4
Omkostninger, DKK	Udbygning 1	Udbygning 1 + udbygning 2	Udbygning 1 + udbygning 2 + udbygning 3	Udbygning 1 + udbygning 2 + udbygning 3 + udbygning 4
Real rente ved annuisering, pct.	3	3	3	3
Løbetid	40	40	40	40
Kr./enhed/år	184	351	60	25

Efter Hansen m.fl. 2019.

Note: Forklaring på type: M: Mekanisk rensning, B: Biologisk rensning, N: Nitrifikation (fjernelse af ammoniak ved iltning), D: Denitrifikation (fjernelse af kvælstof), K: Kemisk fældning af fosfor, F= efterpolering i filter, e=efterdenitrifikation.

Effekterne af teknologierne er beregnet for hver teknologi, og derudover kendes placering af anlæg og retention til kyst via overfladevand. For omkostningerne er disse også differentieret efter teknologi, og varierer derfor mellem oplande ift. hvilke teknologier som allerede er implementeret. Potentialer for teknologierne er bestemt af de eksisterende anlæg. Potentialerne for opgraderinger varierer på tværs af oplande og er ikke eksisterende i nogle kystområder. Hvis et anlæg i dag ikke anvender nogen af de nævnte rensningsteknologier skal der investeres i mekanisk og biologisk rensning med nitrifikation (MBN), før der kan investeres i yderligere nitrifikation og denitrifikation (MBNDK).

Etableringsomkostninger beregnes på årsbasis med reference til systemets tekniske levetid (40 år) med en diskonteringsrente på 3 pct., jf. tabel 2.3. Årlige

drifts- og vedligeholdelsesomkostninger er fastsat til 1,5 pct. af de årlige etableringsomkostninger. Marginalomkostningerne er faldende med størrelsen af renseanlægget, da etableringsomkostningerne ikke stiger lineært med mængden af spildevand. Jo flere der er tilsluttet det samme anlæg, jo billigere er kvælstofreduktionen pr. person. For at illustrere med et eksempel, beregnes i det følgende enhedsomkostninger for et standard spildevandsbehandlingsanlæg dimensioneret til 10.000 personer og et vandforbrug på 110 l pr. person pr. dag (SVANA, 2017). Den første potentielle opgradering er mekanisk og biologisk behandling med nitrifikation (MBN). Opgraderingen er forbundet med en reduktion på 1,45 kg N pr. person pr. år og en omkostning på 184 kr. pr. person pr. år, hvilket resulterer i en pris for N-reduktion på 125,9 kr./kg.

Regnbetingede overløb

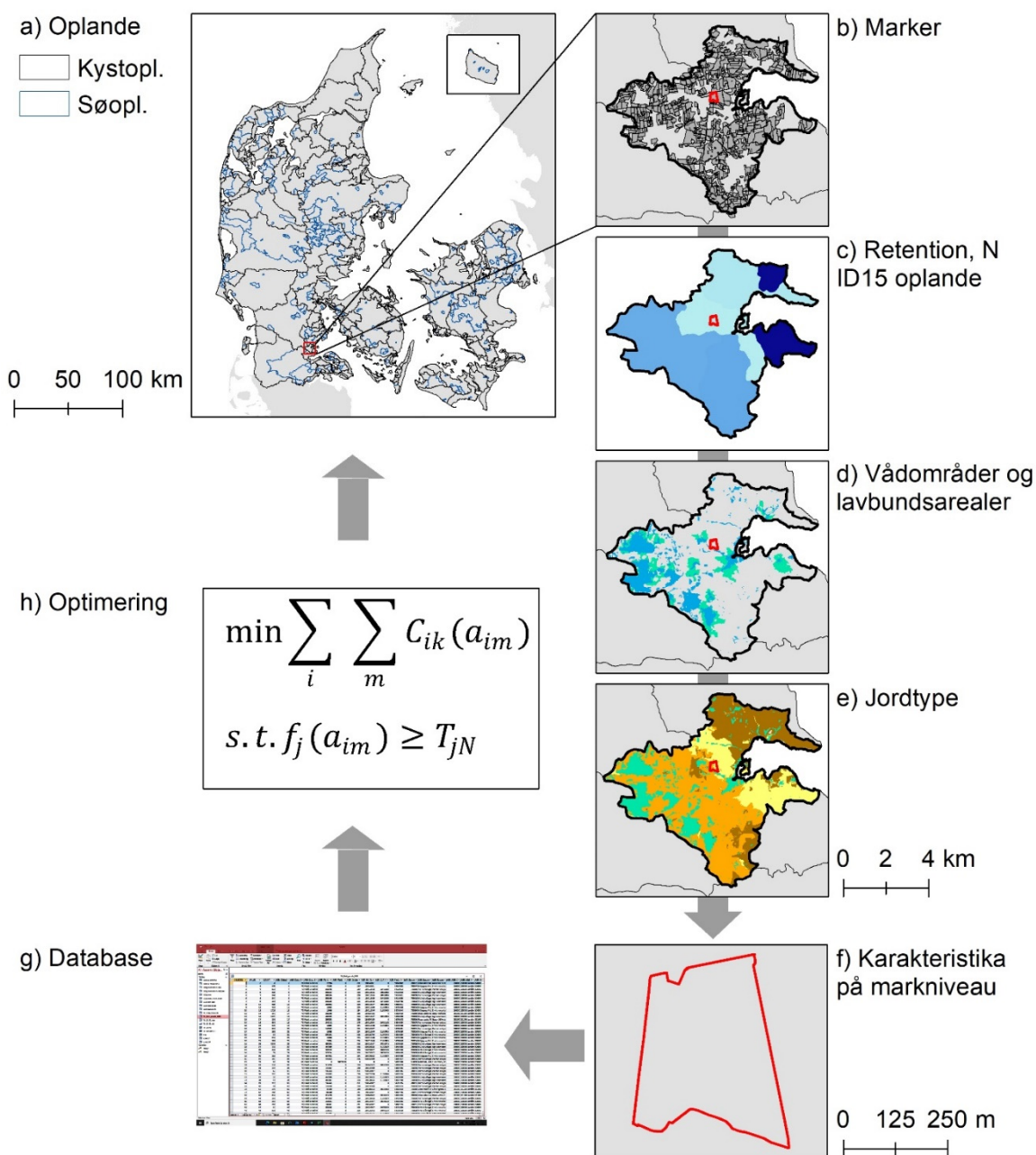
Der er medtaget alle regnbetingede udledninger fra overløb, der registreret i PULS, og der er ikke medtaget regnbetingede overløb, der har været omfattet af indsatsprogrammet i VP1 og VP2. Der er ikke taget højde for eventuelle planlagte ændringer i perioden 2021-2027. Der er et virkemiddel: etablering af regnvandsbassiner. Omkostningerne er beregnet som en enhedspris for N på 4.987 kr./kg, og for reduktionen af N (kg/år).

Da datagrundlaget for denne omkostningsberegning for overløb er meget usikkert endnu, er det valgt at ikke inddrage dette virkemiddel i beregningerne. Datagrundlaget for virkemidlet er dog indarbejdet.

2.3 Datalag

Datalagene som gennemgås her anvendes i modellen til at bestemme de fysiske begrænsninger i modellen, som beskrevet i afsnit 2.1. Disse fysiske begrænsninger er nødvendige for at virkemidlerne implementeres på egnede arealer hvor det er muligt at opnå effekter på N-udledningen. Datalagene er også vigtige ift. at beskrive sideeffekterne af N-virkemidler for klima og fosfor.

Figur 2.1 viser konceptuelt hvordan alle datalag i modellen er koblet til marker, som udgør beslutningsenheden i modellen TargetEconN, og datalagene er beskrevet i tabel 2.2.



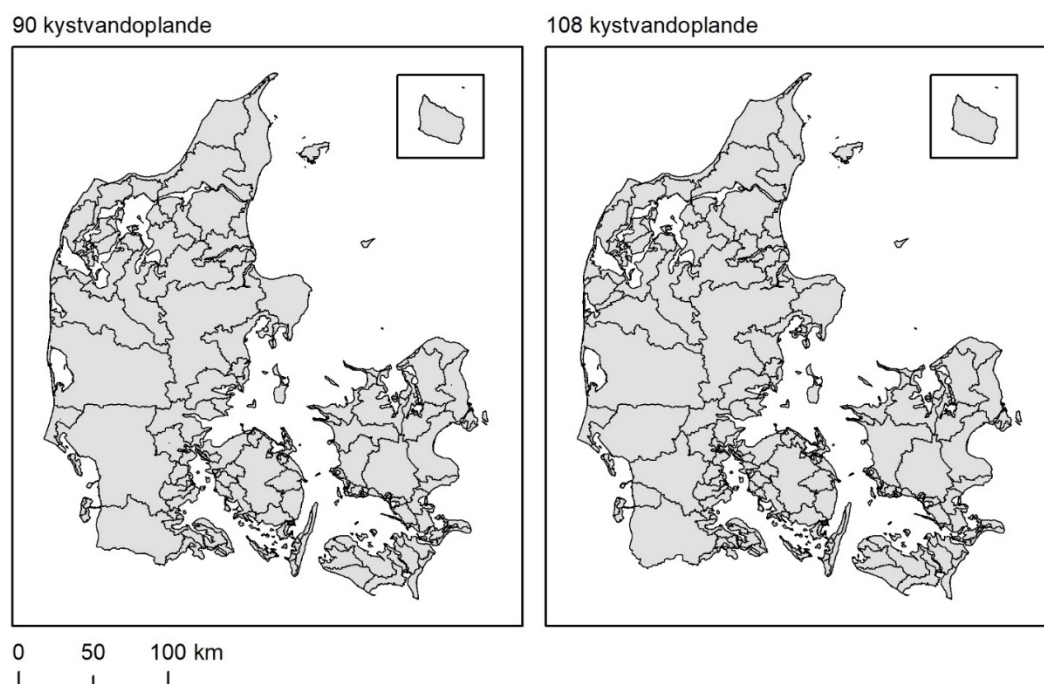
Figur 2.1 Konceptuelt overblik over datalag og model.

Den første del af diagrammet (figur 2.1a) indikerer at datalag vedrørende udregninger af kystvandoplande for N og oplande for P, er vigtige datalag. Afgrænsningerne af kystvandoplande (de tidligere 90 oplande anvendt for VP2, og de nye 108 oplande der anvendes i VP3) er vist i figur 2.2. I hvert opland indgår marker fra året 2018 (Landbrugsstyrelsen, 2018) (figur 2.1b). Alle datalag (2.1 c,d,e) knyttes til markenhederne (f). Den fulde oversigt over datalag er præsenteret i tabel 2.4. Datalagene anvendes til differentiering af effekter og omkostninger, fx jordtypekort, til beregning af retention (retentionskort), samt potentialer for virkemidlernes udbredelse, fx kort over organiske jorde/lavbund. Alle data er samlet i en database (g) som modellen trækker på i optimeringen (h).

Databasen i g) er baseret på data fra Basemap03 (Levin, 2019), som er et nationalt kort over arealanvendelse/arealdække for året 2018. Kortet kombinerer

offentligt tilgængelige geografiske informationer til et samlet arealkort i rasterformat med en cellestørrelse på 10 x 10 meter. I Basemap indgår bl.a. markkort 2018, som anvendes til administration af hektarstøtten (Landbrugsstyrelsen, 2018). Markkortene fra Landbrugsstyrelsen er baseret på ansøgere egne digitaliseringer og er derfor ofte ikke klart afgrænsede i forhold til hinanden og i forhold til andre arealkategorier som fx naturarealer, bebyggelse og infrastruktur. I Basemap03 er markernes afgræsning derfor blevet rumligt justeret i forhold til andre marker og andre arealkategorier. I alt indeholder Basemap03 639.460 marker, som er en kombination af 590.447 marker fra markkortet samt 49.013 markblokke i områder hvor der er registreret markblokke men ikke marker.

Disse 639.460 marker er således beslutningsenhederne for den økonomiske optimering i TargetEconN, og de variabler, som indgår i modellen beregnes for hver mark.



Figur 2.2 Kystvandoplande – gamle 90 oplande, nye 108 oplande.

Som det fremgår af tabel 2.4, anvendes en procentvis afgrødefordeling per mark over årrækken 2013-2018, som afspejler sædskiftet på marken for denne årrække. Dette er gjort ligesom i Hansen m.fl. (2019), men nu for en længere periode (2013-18), for at sikre robuste estimater, således at det økonomiske resultat og effekten på udvaskningen ikke er afhængigt af et enkelt års afgrødevalg, men derimod afspejler et mere reelt sædskifte. For at sikre robuste estimater er dækningsbidragene ligeledes beregnet som et gennemsnit over årrækken 2013-2018, hvilket er den samme tilgang som i Virkemiddelkataloget (Eriksen m.fl. 2020). Data for dækningsbidrag, afgrøderotation og udvaskning er tid- og metodemæssigt ikke i fuld overensstemmelse da rotationerne på markerne kan afvige fra hinanden. Ligesom tidligere vurderes dette at være det bedste tilgang til modelleringen, se detaljeret beskrivelse i tabel 2.4. Udvasknings-estimaterne er som nævnt nu estimeret for 2018, og de tager derfor nu højde for den ekstra anvendelse af kvælstof pga. ændringen til optimal gødningstildeling (ophør af normreduktion, implementering af Fødevare- og landbrugspakken).

Tabel 2.4 Datalag i TargetEconN og detaljeringsgrad.

Afgrødefordeling	Afgrødefordelingen er opdateret fra Basemap02 til Basemap03, ud fra det samme princip som i tidligere opsætning af TargetEconN: Markniveau, procentvis fordeling af afgrøder per mark, beregnes med udgangspunkt i Basemap03 (Levin 2019). Arealanvendelse og markspecifikke informationer er taget fra Basemap03 for 2018 (dvs. Markkort 2018), og data fra det arealanvendelsen for 2013 til 2018 fra det Generelle Landbrugsregister i forbindelse med ansøgning om grundbetaling (GLR; Miljø og Fødevareministeriet 2013-2018) er anvendt til at beregne et gennemsnit af afgrøderne dyrket på marken for årrækken 2013-2018. Der arbejdes med 14 afgrødegrupper aggregeret ud fra 296 afgrøder indrapporteret til GLR.
Data for dyrkningsforhold	Data opgøres på markniveau. Jordtype kort (JB kort baseret på Adhikari m.fl., 2014 og Gyldenkærne & Greve, 2015). Oplysning om økologisk dyrkning er opdateret i 2020, Basemap03. Data om marker gødet med husdyrgødning og husdyrtryk per ha (Dyreenheder DE/ha) er leveret af Hans Estrup Andersen, Bioscience (<i>nu Ecoscience</i>), AU, baseret på viden om husdyrgødning på ejendomsniveau fra gødningsregnskaberne*. Opdatering (foretaget i 2020), baseret på gødningsregnskaber fra 2018. Opdelingen på høj- og lavbundsjord (baseret på Larsen og Balslev Sørensen, 1996). Tekstur2014 kort er lagt ind og anvendes til udpegnings af potentiale for udtag af lavbund, figur 2.3.
Dækningsbidrag, kr./ha	For hver af de 14 afgrødekategorier anvendes et dækningsbidrag differentieret mellem: økologisk og konventionelt dyrkede afgrøder, lerjord (JB 5-6) og sandjord (JB 1-4) samt dyrket ved anvendelse af mineralisk gødning og/eller med brug af husdyrgødning (over og under 0,8 DE/ha)*. Omkostningen ved at implementere virkemidlet er forskellen i dækningsbidraget før og efter implementering (jf. Erikson m.fl. 2020, hvor tilgangen er detaljeret beskrevet i bilag 1). Der anvendes et gennemsnit for dækningsbidragene (DækningsbidragII, DBII), og beregningen er opdateret til at dække årrækken 2013-2018. For afgrøderne kartofler, sædskiftegræs og majs anvendes dækningsbidraget for vandet sandjord på JB 1 og 3. For energiafgrøder (energipil) er dækningsbidraget differentieret mellem høj- og lavbundsjord for at afspejle forskelle i udbytte som følge af vandingsforhold (efter personlig meddelelse, Søren Ugilt Larsen, seniorspecialist, SEGES, 28.08.2018). Data kommer fra farmtalononline (SEGES, 2019).
Udvaskningsestimater, kg N/ha i udgangssituationen	Udvaskningsestimaterne er beregnet per afgrøde, og anvendes til at karakterisere udvaskningen fra markerne i udgangssituationen, inden implementering af virkemidler. Metoden til beregning af udvaskningen for afgrøderne der indgår er beskrevet i Børgesen m.fl. (2009). Metoden er anvendt af BIOS, Silkeborg (<i>nu Ecoscience</i>), og data er leveret fra Ecoscience. N-udvaskningen beregnes ud fra opstillede markparametre ved anvendelse af NLES4 og markkortdata fra 2018. Der foretages en række antagelser ved sammenkobling af GLR dataene for afgrøder på markniveau og gødningsregnskaberne, som indeholder oplysninger om kvælstofforbrug på bedriftsniveau. Der foretages en kobling mellem de to registre for arealer, afgrøder og gødningsforbrug, og gødningen fordeles på landmandens marker. Sammenkoblingen sker ved anvendelse af SE/CVR og interne virksomhedsnumre i GLR. Der foretages en korrektion af gødningsmængderne på landsniveau da der er uoverensstemmelser mellem identifikationsnumre i GLR og gødningsregnskaberne. Fordelingen af bedriftens gødning til de enkelte marker foretages under hensyn til sædskiftet, idet der opstilles et sædskifte for en bedrift ud fra oplysninger om arealanvendelsen på de marker, der er registreret på bedriften i det pågældende år. Tilgangen er beskrevet i Børgesen m.fl. (2009) (s.88): "Sædskiftet er opdelt i tre typer arealanvendelse: 1) marker i omdrift, 2) vedvarende græsmarker og 3) marker med permanent brak". Afgrødefølgen antages med udgangspunkt i typiske sædskifter, fx dyrkes der vinterbyg før vinterraps, vinterhvede efter vinterraps, græsmarker ligger i to år, og græs sås som udlæg i vårbyg.) Gødningstildelingen omfatter summen af total-N i handelsgødning, husdyrgødning anden organisk gødning, afsætning fra dyr på græs og N-fiksering. Beregningen af udvaskningen konverteres til afgrødespecifik udvaskning ligesom i Miljø- og Fødevareministeriet (2017), og herefter implementeres udvaskningsestimaterne i TargetEconN per afgrødekategori ved at linke udvaskningen per afgrøde til de 14 afgrødekategorier i Basemap03 (se Hansen m.fl. 2019). Udvaskningsestimaterne er differentierede mellem: lerjord (JB 5-10) og sandjord (JB 1-4), og andelen af husdyrgødning er specificeret ($< 0,8$ DE/ha eller $\geq 0,8$ DE/ha)*. Beregningen af husdyrtryk (antal Dyreenheder DE/ha) er foretaget ved at beregne det samlede forbrug af husdyrgødning for hver ejendom på grundlag af markoplysningerne, og efterfølgende er DE/ha beregnet for markarealet på ejendommen. Alle ejendommens marker er herefter karakteriseret ved dette DE/ha.

Omkostninger ved at tage jord ud (til brak, vådområder, skov og randzoner) afspejles i modellen ved tabt dækningsbidrag (DB). DB-tabene er beregnet på samme måde som i Virkemiddelkataloget (DBI fra SEGES, 2018) men mens der i Virkemiddelkataloget er beregnet vægtede gennemsnit for typiske sædskifter på hhv. sand og lerjorde så er DB-tabene i TargetEconN differentierede ift. de afgrøder der dyrkes på marken.

Der tages i beregningen af selve DB-tabene ikke hensyn til de omkostninger der er ved knaphed på jord til spredning af gødning som påvirker efterspørgslen efter harmoni-arealer til udspreddning af husdyrgødning, og derved jordprisen. For at tage højde for at der ved høje indsatskrav for kvælstofreduktion kan opstå problemer med at anvende husdyrgødningen på marker i nærheden, er der indregnet en ekstra omkostning til transport af husdyrgødningen. Omkostningen er tilføjet for marker hvor der tilføres husdyrgødning, over 0,8 DE/ha, og kun for virkemidlerne udtagning på høj- og lavbund, vådområder og skovrejsning, da det antages at disse arealer ikke længere kan tilføres husdyrgødning efter omlægning. Den gennemsnitlige omkostning til transport af husdyrgødning for husdyrbedrifter med overskydende gødning er beregnet til 200 kr./ha (varierende mellem 0-750 kr./ha) i forbindelse med virkemiddelarbejdet for kvælstof og fosfor (Eriksen m.fl. 2020, Andersen m.fl. 2020). Beregningen er meget usikker, da den reelle omkostning er afhængig af hvor meget afstanden øges, og om der skal omlastes gødning til lastbil ved afstande på mere end 10 km (Jakobsen, 2017).

2.3.1 Potentialer

Som forudsætning for scenarieberegningerne for kvælstofreduktioner til kystvandoplande, er datagrundlaget opdateret med nye afgrænsninger for kystvandoplande (108 kystvandoplande) samt reduktionsomkostninger og udvaskningseffekter for kvælstofvirkemidler, inklusive spildevands- og overløbsvirkemidler og potentialekort for anvendelse af virkemidlerne. Først trin i denne opgave har været at sikre et datagrundlag fordelt på 108 kystvandoplande (MST, 2021), idet kystvandafrænsningen er ændret fra tidligere 90 kystvandoplande (MST, 2016). Nogle kystvandoplande er de samme som i tidligere analyser og andre er nye oplande (figur 2.2).

Tabel 2.5 beskriver potentialekortene der er anvendt i TargetEconN.

Tabel 2.5 Oversigt over data for potentialer anvendt i TargetEconN.

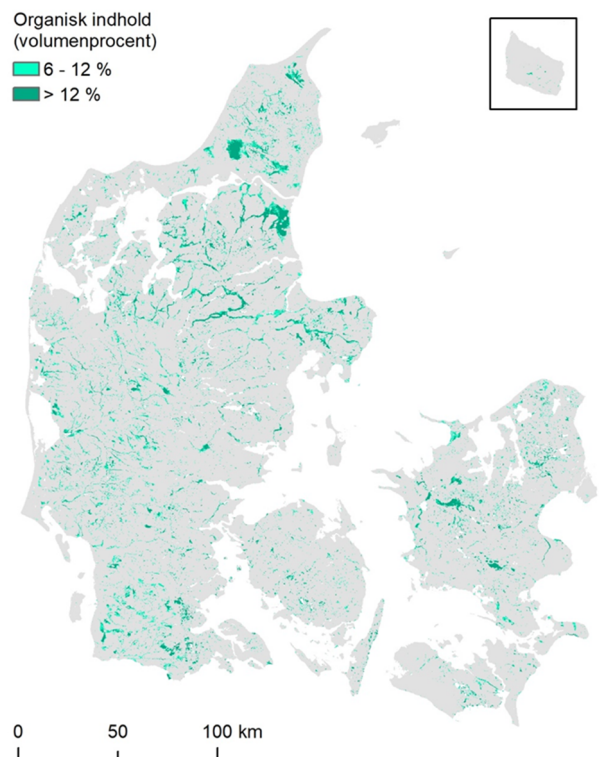
Data	Beskrivelse	Enhed	Kilde
Kystvandoplande, 108	ID og navn, kystvandoplande	ID-nummer	Kort over 108 kystvandoplande, (MST, 2021a).
Landbrugsarealer	Summen af landbrugsarealer i kystvandoplandet. Arealer for alle marker. Undtaget skovrejsning og skov.	Hektar	Marker 2018 fra Basemap03 (Levin, 2019).
Lavbundsarealer, 6-12 pct.	Summen af arealet inden for kystvandoplandet i kulstofklassen 6-12 pct. Arealet er koblet til Basemap03, og angiver areal inden for klassen som er inden for om-drift.	Hektar	Tekstur 2014. Kortet viser arealdækningen af de to kulstofklasser 6-12 pct. og > 12 pct. kulstofholdig jord i hele Danmark (også uden for landbrugsarealet). (Adhikari m.fl., 2014).
Lavbundsarealer, > 12pct.	Summen af arealet inden for kystvandoplandet i kulstofklassen >12 pct. Arealet er koblet til Basemap03, og angiver areal inden for klassen som er inden for om-drift.	Hektar	
Skovrejsning 2017	Summen af arealer med skovrejsningsaftaler i 2017.	Hektar	Tilsagn om aftale. Modtaget fra Miljøstyrelsen.
Skovrejsning 2018	Summen af arealer med skovrejsningsaftaler i 2018.	Hektar	Tilsagn om aftale- Modtaget fra Miljøstyrelsen.
Skovrejsning 2019	Summen af arealer med skovrejsningsaftaler i 2019.	Hektar	Tilsagn om aftale- Modtaget fra Miljøstyrelsen.
Økologisk areal	Summen af arealer inden for kystvandoplandet der er økologisk dyrket i 2018.	Hektar	Kort over økologiske marker 2018 (Landbrugsstyrelsen, 2018).
Ler > 12 pct.	Areal inden for kystvandoplandet der er egnet til anlæg-gelse af minivådområde, 100 pct. "Ler > 12 pct."	Hektar	Institut for Agrosience, Aarhus Universitet og Institut for Bioscience (<i>nu Institut for Ecoscience</i>) Aarhus Universitet (2021)
Ler >12 pct. og opland til lavbund i ådal	Areal inden for kystvandoplandet der er karakteriseret som opland til lavbund i ådal, 10 pct. Egnet.	Hektar	
Ler <12 pct.	Areal inden for kystvandoplandet der er karakteriseret som 10 pct. egnet "Ler <12 pct."	Hektar	
Ler <12 pct. og opland til lavbund i ådal	Areal inden for kystvandoplandet der er karakteriseret som "opland til lavbund i ådal, Ler <12 pct."	Hektar	
Lavbund i ådal	Areal inden for kystvandoplandet der er karakteriseret som "Lavbund i ådal".	Hektar	
Tørlagt og inddæmmet areal	Areal inden for kystvandoplandet der er karakteriseret som "tørlagt, inddæmmet areal".	Hektar	
Drænet, ler <12 pct.)	Areal inden for kystvandoplandet der er karakteriseret som "Drænet, ler <12 pct."	Hektar	
Drænet, ler <12 pct. og opland til lavbund i ådal	Areal inden for kystvandoplandet der er karakteriseret som "Drænet, ler <12 pct. og opland til lavbund i ådal".	Hektar	

2.3.2 Potentialer for N-virkemidler

I dette afsnit præsenteres kortgrundlaget for potentialerne for de forskellige virkemidler der indgår i TargetEconN.

Data for udpegning af lavbund

Lavbundsarealer er udpeget på baggrund af kortgrundlaget Tekstur2014 (figur 2.3).



Figur 2.3 Tekstur 2014-kortet, organisk indhold af jorden.
(Adhikari m.fl., 2014, Miljøministeriet 2021).

Tabel 2.6 giver en oversigt over lavbundsarealer i og udenfor omdrift i Base-map03 databasen, og viser fordelingen af lavbundsarealer mellem områder i og udenfor omdrift. I TargetEconN anvendes ikke lavbundsarealer uden for omdrift, da der i modellen ikke vil tillægges disse arealer en omkostning. Det ses derfor at der 93.188 ha som lavbundspotentiale i TargetEconN, mens det fulde lavbundspotentiale, inkl. arealer udenfor omdrift, udgør 174.666 ha. Potentialitet for udtag af lavbund er yderligere begrænset i TargetEconN til de oplande hvor der er et indsatskrav, da et potentiale i oplande uden indsatskrav formentligt ikke vil blive udnyttet.

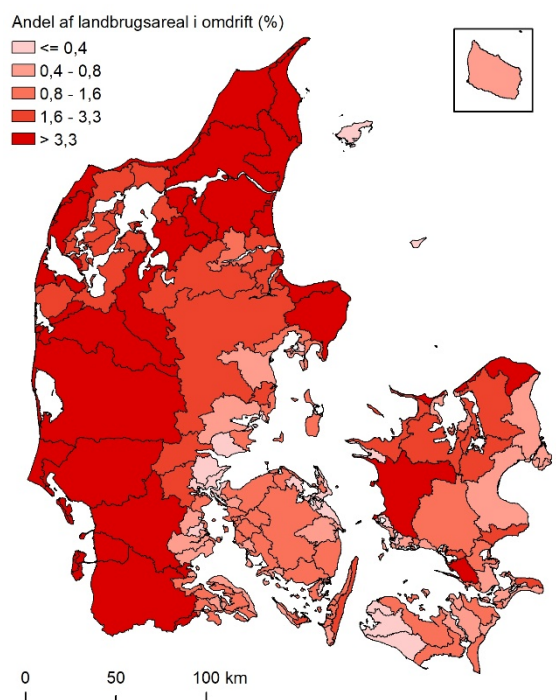
Det kan lade sig gøre at videreudvikle modellen således, at også arealer udenfor omdrift inddrages, men der skal i så tilfælde bestemmes både hvad effekten er på kvælstofreduktionen, samt om det er rimeligt at antage at omkostningen kun omfatter fjernelse af dræn. Der vil ikke være et tab af dækningsbidrag fra disse arealer, så den omkostning kan der ses bort fra. For at kunne beregne omkostningerne fra fjernelse af dræn bør der gøres en antagelse om hvor store dele af arealerne der faktisk er drænede, hvilket der ikke findes et datagrundlag for at bestemme.

Tabel 2.6 Lavbundsarealer og afgrødefordeling i Basemap03 data.

Aggregeret afgrøde kode	Aggregeret afgrøde navn	I omdrift	HA lavbund > 6 pct.organisk indhold	HA ikke lavbund	Ha i alt	Andel lavbund	Andel ikke lavbund
1	Bælgsæd	1	1.905	48.418	50.323	3,8	96,2
2	Blomster i væksthushus	0	6	2.038	2.044	0,3	99,7
3	Energiafgrøde	0	1.625	7.523	9.148	17,8	82,2
4	Foderroer	1	93	4.380	4.473	2,1	97,9
5	Frø til udsæd	1	1.700	100.969	102.669	1,7	98,3
6	Frugt og Bær	0	46	5.530	5.576	0,8	99,2
7	Græs i omdrift	1	23.660	229.430	253.091	9,3	90,7
8	Grøntsager	0	220	12.683	12.904	1,7	98,3
10	Helsæd, vår	1	4.567	36s.763	41.331	11,1	88,9
11	Helsæd, vinter	1	200	3.021	3.221	6,2	93,8
13	Juletræer og pyn-tegrønt	0	237	19.053	19.290	1,2	98,8
14	Læggekartofler	1	183	7.823	8.006	2,3	97,7
15	Majs	1	6.548	182.583	189.130	3,5	96,5
16	other	0	5	62	67	7,8	92,2
17	Skov	0	928	20.399	21.326	4,3	95,7
18	Spisekartofler	1	987	7.965	8.952	11,0	89,0
19	Stivelseskartofler	1	1.407	34.400	35.807	3,9	96,1
20	Sukkerroer	1	199	34.395	34.594	0,6	99,4
21	Udyrket	0	17.068	66.042	83.110	20,5	79,5
22	Vårkorn	1	37.585	802.354	839.939	4,5	95,5
24	Vårraps	1	20	1.097	1.117	1,8	98,2
27	Vedvarende græs	0	58.736	196.729	255.465	23,0	77,0
29	Vinterkorn	1	11.667	569.372	581.039	2,0	98,0
30	Vinterraps	1	2.467	142.194	144.661	1,7	98,3
999	Markblok ukendt	0	2.608	47.457	50.065	5,2	94,8
I omdrift			93.188	2.205.166	2.298.354	4,1	95,9
Ikke i omdrift			81.478	377.516	458.994	17,8	82,2
I alt, ha			174.666	2.582.682	2.757.348	6,3	93,7

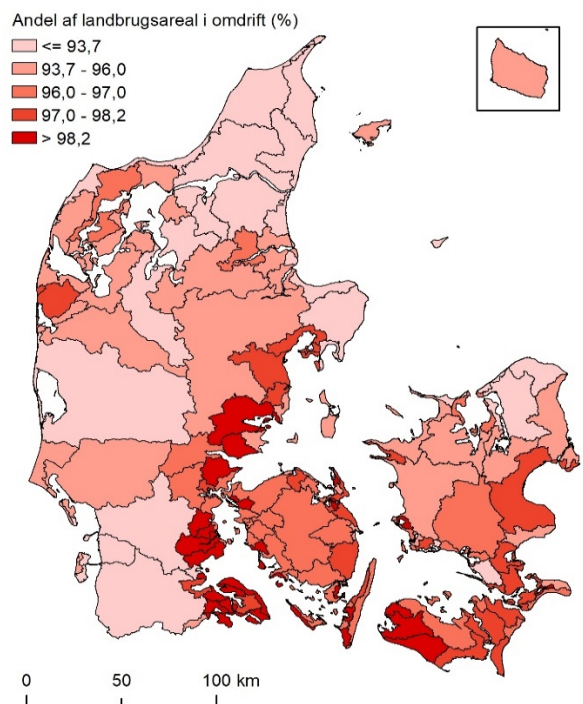
Kortet i figur 2.4 viser andelen af oplandenes omdriftsarealer der har potenti-ale for udtagning af lavbund i VP3.

Kortet viser at oplande i Vest- og Nordjylland samt i de vestlige dele af Sjæl-land har de største potentialer for udtagning af lavbund.



Figur 2.4 Andel af landbrugsareal i omdrift med potentiale for udtagning af lavbundsjord i VP3.

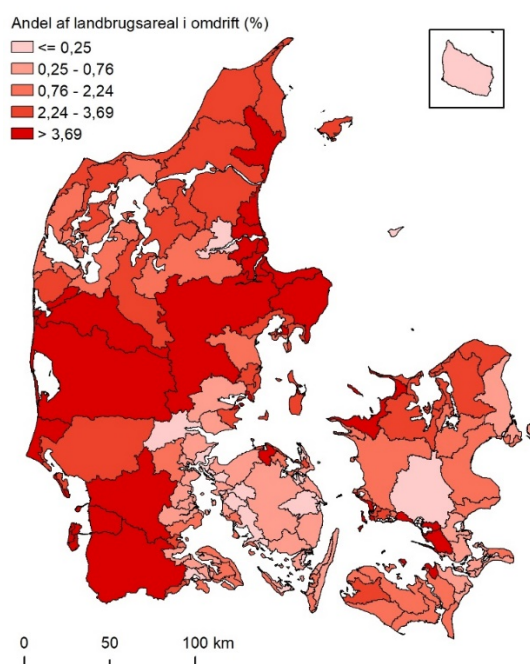
Det ses af kortet i 2.4. at potentialet for udtagning af lavbund er størst i de mørkerøde områder. Det er en ret beskeden andel af landbrugsarealet i hvert opland der er egnet, og at det ikke er store andele af det samlede areal fremgår også at kortgrundlaget Tekstur2014 (figur 2.3) samt tabel 2.6. Til forskel fra Tekstur 2014, der viser arealet af lavbund, viser kortet i figur 2.4 den relative andel af lavbundsarealer ift. landbrugsarealet, men bygger derudover på de samme oplysninger som Tekstur2014 (figur 2.3).



Figur 2.5 Potentialet for udtagning på højbund, som andel af landbrugsarealet i omdrift.

Kortet i figur 2.5 viser potentialet for udtagning på højbund. Det ses at potentialet for udtagning på højbund er stort.

Kortet i figur 2.6 viser potentialet for etablering af vådområder som andel af landbrugsarealet i omdrift.

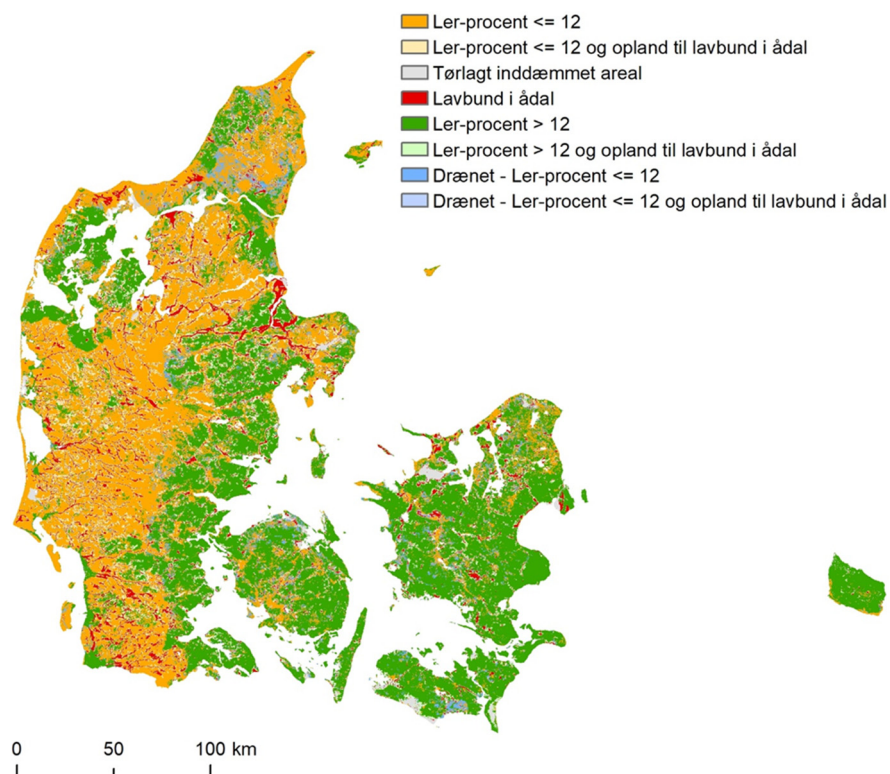


Figur 2.6 Potentialet for vådområder, som andel af landbrugsarealet i omdrift.

Vådområdepotentialet er afgrænset til de røde områder (klasse 5) i kortet i figur 2.7.

Minivådområde-potentiale

Minivådområdekortet, der er udarbejdet af Institut for Agrosience, Aarhus Universitet og Institut for Bioscience (*nu Institut for Ecoscience*) Aarhus Universitet (figur 2.7), er lavet i forbindelse med de seneste udpegninger i forbindelse med tilskud til minivådområder under Landdistriktsprogrammet. For at være egnet, skal området kunne levere en N-reduktion på over 300 Kg N/ha fra det etablerede minivådområde. Klassen, der er markeret med mørkegrøn i tabel 2.7, omfatter jorde med et lerindhold > 12 pct. og er klassificeret som arealer, der kan levere denne effekt. De mørkegrønne arealer er derfor egnede, og det er 100 pct. af arealet, der tæller som potentiale. De lysgrønne og mørkegule områder er potentielt egnede, og 10 pct. af arealerne inden for disse klasser regnes med som potentiale. Farvekoderne på kortet i figur 2.7 er forklaret i signaturforklaringen samt i tabel 2.7.



Figur 2.7 Minivådområdekortet (Landbrugsstyrelsen 2021, MiljøGis).

Tabel 2.7 Minivådområder- klassificering af opland.

Klasse	Beskrivelse	Potentiale i alt (ha)	Andel (pct.)
0	Ikke klassificeret		
1	Ler >12 pct.	1.136.922	100
2	Ler >12 pct. og opland til lavbund	144.389	10
3	Ler <12 pct.	809.968	10
4	Ler <12 pct. og opland til lavbund	227.657	0
5	Lavbund i ådal	167.929	0
6	Tørlagt areal	33.477	0
7	Drænet, Ler <12 pct.	171.995	0
8	Drænet, Ler <12 pct.+ opland	32.586	0

I TargetEconN er der udført beregninger med 100 pct. af det potentielle areal som vist ovenfor som oplandsareal til minivådområder.

Skovrejsning- potentiale

I modellen betragtes skovrejsning som et tiltag på markniveau. I princippet kan skovrejsning anvendes på alt landbrugsjord. Det er imidlertid valgt at begrænse potentialet til et mere realistisk niveau. Den nedenfor beskrevne tilgang blev anvendt til at begrænse potentialet for skovrejsning i modellen.

Data vedrørende kommunernes udpegninger af skovrejsningsområder, både områder udpeget til skovrejsning og områder hvor skovrejsning er uønsket, er undersøgt. I arealinformationsdata på Miljøportalen findes data vedrørende placering af skovrejsningsområder, samt områder hvor skovrejsning er uhensigtsmæssig. Potentialet er sat til de områder, som er udpeget som potentielle skovrejsningsområder. I modellen er der lagt en parameter ind, der

angiver procentdelen af marken, der har skovrejsningspotentiale iht. kommunernes udpegninger (FO_YES(i)), samt en parameter for de arealer hvor skovrejsning er uønsket (FO_NO(i)).

Efterafgrøder

Der er flere kategorier af efterafgrødeordninger, både frivillige og pligtige. Som nævnt i kapitel 1 er der i alt 255.000 hektar obligatoriske efterafgrødearealer, og disse er udtaget af det potentiale, der er tilgængeligt for efterafgrøder i TargetEconN. Beregningerne præsenteres i kapitel 3.

2.3.3 Beregning af sideeffekter

Fosfor

Effekterne for fosfor (P) beregnes som tons P reduceret som følge af implementering af N-virkemidlerne. For P er potentialerne for effekter modelleret ved P-risikokortlægningen (Andersen og Heckrath, 2020), beskrevet i Hasler m.fl. in prep). Fosforeffekterne omfatter makropore-, matrice- og erosionstab, og arealer med risiko for fosfortab ad disse tabsveje er kortlagt. De anvendte effekter fremgår af tabel 2.8.

Tabel 2.8 Oversigt over N-virkemidlernes P-effekt anvendt til sideeffektberegninger. I tabellen er angivet om N-virkemidlet er vurderet til at have en fosforeffekt (ja/nej) samt angivelse af P-effekten (pct.) for de enkelte tabsveje (Erosion, samt makropore og matrice udvaskning og "andet").

N-virkemidler	Ja/nej	P-effekt			
		Erosion	Makropore	Matrix	Andet
Brak	Ja	100 pct.	35 pct.		
Permanent udtagning	Ja	100 pct.	35 pct.		
Brede randzoner	Ja	62 pct.			
10 m 20m		75 pct.			
Skovrejsning	Ja	100 pct.	35 pct.		
Vådområder *	Ja				4,35 kg P/ha/år
Minivådområder(åbne)	Ja		43 pct.	43 pct.	
Efterafgrøder	Nej				
Mellemafgrøder	Nej				
Tidlig såning	Nej				
Reduceret gødningsanvendelse	Nej				

*Type overrisling med drænvand + oversvømmelse med vandløbsvand.

Virkemiddeffekterne for erosion, matrice- og makroporeudvaskning er beregnet på baggrund af Andersen m.fl. (2020) (tabel 1.2, side 17), der har opgivet virkemiddeffekten som en procentvis reduktion af fosfortabet som opgjort i fosfortabskortet (Andersen og Heckrath, 2020) for de forskellige tabsveje. Reduktionseffekterne i Andersen m.fl. (2020, side 17) er opgivet som intervaller, da effekterne varierer mellem områder og desuden er behæftet med usikkerhed. Den specifikke reduktionseffekt inden for intervallerne kendes ikke, og det er derfor valgt at regne med et simpelt gennemsnit af intervallet. Det er dette gennemsnit, der fremgår af tabel 2.8.

For minivådområder er det valgt at anvende 43 pct. reduktionseffekt som gennemsnit (jf. Andersen m.fl., 2020, side 90). For randzoner afhænger effekten af bredden på randzonen. Der er implementeret bredder på hhv. 10 og 20 meter som separate virkemidler, og effekterne er beregnet for begge bredder (jf. Andersen m.fl., 2020, tabel 3.86, side 188).

Det gælder også, at der er forskelle i effekt på tabsveje (markopore, matrix, erosion) mellem virkemidlerne. For nogle virkemidler er der effekter for alle tre tabsveje, jf. tabel 2.8, mens der for andre kun er effekt på en tabsvej. Er der effekter for alle tabsveje, så kan de adderes, men hvis der implementeres 2 virkemidler på samme mark, som begge har effekt på den samme tabsvej, så er det kun effekten af det ene virkemiddel, der medregnes. De ovenfor nævnte kombinationseffekter mellem virkemidler er midlertidig ikke indregnet i nærværende sideeffektberegninger da der antages at der kun benyttes et virkemiddel per mark i N-beregningerne. Kombinationseffekter mellem P-virkemidler er beskrevet i Hasler m.fl. in prep. Tabsvejene og beregningen af tab per mark eller hektar samt hvordan disse beregninger er indarbejdet i TargetEconN_P er beskrevet mere detaljeret i Hasler m.fl. in prep. For alle tabsveje er det fosforrisikokortet der anvendes som grundlag for beregningen af virkemiddeleffekt på tabene (Andersen og Heckrath, 2020). Virkemiddeleffekterne er derfor angivet som procent af den tabsrisiko, der er angivet for marken i fosforrisikokortet. Det er langt fra alle marker der har en risiko for fosfortab, og det er derfor store variationer mellem oplande i hvilken effekt N-virkemidlerne har på P.

Klima

Klimaeffekterne beregnes som CO₂-ækv., og effektberegningerne er taget fra Eriksen m.fl. (2020). For udtagning af lavbund er der regnet med en effekt på 15 tons per ha (Landbrugsstyrelsen, 2020). Tekstur2014 anvendes som grundlag for udpegningen af lavbundsarealer (figur 2.3), og Minivådområdekortet (figur 2.7) som kortgrundlag for udpegningen af de arealer hvor vådområder kan anlægges. For udtagning af lavbund er disse udpegninger i Tekstur2014 foretaget for at klimaeffekten bliver tilstrækkeligt høj.

Nedenstående estimater er anvendt til beregningen af klimasideeffekterne baseret på Landbrugsstyrelsen, 2020:

- Lavbundslande, udtagning: reduktion på 15 tons CO₂-ækv. per hektar
- Kvælstofvådområder: reduktion på 7,7 tons CO₂-ækv. per hektar.

Estimatet af klimaeffekten for vådområder er baseret på Miljøministeries antagelse om et overlap mellem kvælstofvådområder og kulstofrige jorder på 50 pct. hvilket giver 7,7 tons CO₂-ækv. pr. ha pr. år, mens vådområder på rene mineraljorde i henhold til den samme kilde, har en effekt på 0,34 tons CO₂-ækv. per hektar, per år.

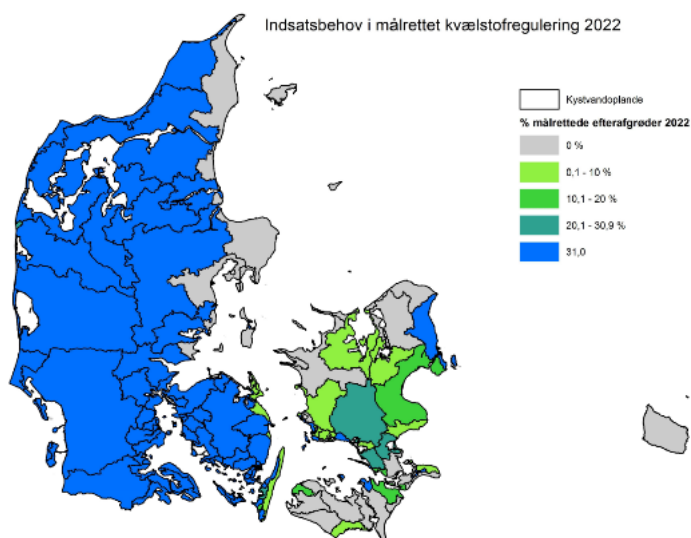
I Termansen m.fl. (under udarbejdelse, publiceres i 2022) er der i et projekt for Miljøministeriet om arealanvendelsesmodellering og økosystemtjenester anvendt differentierede beregninger af effekten på kulstofbinding samt ophør med gødningsanvendelse og dyrkning af afgrøder, målt i CO₂-ækv. effekter for markene som bygger på DCE's emissionsberegninger foretaget for Energistyrelsen. Disse beregninger giver et mere differentieret estimat for effekterne af både vådområder og udtagning af lav- og højbundslande.

For de øvrige virkemidler er der anvendt CO₂-ækv. effekter fra Eriksen m.fl., (2020). Det er også anvendt CO₂-ækv. effekt for udtagning af højbund fra Eriksen m.fl., (2020).

3 Scenarier for opnåelse af indsatskrav

Som nævnt i introduktionen til rapporten er der udført en række scenarieberegninger. Disse omfatter:

1. Omkostningseffektiv placering af obligatoriske efterafgrøder (255.000 ha) og 62 pct. af den forventede implementering af kollektive virkemidler i 2021. Dette er et grundscenarie som begrænser potentialet for efterafgrøder og udtagningsvirkemidler for alle andre scenarier.
2. Hovedscenarie 1) Den mest omkostningseffektive gennemførelse af indsatskravene til de 108 oplande, samt
3. Hovedscenarie 2): Omkostningerne ved en på forhånd fastlagt fordeling på 25 og 75 pct. imellem såkaldt "kollektive" og "målrettede" virkemidler, som Miljøministeriet har fastsat.
4. Beregninger af sideeffekter for fosfor og klima for de to hovedscenarier.
5. Følsomhedscenarier: Følsomhedscenarierne er udført for hovedscenarie 1, dvs. omkostningseffektivitetsscenariet.
 - a. *Additivitet*: Modellen er videreudviklet til at modellere additivitet i minivådområders oplande. Ørum (2020) beskriver denne effekt som en ændring af retentionen som følge af anlæggelse af et minivådområde, hvorved der opnås en mindre effekt ved kysten af de implementerede virkemidler i oplandet til minivådområdet. Dette skyldes at vådområdet øger retentionen. Følsomhedsscenariet viser derfor i hvilket omfang denne "additivitet" nedsætter effekten af de implementerede virkemidler.
 - b. *Følsomhedsanalyse for regulering af efterafgrøder*: Iht. Landbrugsstyrelsen skal den målrettede kvælstofregulering i 2022 sikre en kvælstofindsats på 3.514 tons N, dette svarer til ca. 373.468 ha efterafgrøder. Dette indsatsbehov er fordelt på i alt 69 kystvandoplande iht. kortet i figur 3.1 (Landbrugsstyrelsens udpegning for 2022).



Figur 3.1 Indsatsbehov, målrettede efterafgrøder 2022. Landbrugsstyrelsen, 2021.

- c. Indsatsbehovet er beskrevet for de 69 kystvandoplande, og i scenariet er dette indsatsbehov fastsat som nedre grænse for det målrettede ef-

terafgrødeareal. Dette scenarie er modelleret for at beregne omkostningerne som følge af dette krav sammenlignet med den implementering som modellen foreskriver som den mest omkostningseffektive.

- d. *Følsomhedsscenario for dækningsbidrag*: TargetEconN anvender afgrødespecifikke dækningsbidrag for de indtægtstab der er ved permanent udtag af landbrugsjord på lavbund og højbund, ved kortvarig brak, ved skovrejsning og anlæggelse af vådområder, samt ved plantning af energiafgrøder. Dækningsbidrag II for de afgrøder der er dyrket på marken i perioden 2013-2018 anvendes som mål for de tabte indtægter. Selv om dækningsbidragene i TargetEconN er differentierede efter de afgrøder der dyrkes på marken, er reguleringsgrundlaget sjældent så detaljeret. Det er derfor udført følsomhedsanalyser hvor dækningsbidragene er gennemsnitlige for alle jordtyper og afgrøder på nær højeværdiafgrøder (fx frøgræs, læggekartofler). Forudsætningerne for beregningerne af gennemsnitlige dækningsbidrag er beskrevet i Eriksen m.fl. 2020, bilag 1 (Martinsen m.fl., 2020).

3.1 VP2 - forventede effekter i 2021

Tabel 3.1 viser beregningen af implementeringen af det obligatoriske efterafgrødeareal, samt de kollektive virkemidler (skov, udtagning af lavbund, vådområder og minivådområder) som følge af tidligere vandplaner.

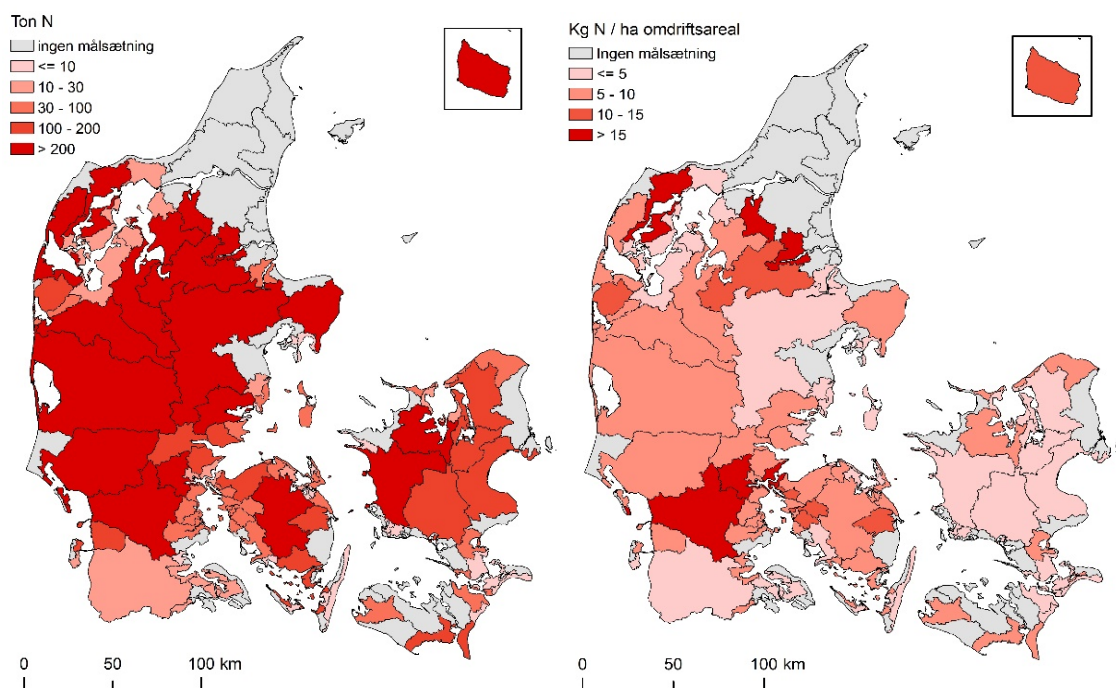
Tabel 3.1 VP2: antaget implementering 2021.

Virkemiddel	Reduceret N, tons	Areal (ha)	Beregnet potentiale tilbage til VP3 (ha)	Kg N/ha
Efterafgrøder	2.420	255.216	675.382	9.5
Energiafgrøder	379	36	1.081.876	10.5
Brak	-	-	2.258.902	
Skovrejsning	53	2.711	411.731	19
Tidlig såning	-	-	179.809	
Udtagning højbund	-	-	2.168.962	
Nedsat gødskning 20 pct.	-	-	2.258.902	
Nedsat gødskning 10 pct.	-	-	2.258.902	
Udtagning lavbund	128	3.193	89.940	40
Randzone 10 m	-	-	62.399	
Randzone 20 m	-	-	112.825	
Vådområder	939	7.261	87.338	129
Minivådområder (effekt beregnet for opland)	246.	52.170	1.231.369	4,7
Total	3.786	320.676		

De viste arealer er fordelt på de 108 kystvandoplande, der benyttes i VP3, og begrænser potentialet for yderligere virkemidler på de anvendte marker. I kolonne 4 er det samlede potentiale der er tilbage som potentiale for VP3 vist. I modellen er det anvendte potentiale trukket ud på markniveau, således at hvis der på en mark er implementeret fx skov eller vådområder eller efterafgrøde, så kan ikke marken bruges igen til virkemiddelplacering.

3.2 Indsatskrav for N

Der er fastsat indsatskrav for N-reduktion til de omtalte 108 oplande, og det totale indsatskrav er på ca. 13.075 tons / år (Miljøministeriet, 2021). Indsatskravene er fordelt på kystvandoplande som vist i kortene i figur 3.2a og b.



Figur 3.2a Indsatskrav fordelt på oplande, tons N.

3.1b Indsatskrav fordelt på oplande, kg N/ha.

Det ses af kortene i figur 3.1a og b at indsatskravet er relativt stort i oplandet til Knude dyb i sydvest-Jylland, mens indsatskravet fordelt på landbrugsareal også er stort i enkelte oplande til Limfjorden.

N indsatskravene er optimeringsmålet i modelleringen, mens der beregnes sideeffekter for fosfor og klima som følge af indsatsen.

3.3 Hovedscenarier

Der er som nævnt fastlagt to hovedscenarier; et hvor fordelingen af indsatsen for at opnå kravene er omkostningseffektivt, og et hvor der er antaget en fordeling mellem kollektive og målrettede virkemiddelindsatser. Denne fordeling er bestilt af Miljøministeriet i forbindelse med projektbeskrivelsen.

Det omkostningseffektive scenarie (scenarie 1) anvender TargetEconN som modelbeskrivelsen foreskriver, mens det fordelte scenarie (scenarie 2) stiller krav om en 25 pct. andel af indsatsen på kollektive virkemidler og 75 pct. på målrettede. I scenariet er denne fordeling anvendt nationalt. Følgende virkemidler indgår som målrettede efterafgrøder, efterafgrøder med sædskifteændringer, normreduktion (10 og 20 pct.), brak, udtagning på højbund, randzoner, mellemafgrøder, energiafgrøder og tidlig såning. Vådområder, skovrejsning, udtag af lavbundslande og minivådområder indgår som kollektive.

Omkostningsresultaterne opgøres i dette kapitel som totale omkostninger, omkostninger per kg N på nationalt niveau (gennemsnit), og omkostninger per ha. Marginalomkostningerne, som er det korrekte mål for omkostnings-

effektivitetsberegningerne, er beregnet per opland, da indsatskravene er specifikke for hvert opland. Marginalomkostningerne findes i Bilag 2 i denne rapport.

3.4 Hovedscenarie 1: Omkostningseffektivt scenarie og resultater

3.4.1 Resultater nationalt niveau

Det omkostningseffektive scenarie har som de øvrige scenarier til formål at opnå indsatskravet på 13.075 tons N nationalt, til de mindste omkostninger, fordelt på de 108 oplande. Der er i dette scenarie anvendt fuldt potentiale for skovrejsning, dvs. at skovrejsningen ikke er begrænset af kommunernes udpegninger af områder, der er ønskede og ikke ønskede til skovrejsning.

Det ses af resultattabellen 3.2 at den totale omkostning i denne omkostningseffektive løsning udgør 530 millioner kroner årligt til en målopfyldelse på 13.014 tons N, dvs. 99 pct. af det samlede indsatskrav på 13.075 tons.

Det er ét kystvandopland som ikke opfylder indsatskravet i dette scenarie; Halkær bredning syd for Limfjorden. I oplandet mangler der at blive reduceret med 60 tons kvælstof for at opfylde indsatskravet (manglen udgør 15 pct.). De fleste virkemidler indgår i løsningen i dette opland, også rensningsanlæg.

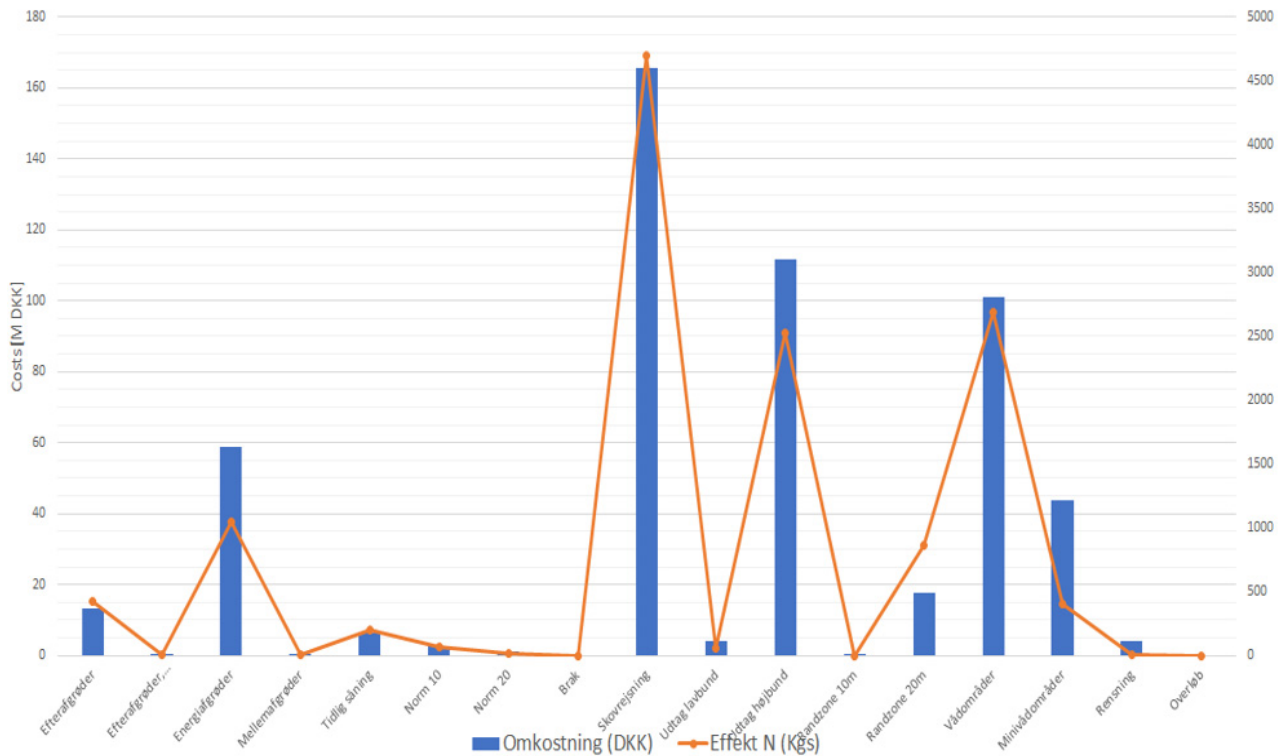
Tabel 3.2 Nationale resultater for hovedscenarie 1, det omkostningseffektive scenarie, indsatskrav 13.075 tons N.

Virkemiddel	Omkostning (1000 DKK)	Effekt (tons)	Areal (ha)	Potentiale (VP3) (ha)	Kr./KgN	KgN/ha
Efterafgrøder	13.430	426	39.703	420.167	32	11
Efterafgrøder, sædskifte	456	5	230	957.885	98	20
Energiafgrøder	58.724	1.042	68.144	1.081.840	56	15
Mellemafgrøder	444	8	1.367	239.494	57	6
Tidlig såning	6.131	205	30.655	179.809	30	7
Norm 10 pct.	2.735	72	61.464	2.258.902	38	1
Norm 20 pct.	1.087	18	6.106	2.258.902	59	3
Skovrejsning	165.478	4.698	174.776	2.255.639	35	11
Udtag lavbund	4149	55	1.380	86.747	75	24
Udtag højbund	111.725	2.523	108.748	2.168.962	44	20
Randzone 10m	10	0	7	62.399	24	40
Randzone 20m	17.634	865	12.684	112.825	20	25
Vådområder	10.1017	2.684	17.835	80.077	38	65
Minivådområder	43.638	405	85.810	1.179.199	108	67
Rensning af spildevand	4.180	8			529	153
Total	530.837	13.014			41	

Af tabellen ses også at udtagning af højbund generelt har en højere omkostning per kg N end mange andre virkemidler, fx efterafgrøder uden sædskifteændringer. På markniveau er der en række marker hvor omkostningerne per kg N for udtagning af højbund er meget lave pga. et lavt dækningsbidrag per ha.

Udtagning af højbundsjord udgør hele 44 pct. af arealet, mens normreduktion (10 pct.) og energiafgrøder optager henholdsvis 10 og 12 pct. af arealet.

Figur 3.3 viser fordelingen mellem virkemidler og den andel de udgør i den omkostningseffektive løsning. De blå kolonner viser de totale omkostninger fordelt på virkemidlerne, mens den orange linje viser effekten på N-tabet, også totalt per virkemiddel.

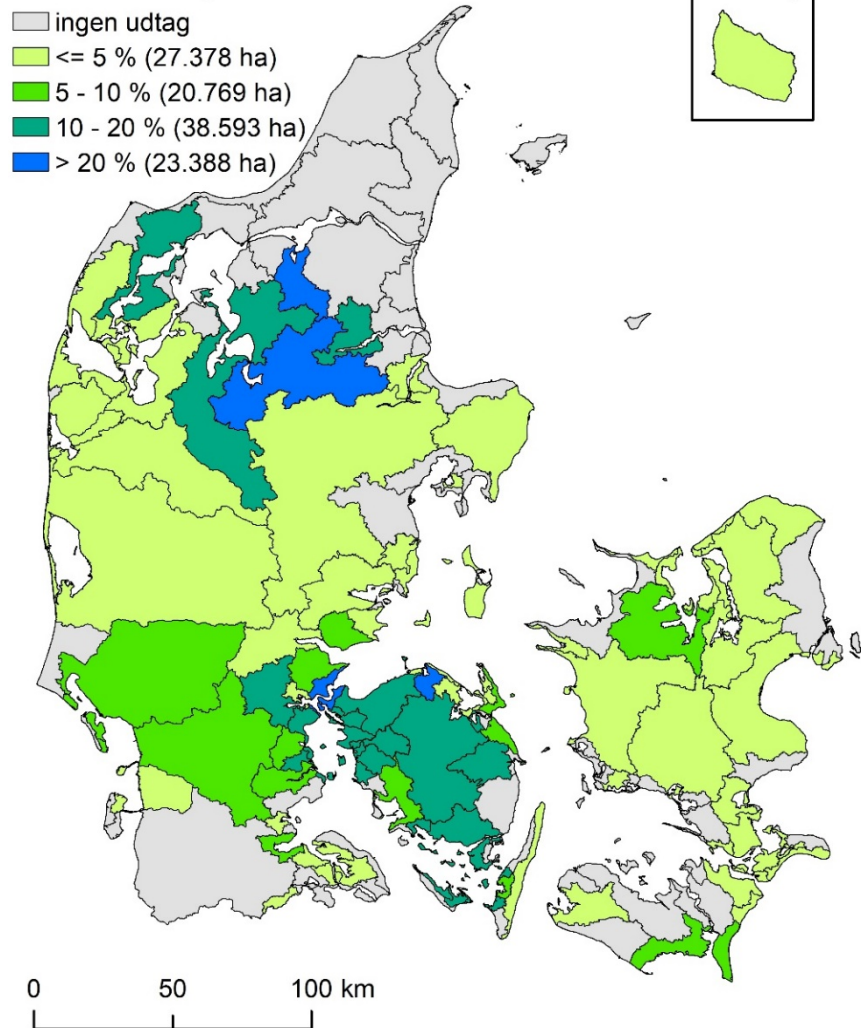


Figur 3.3 Omkostninger og N-effekt per virkemiddel, omkostningseffektiv løsning, TargetEconN.

Figur 3.3 viser at skovrejsning og udtagning af højbund udgør de to største andele af omkostningen, men at vådområder udgør en større andel af N-effekten sammenlignet med udtag på højbund.

Kortet i figur 3.4 viser den andel udtagning udgør i de 108 kystvandoplande, da det er interessant at se, hvor stor en andel af landbrugsarealet indenfor omdrift, der udtages i den omkostningseffektive løsning og hvordan denne andel varierer mellem oplandene. Således ses der, at der er en stor andel udtaget areal i oplandet syd om Limfjorden og på Fyn (over 10 pct. af landbrugsarealet indenfor omdrift), samt i de sydvestlige dele af Jylland.

Andel af landbrugsareal i omdrift

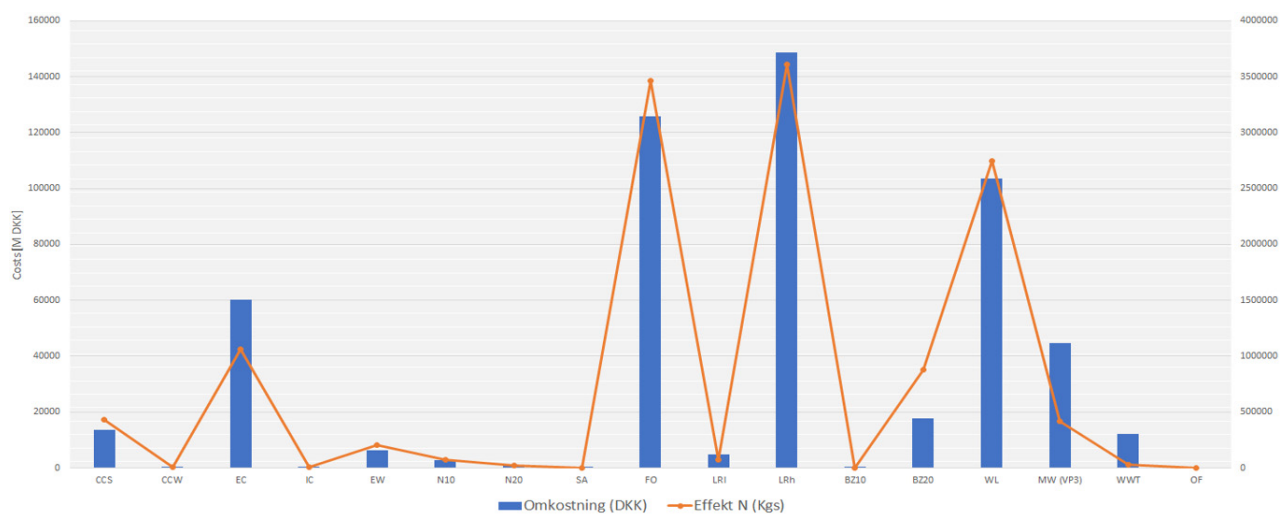


Figur 3.4 Kort over udtagning af lav- og højbund som andel af landbrugsarealet i omdrift, Hovedscenarie 1.

Da der er en meget stor andel af skovrejsning i løsningen til dette scenarie er det valgt at begrænse potentialet for skovrejsning ved at fratrække de områder som kommunerne har udpeget som uønsket til skovrejsning (tidligere omtalt i kapitel 2). Herved reduceres det samlede potentiale for skovrejsning i VP3, og skovrejsningen reduceres med ca. 44.500 hektar (fra 174.776 hektar til 130.250 hektar).

Tabel 3.3 Nationale resultater for hovedscenarie 1, det omkostningseffektivt scenarie med reduceret skovpotentiale (scenarie d) ved indsatskrav på 13.075 tons N.

Virkemiddel	Omkostning (1000 Kr.)	Effekt (tons)	Areal (ha)	Potentiale (VP3) (ha)	Kr./KgN	KgN/ha
Efterafgrøder	13.624	430	40.247	420.167	32	11
Efterafgrøder, sædskifte	516	5	261	957.885	97	20
Energiafgrøder	60.139	1.064	69.243	1.081.840	57	15
Mellemafgrøder	429	7	1.321	239.494	57	6
Tidlig såning	6.158	206	30.792	179.809	30	7
Norm 10	2.744	72	61.655	2.258.902	38	1
Norm 20	1.097	19	6.161	2.258.902	59	3
Brak	45	1	20	2.258.902	44	51
Skovrejsning	125.848	3.460	130.250	1.674.447	36	27
Udtag lavbund	4.837	70	1.750	86.747	69	40
Udtag højbund	148.502	3.607	148.621	2.168.962	41	24
Randzone 10m	13	1	8	62.399	25	66
Randzone 20m	17.808	875	12.854	112.825	20	68
Vådområder	103.542	2.749	18.304	80.077	38	150
Minivådområder	44.679	415	87.910	1.179.199	108	5
Rensning af spildevand	12.098	32			376	
Total	542.078	13.013	609.397		42	



Figur 3.5 Omkostninger og N-effekt per virkemiddel, reduceret skovpotentiale (scenarie d), TargetEconN.

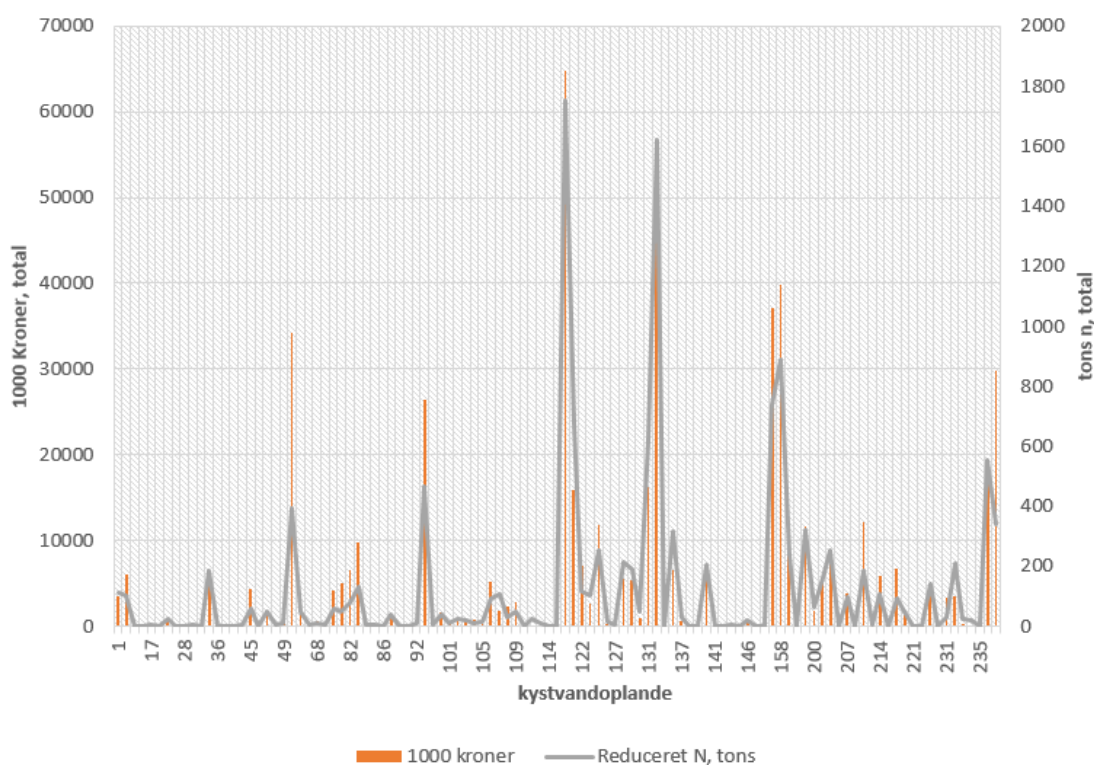
Begrænsningen af potentialet for skovrejsning forhøjer omkostningen fra ca. 530 til 542 millioner årligt, men giver nogenlunde samme målopfyldelse. Fordelingen mellem virkemidler har skiftet fra skovrejsning som det mest dominerende til udtagning på højbund, men der er stadig meget skovrejsning. Dernæst følger vådområder og energiafgrøder. At energiafgrøderne vælges, skyldes at der er regnet med en indtægt for disse for lerjord, jf. Eriksen m.fl. 2020 samt tabel 2.1, og en udgift på sandjorde, i henhold til Eriksen m.fl. 2020. Skovrejsningens relative fordelagtighed i forhold til ren udtagning skyldes også, at der er en lille indtægt efter skovrejsning, iht. Eriksen m.fl. 2020, se tabel 2.1.

3.4.2 Resultater for kystvandoplande, Hovedscenarie 1

Resultaterne for omkostninger for N-indsatskravene i hovedscenarie 1, fuld skovpotentiale, og reduktionseffekter for N er vist for kystvandoplandene i figur 3.6.

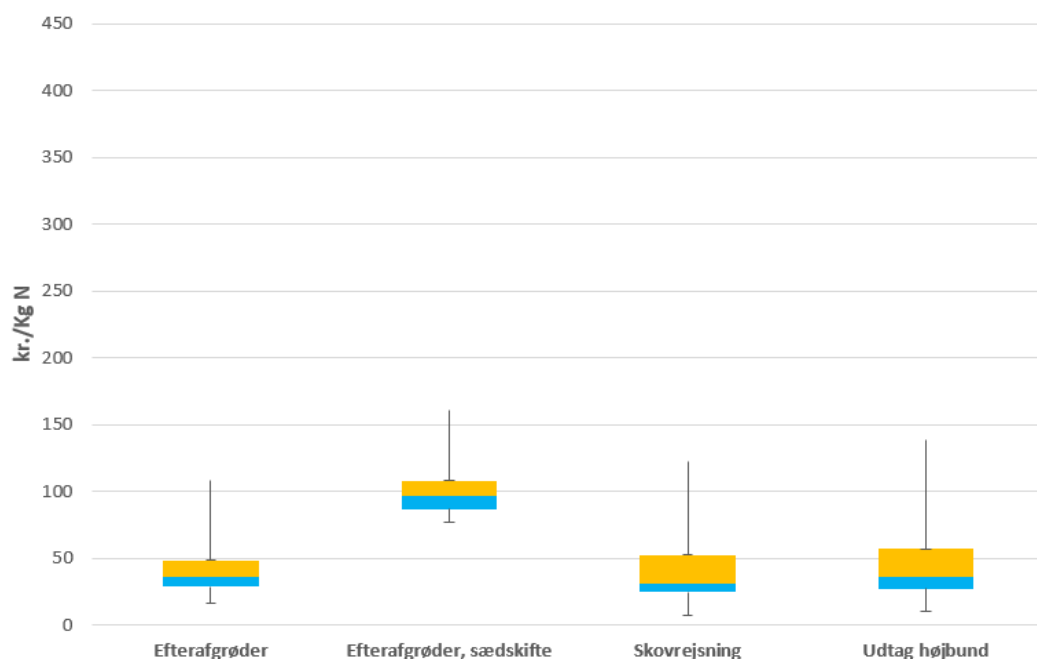
Kystvandoplandenes karakteristika, inkl. navne, nummer, indsatskrav, landbrugsareal, hvilke potentialer der allerede er brugt i VP2, efterafgrødepotentiale for VP3 samt antal dyreenheder er vist i bilag 1.

Som det ses af figur 3.6, er der nogle kystvandoplande der skiller sig ud fra flertallet med hensyn til både omkostninger og N-effekter. Dette gælder især for kystvandoplandene 56 (Østersøen, Bornholm), 93 (Odense Fjord Seden Strand), 120 (Knudedyb), 132 (Ringkøbing Fjord), 157 (Bjørnholms Bugt, Riisgårde Bredning, Skive Fjord og Lovns Bredning), 158 (Hjarbæk Fjord) og 238 (Halkær Bredning) som har høje omkostninger, og for de fleste oplande også høje N-effekter, der modsvarer, at der er høje N-indsatskrav for disse oplande (jf. bilag 1). Omkostninger, effekter og omkostningseffektivitet er vist i tabel-form for hvert opland i bilag 2.



Figur 3.6 Omkostninger og effekter for kystvandoplande, Hovedscenarie 1. Figuren viser 27 kystvandoplande ud af de 108 som illustration.

Da udtagning og skovrejsning dominerer løsningen, og efterafgrødearealet er lille ift. de forventninger der har været fra Miljøministeriets side til implementeringen, så er variationen i omkostningseffektivitet mellem oplande undersøgt yderligere for dette scenarie. Tabel med mere detaljerede opgørelse af data findes i bilag 4.



Figur 3.7 Variation i omkostningseffektivitet for 4 virkemidler, Hovedscenarie 1.

Selv om efterafgrøder i gennemsnit er mere omkostningseffektive end skovrejsning og udtag af højbund, så viser figur 3.7, at variationen i omkostningseffektivitet for virkemidlerne for alle oplande er mindre for efterafgrøder end for skovrejsning og udtag af højbund. De vertikale linjer viser den samlede variation, mens den blå boks viser 2. kvartil og den gule 3. kvartil, dvs. den blå boks viser 50 pct. af variationen, mens den gule viser 75 pct.

Af tabellen i bilag 4, kan det ses per opland hvordan omkostningseffektiviteten for de fire virkemidler varierer, og hvilke af virkemidlerne som ud fra den vurdering er mest favorable og omkostningseffektive inden for hvert opland. Effekten af virkemidlerne er beregnet ved kyst, og omfatter derfor retention. Der ses derfor en stor variation i omkostningseffektivitet også for efterafgrøder, selv om der er mindre variation i både omkostninger og effekt ved rød-zonen for dette virkemiddel sammenlignet med udtag og skovrejsning. For begge disse virkemidler er den anvendte virkemiddeleffekt beregnet på baggrund af udvaskningen fra de afgrøder, der blev dyrket på marken inden omlægning, jf. kapitel 2.

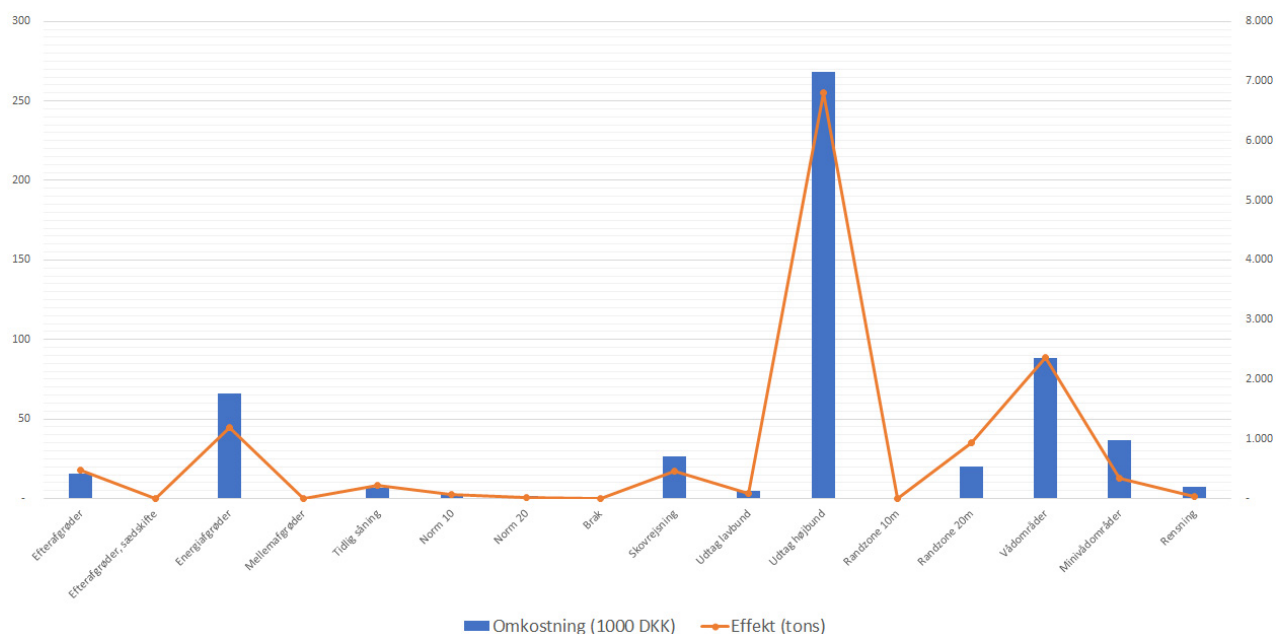
3.5 Hovedscenarie 2)

3.6 Fordelingsscenarie målrettet/kollektivt

Dette scenarie beregner omkostningerne ved en på forhånd fastlagt fordeling imellem såkaldt "kollektive" og "målrettede" virkemidler, som Miljøministeriet har fastsat. Tabel 3.3 viser resultaterne fra scenariet, hvor der er 75 pct. målrettede og 25 pct. kollektive virkemidler implementeret på nationalt niveau. Målrettede virkemidler omfatter: Efterafgrøder, efterafgrøder med sædskifteændringer, energiafgrøder, mellemafgrøder, tidlig såning, normreduktioner, brak, udtagning af højbund, samt rensningsanlæg. Kollektive virkemidler omfatter skovrejsning, minivådområder, vådområder og udtagning af lavbund.

Tabel 3.4 Nationale resultater for hovedscenarie 2, 75 pct. målrettet/25 pct. kollektivt scenarie ved indsatskrav på 13.075 tons N.

Virkemiddel	Omkostning (1000 DKK)	Effekt (tons)	Areal (ha)	Potentiale (VP3) (ha)	DKK/KgN	Reduceret N/Area (KgN/ha)
Efterafgrøder	15.890	481	46.692	420.167	33	10.296
Efterafgrøder, sædskifte	574	6	290	957.885	98	20.121
Energiafgrøder	66.077	1.183	77.280	1.081.840	56	15.306
Mellemafgrøder	479	8	1.474	239.494	57	5.689
Tidlig såning	6.548	215	32.740	179.809	30	6.576
Norm 10	2.830	74	63.602	2.258.902	38	1.160
Norm 20	1.338	22	7.514	2.258.902	61	2.905
Brak	5	0	2	2.258.902	104	23.500
Skovrejsning	26.242	460	23.315	2.255.639	57	19.724
Udtag lavbund	4.996	79	1.963	86.747	64	40.004
Udtag højbund	268.225	6.800	269.989	2.168.962	39	25.187
Randzone 10m	15	1	11	62.399	21	65.091
Randzone 20m	19.913	930	13.906	112.825	21	66.857
Vådområder	88.584	2.373	15.534	80.077	37	152.732
Minivådområder	36.513	339	71.800	1.179.199	108	4.720
Rensning af spildevand	7.300	31			236	
Total	545.528	13.000			42	

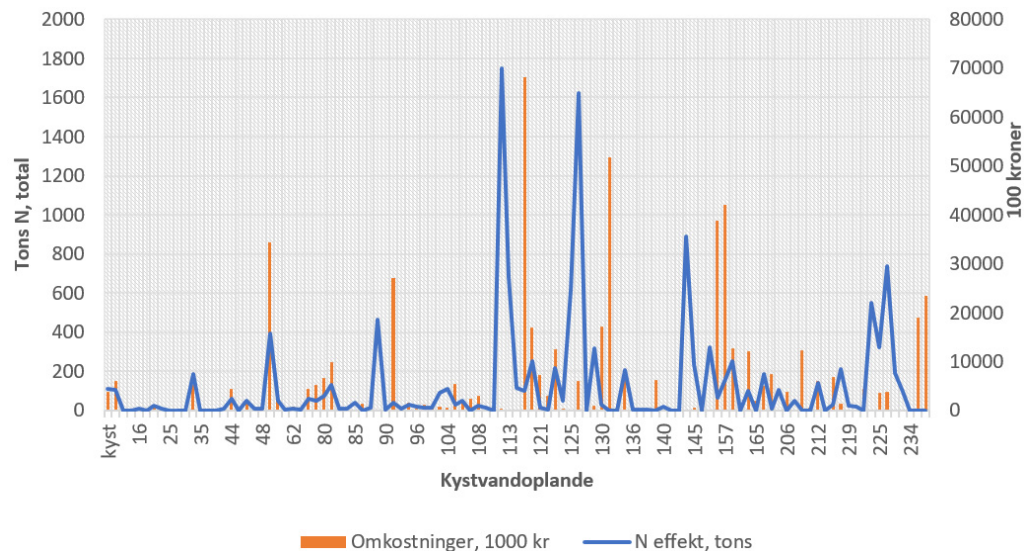


Figur 3.8 Omkostninger og N-effekt per virkemiddel, 75/25 målrettet-kollektivt scenarie. 13075 tons N.

Samlet set for alle oplande er det dominans af udtagning på højbund som virkemiddel. Virkemidlet udgør 49 pct. af omkostningen og 52 pct. af effekten, mens energiafgrøder og efterafgrøder begge er langt mindre både for omkostning og effekt. Dette resultat skyldes at der kan findes marker med meget lave dækningsbidragstab, som derfor udtages.

Det er derfor interessant at se på, hvordan den omfattende udtagning fordeler sig mellem oplande, og hvor stor andel af oplandene, der er udtaget.

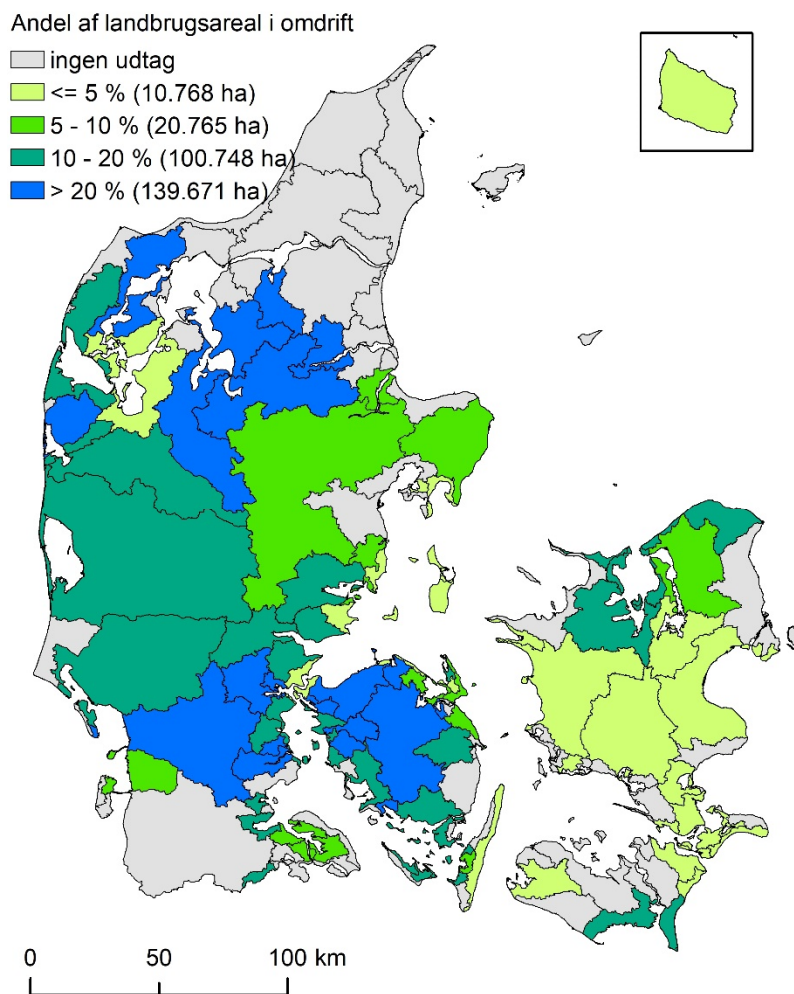
3.6.1 Resultater fordelt på kystvandomplande



Figur 3.9 Omkostninger og N-effekter fordelt på Kystvandomplande, Hovedscenarie 2, 75/25 pct. fordeling.

Figur 3.9 viser effekt (vertikal akse til venstre) og omkostninger (vertikal akse, til højre) for Hovedscenarie 2, 75 pct./25 pct. målrette/kollektivt. Det er også i dette scenarie opland 56 (Østersøen, Bornholm), opland 93 (Odense, Seden Strand), 120 (Knudedyb), 132 (Ringkøbing Fjord), 157 (Bjørnholms Bugt, Riisgårde Bredning, Skive fjord og Lovns Bredning), 158 (Hjarbæk Fjord), 236 (Thisted Bredning) og 238 (Halkær Bredning) der har de største udsving ift. omkostninger og også effekter, grundet høje indsatskrav.

Af kortet i figur 3.10 ses det, at der også i dette scenarie er oplande syd om Limfjorden, oplande på Fyn samt Sønderjylland der er mest udsat for udtagning. Disse oplande har en udtagningsandel ift. landbrugsarealer indenfor omdrift, som er over 10 pct. af arealet. Vestjylland har også en forholdsvis stor andel udtagning.



Figur 3.10 Udtagning af højbund og lavbundsjord som andel af landbrugsarealet i omdrift i hovedscenarie 2, 75/25 pct. scenarie.

I dette scenarie er der også kun et opland, som ikke når i mål, og det er Halkær bredning, som er opland til Limfjorden. Der er en manko på 74 tons ud af et indsatskrav på 398 tons / år, dvs. et gab på ca. 19 pct. jf. bilag 1 og 2.

Samlet vurderet er der ikke meget stor forskel på de to scenarier, hvilket skyldes, at udtag på højbund er et af de målrettede virkemidler i denne opgørelse af 75 pct. målrettede virkemidler. I følsomhedsanalyserne vurderer vi derfor et scenarie for implementering af Landbrugsstyrelsens forventninger til målrettede efterafgrøder i 2022, fordelt på 69 oplande.

3.7 Sideeffekter

Sideeffekter er beregnet for fosfor og klima, hvor effekter for klima er opgivet som CO₂-ækv. For begge sideeffekter er det beregnet effekter for kystvandoplande, og for fosfor kan disse også opgøres for søoplande. Effekter for søoplande er ikke vist her, men grundige analyser for fosforreduktioner i søoplande vil blive publiceret i Hasler m.fl. (in prep).

Tabel 3.5 Nationale resultater forsideeffekter for klima, Scenarie 1, det omkostningseffektive scenarie og Scenarie 2, 25/75 kollektivt/målrettet, ved indsatskrav på 13.075 tons N.

Virkemidler	Klimaeffekt, CO ₂ -ækv. kg/ha	Hovedscenarie1, tons CO ₂ -ækv.	Hovedscenarie 2, tons CO ₂ -ækv.
Efterafgrøder	946*, 1.011**, 903***, 966****	37.537	44.163
Energiafgrøder	1.470	100.172	113.602
Brak	2.580	-	5
Skovrejsning	13.500	2.359.476	314.753
Tidlig såning	37	1.134	1.211
Mellemafgrøder	427	584	629
Udtagning højbund	2.170	235.983	585.876
Nedsat gødsning 20 pct.	105	6.454	6.678
Nedsat gødsning 10 pct.	105	641	789
Udtagning lavbund	15.000	20.700	29.445
Randzone 10 m	1.600	11	18
Randzone 20 m	1.600	20.294	22.250
Vådområder	7.700	137.330	119.612
Minivådområder (opland)	16	1.373	1.149
Total		2.921.689	1.240.179

--*Jordtype sand, <0,8 dyreenheder (de) per ha, ** Jordtype sand, > 0,8 d dyreenheder per ha.

*** Jordtype ler, < 0,8 dyreenheder per ha; **** Jordtype ler, >0,8 dyreenheder pr ha.

Klimaeffekten er mere en dobbelt så store fra det omkostningseffektive scenarie pga. den større andel skovrejsning, idet den store andel permanent udtagning på højbund ikke giver tilsvarende klimaeffekt (tabel 3.5).

For fosforsideeffekterne ses også, at den største effekt fås fra implementeringen af det omkostningseffektive scenarie, idet dette scenarie har større andel af skovrejsning og vådområder (tabel 3.6) som har god fosforeffekt.

Tabel 3.6 Nationale resultater for fosforsideeffekter, hovedscenarie 1 og 2 ved indsatskrav på 13.075 tons N.

Virkemiddel	Hovedscenarie 1, tons P	Hovedscenarie 2, tons P
Brak	-	-
Skovrejsning	4	0,427
Udtagning lavbund	-	-
Udtagning højbund	2,8	6
Vådområde	78	68
Randzone 10m	0	0
Randzone 20m	1	1
Minivådområde	2,6	2
Rensning af spildevand	8,6	8,6
Total	97	86

Mens de samlede resultater er 97 tons P for scenarie 1, og 86 for scenarie 2, så er effekten målt kun på søerne i P modelleringen (VP2 søer) hhv. 26 og 22 tons P.

3.8 Følsomhedsanalyser

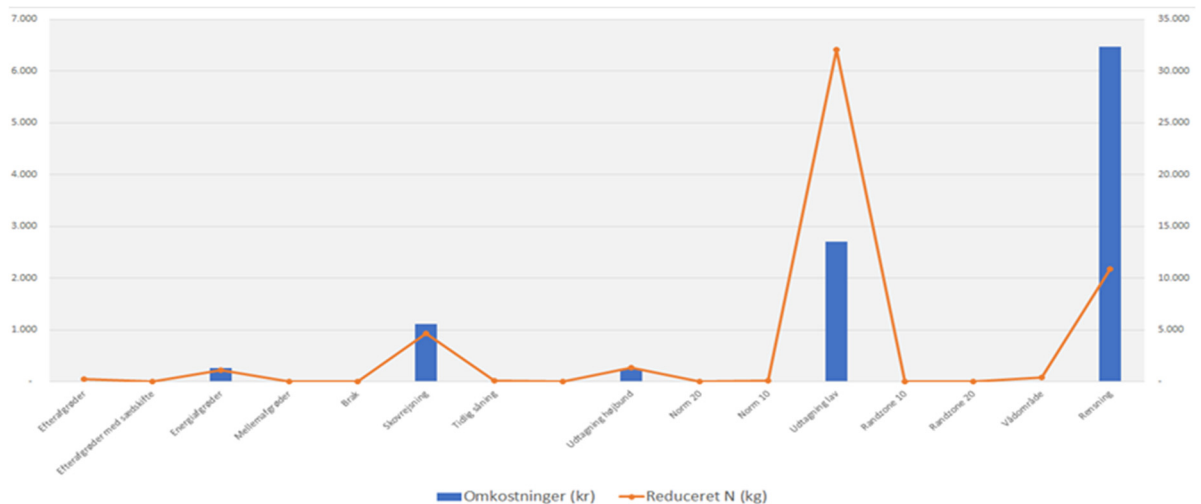
3.8.1 Additivitet-scenarie (a)

Som nævnt, er 'additivitet' forsøgt indregnet for at tage højde for at implementering af et virkemiddel kan reducere effekten af andre virkemidler i oplandet. Denne problemstilling er implementeret i et følsomhedsscenario for oplande til minivådområder, hvor det på baggrund af Ørum (2020) antages at effekten af fladevirkemidler implementeret i disse oplande får en reduceret effekt på N-udledningen til kyst (åkant). Der er i disse scenarier i henhold til Ørum (2020) regnet med en reduktion på 25 pct. af den oprindelige effekt anvendt i de øvrige scenarier, dvs. at effekten af fladevirkemidler i disse oplande får reduceret effekten med 25 pct. Det vil igen sige at denne reducerede effekt kommer til at mangle ift. opfyldelse af indsatskravene i vandoplandene.

På baggrund af resultaterne fra omkostningseffektivitetsberegningerne vist i Hovedscenarie 1 (tabel 3.2) er det beregnet, at en 25 pct. reduktion i effekterne af fladevirkemidlerne resulterer i, at der mangler 58 tons N-effekt for at nå indsatskravene, fordelt på vandoplandene. Det er derfor målet i additivitetsmodelleringen af opnå disse 58 tons. Resultatet er således en opgørelse af de yderligere omkostninger, der er ved at opnå de manglende tons N som følge af de reducerede effekter samt også ændringer i målopfyldelse af indsatskravene for oplande og totalt. Resultaterne i tabel 3.7 viser dels at det vil koste ekstra 10 millioner kroner, og dels at der stadig mangler 7 tons i effekt (gap), idet der opnås 51 tons. Det fremgår endvidere at i disse beregninger kommer både udtagning af lavbund og rensningsanlæg ind i løsningen, se tabel 3.7 og figur 3.8.

Tabel 3.7 Nationale resultater for Scenarie a. Additivitets-effekter ved antagelse om 25 pct. mindre effekt af fladevirkemidler i oplande til minivådområder, ved indsatskrav på 13.075 tons N.

Virkemiddel	Omkostning (1000 kr.)	Effekt (kg)	Areal (ha)	Potentiale(VP3) (ha)	Kr./KgN	KgN/ha
Efterafgrøder	15.410	229	40	380.464	67	6
Efterafgrøder, sædskifte	943	7	1	957.656	135	943
Energiafgrøder	262.691	1.157	78	551.108	227	15
Mellemafgrøder	2.224	18	7	238.126	124	3
Brak	0	0	0	2.258.902		
Skovrejsning	1.115.932	4.706	444	2.080.863	237	11
Tidlig såning	4.460	88	22	149.154	51	4
Udtag højbund	245.312	1.331	110	2.060.215	184	12
Norm 20	816	3	5	2.252.797	272	1
Norm 10	4.916	75	110	2.197.438	66	1
Udtagning lavbund	2.704.527	32.061	802	85.367	84	40
Randzone10	0	0	0	62.392		
Randzone 20	0	0	0	100.140		
Vådområde	13.932	412	2	62.242	34	206
Rensning af spildevand	6472.453	10.858			596	
Total	10.843.616	50.945			213	



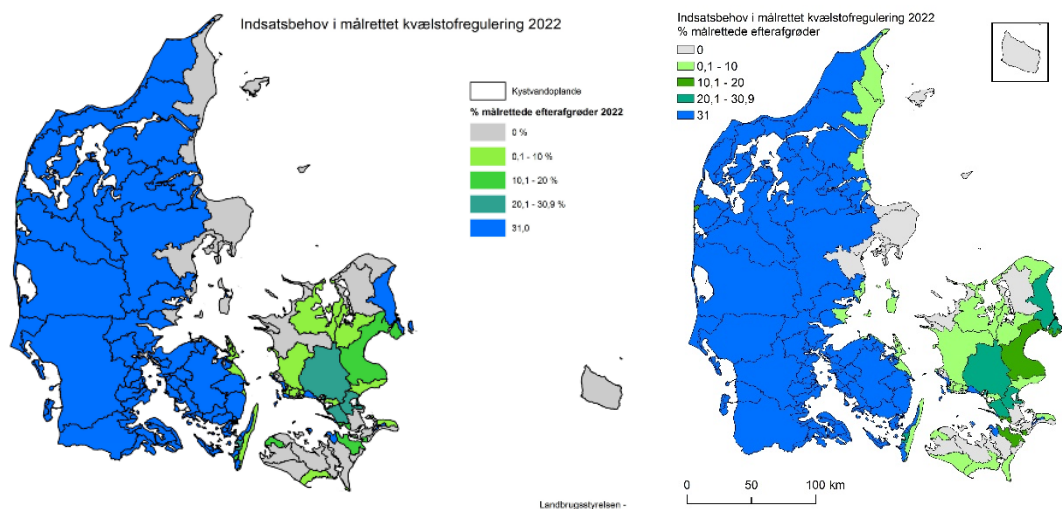
Figur 3.8 Ekstra omkostninger for at opnå reducerede effekter som følge af miniområdernes effekt på fladevirkemidler i oplande.

Af figur 3.8 fremgår det at der etableres udtagning på lavbund, skovrejsning og ekstra rensning af spildevand. Det ses, at mens effekten af spildevand er forholdsvis lav ift. omkostningerne, har udtagning på lavbund omvendt en højere effekt relativt til omkostningerne. Det ses også af tabellen, at omkostningseffektiviteten af udtagning af lavbund (84 kr./kgN) på nationalt niveau i gennemsnit er langt end rensning af spildevand (596 kr./kgN). Den ekstra spildevandsrensning implementeres i oplandene til Odense fjord, på Bornholm og i oplandet til Lillebælt. Manglende målopfyldelse ses især på Bornholm, Gamborg fjord og i Abor Minde Nor (bilag 1 og 2).

3.8.2 Måltrettet efterafgrødeareal implementeret i 69 kystoplande – scenarie b

Da hovedscenarie 2 for måltrettede/kollektive virkemidler (75/25 pct. scenariet) resulterer i en langt mindre andel efterafgrøder end det planerne for den måltrettede regulering lægger op til, så er der medtaget et scenarie, hvor der i TargetEconN er krævet, at der opnås et efterafgrødeareal som svarer til arealet for måltrettet regulering (MR) i 69 kystoplande i henhold til Landbrugsstyrelsens mål for 2022 (Landbrugsstyrelsen, 2021).

Kortet i figur 3.9a og b viser henholdsvis de oplande for måltrettet regulering ved efterafgrøder fra Landbrugsstyrelsen, som er udpeget i kortgrundlaget for de 90 oplande, som var gældende for VP2. Vi har indarbejdet oplandene i TargetEconN for 108 oplande.



Figur 3.9a og b Kort over indsatsbehov for målrette regulering 2022. a) landbrugsstyrelsens opgørelse baseret på 90 oplande b) Kort over nærværende implementering af indsatsbehovet fordelt på 108 kystvandoplande.

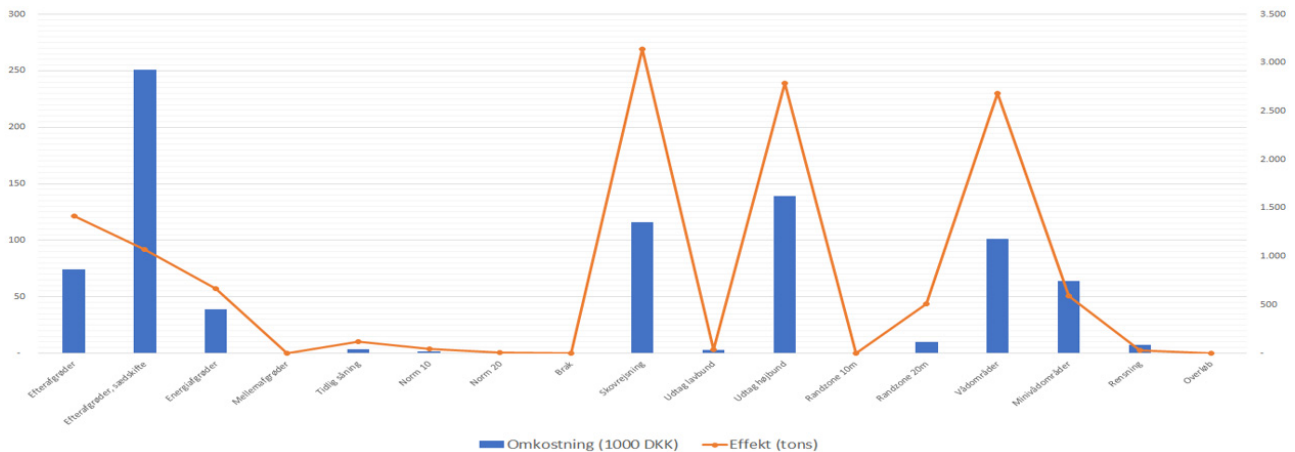
Der ses en mindre forskel mellem de to opgørelser da 3.9.a er lavet for 90 oplande, og i 3.9b er opgørelsen for de 90 oplande omregnet til de 108 kystvandoplande der indgår i VP3, og som indsatskravene er specificeret for.

Som beskrevet i scenarieoversigten er dette scenarie for indsatsbehovet specificeret for målrettede efterafgrøder i 2022 (Landbrugsstyrelsen, 2021) medtaget for at kunne vurdere omkostninger og implementering ved indarbejdelse af disse krav om efterafgrøder i de 69 kystvandoplande.

Tabel 3.8 Nationale resultater for omkostningseffektiv implementering af 13.075 tons N ved krav om målrettede efterafgrøder (2022 mål) i 69 vandoplande scenarie c).

Virkemiddel	Omkostning (1000 Kr.)	Effekt (tons)	Areal (ha)	Potentiale (VP3) (ha)	Kr./kg N	Kg N/ha
Efterafgrøder	74.161	1.420	204.558	420.167	52	7
Efterafgrøder, sædskifte	250.697	1.074	106.645	957.885	234	10
Energiafgrøder	38.930	666	41.000	1081.840	58	16
Mellemafgrøder	145	3	445	239.494	56	6
Tidlig såning	3.395	118	16.975	179.809	29	7
Norm 10	1.581	42	35.522	2.258.902	38	1
Norm 20	602	11	3.383	2.258.902	57	3
Brak	0	0	0	2.258.902		
Skovrejsning	116.051	3.139	98.476	2.255.639	37	32
Udtag lavbund	2.856	35	879	86.747	81	40
Udtag højbund	139.218	2.789	122.492	2.168.962	50	23
Randzone 10m	9	0	6	62.399	22	66
Randzone 20m	10.275	512	7.030	112.825	20	73
Vådområder	101.115	2.682	17.831	80.077	38	150
Minivådområder	63.931	592	125.320	1.179.199	108	5
Rensning	7.289	31			236	
Total	810.253	13.112			52	

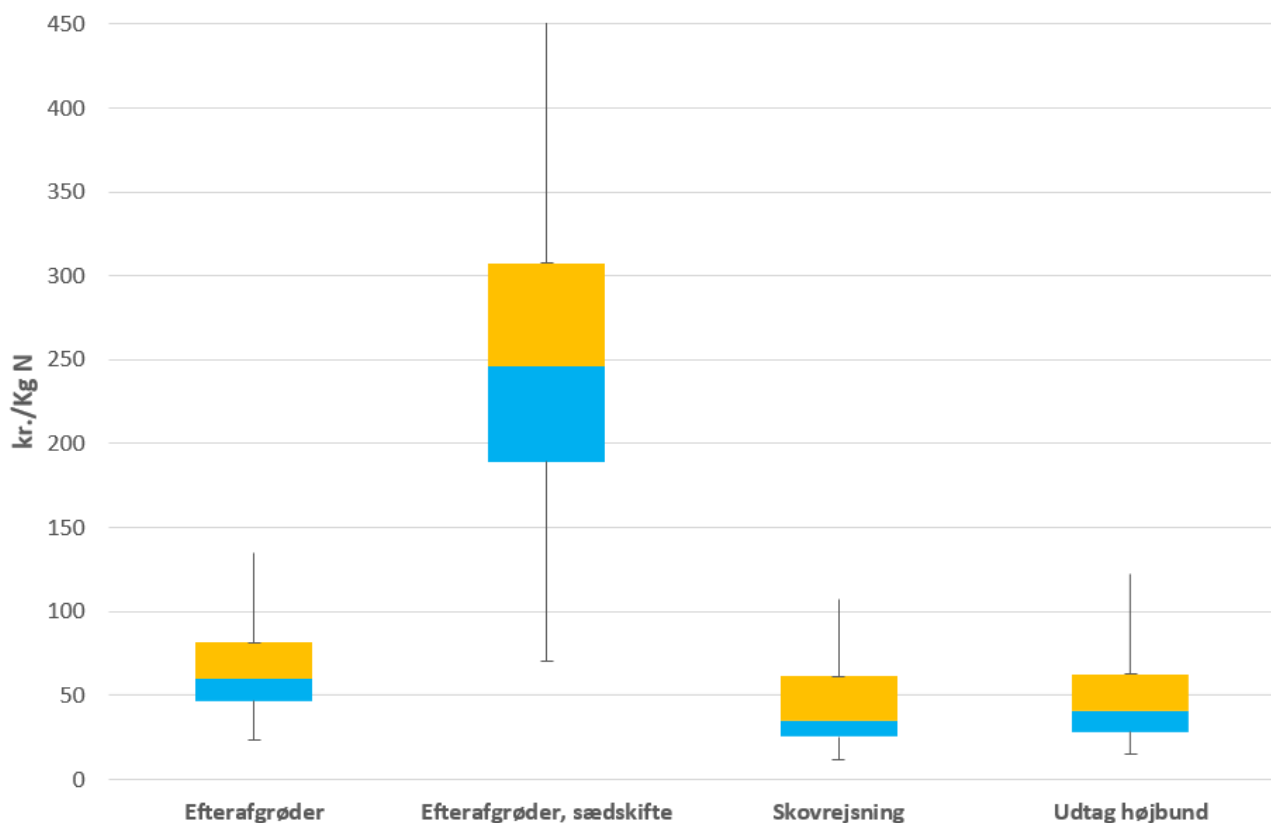
Disse resultater viser bl.a. at efterafgrødearealet i denne beregning stiger til ca. 320.000 hektar, sammenlignet med 40.000 hektar i det omkostningseffektive hovedscenarie 1 (tabel 3.2).



Figur 3.10 Omkostninger og effekt per virkemiddel, målrettet efterafgrødescenarie b.

Omkostningerne ved at implementere dette scenarie hvor der kræves efterafgrøder i de 69 vandoplande som målsat er beregnet til ca. 818 millioner kroner årligt da der herved ikke findes de mest omkostningseffektive løsninger i hvert vandopland, hvilket kan være ønskeligt for at undgå den store udtagning. Det medfører, at den gennemsnitlige reduktionsomkostning stiger fra 41 kr./kg N til 52 kr./kg N, og målopfyldelsen af indsatskravene stiger fra 13.014 tons til 13.112, dvs., målsætningen opnås i alle vandoplande.

Figur 3.11 viser variationen i omkostningseffektivitet mellem kystvandoplande for virkemidlerne efterafgrøder, udtagning og skovrejsning. Det ses også for dette scenarie, at der er en stor andel af kystvandoplandene, der har lavere omkostninger per kg N for skovrejsning og udtagning, end for efterafgrøder. Men efterafgrøder vælges i dette scenarie fordi det er et krav i modellen for dette scenarie.



Figur 3.11 Variation i omkostninger, omkostningseffektiv løsning med efterafgrødekrav (scenarie b), målrettet regulering 2022.

3.8.3 Gennemsnitligt dækningsbidrag (scenarie c)

Modellen er kørt med gennemsnitlige dækningsbidrag for alle afgrøder, på nær højbærdafrøder som læggekartofler, frøgræs mv. Hermed fås en lavere grad af differentiering af indsatsen end ved markspecifikke omkostninger, da omkostningen ved tabte indtægter fra arealerne er ens i dette scenarie. Det er valgt at køre modellen med disse forudsætninger for at kunne bedømme, hvad dette betyder for omkostningerne, valg af virkemidler samt målopfyldelsen.

Tabel 3.9 Nationale resultater gennemsnitligt dækningsbidrag scenarie b, ved indsatskrav på 13.075 tons N.

Virkemiddel	Omkostning (1000 kr.)	Effekt (tons)	Areal (ha)	Potentiale (VP3) (ha)	Kr./KgN	KgN/ha
Efterafgrøder	24.485	739	71.893	420.167	33	10
Efterafgrøder, sædskifte	514	5	260	957.885	95	21
Energiafgrøder	52.440	2.953	215.546	1.081.840	18	14
Mellemafgrøder	251	4	773	239.494	61	5
Tidlig såning	2.394	68	11.969	179.809	35	6
Norm 10 pct	367	8	8.246	2.258.902	44	1
Norm 20 pct.	73	1	412	2.258.902	58	3
Skovrejsning	175.932	3.067	89.385	2.255.639	57	34
Udtag lavbund	3.638	49	1.223	86.747	74	40
Udtag højbund	116.516	1.648	56.460	2.168.962	71	29
Randzone 10m	31	1	16	62.399	27	70
Randzone 20m	24.163	885	12.615	112.825	27	70
Vådområder	129.167	3.331	23.392	80.077	39	142
Minivådområder	26.337	243	51.510	1.179.199	108	5
Rensning af spildevand	8.989	9			980	
Total	565.297	13.014			43	

Sammenlignet med den omkostningseffektive løsning (scenarie 1) i tabel 3.2, stiger omkostningen med 35 millioner, og der opnås den samme målopfyldelse.

4 Konklusion og diskussion

Der er udført scenarieberegninger af en omkostningseffektiv opfyldelse af det samlede indsatsbehov på ca. 13075 tons N for vandområdeplan 2021-2027 (VP3), og denne indsats omfatter også en videreført indsats på ca. 3.500 tons N fra VP2. Der er i modelleringen taget højde for at potentialet for efterafgrøder og kollektive virkemidler (udtagning af lavbund, vådområder og skovrejsning) reduceres som følge af denne implementering for at nå de tidligere fastsatte indsatskrav i VP2.

I modelleringen indgår en lang række virkemidler, både såkaldte målrettede virkemidler og ”kollektive” virkemidler, og indarbejdelsen af virkemidlerne bygger på arbejderne i virkemiddelkatalogerne samt de nyeste basisanalyser for Vandrammedirektivet således at datagrundlaget for beregningerne er helt opdateret ift. det vidensgrundlag som er gældende. Der er i rapporten gjort rede for dette opdaterede datagrundlag, idet alle lag er opdaterede siden dokumentationen af modellen i Hansen m.fl. (2019).

Der er udført to hoved (eller grund) scenarier; et hvor der søges at beregne en omkostningseffektiv sammensætning og placering af virkemidler uden hensyn til en ønskelig sammensætning af virkemiddeltyper, fordelingseffekter mv. Der er til sammenligning også udført scenarieberegninger for en sammensætning af virkemidler, hvor 75 pct. af indsatskravets opfyldes med målrettede virkemidler, og de resterende 25 pct. med kollektive. Det er kun en mindre forskel i omkostningerne ved de to scenarier, idet den omkostningseffektive løsning koster 510 millioner / 41 kr. / kg N, mens den fordelte løsning koster 545 millioner kroner og reduktionsomkostningen stiger til 42 kr. / kg N.

Marginalomkostningerne er beregnet for hovedscenarie 1 for oplandene (Bilag 2), og disse varierer mellem 8 og 4931 kr. / kg N. Den høje omkostning per kg N er i opland med spildevandsrensning, og da denne omkostning er usikker, fås et interval mellem 8 - og 288 kr. / kg N hvis det meget høje niveau for det ene opland udelades.

Sammensætningen af virkemidler i de to scenarier er forskellig, i det scenariet med 75 pct. målrettede virkemidler domineres af udtagning af højbund, mens skovrejsning dominerer sammen med udtagning af højbund i det omkostningseffektive scenarie. Denne forskel giver sig udslag i de klimasideeffekter der opnås fra scenarierne, som reduceres markant fra 2.921.689 tons CO₂-ækv. til 1.240.179 tons. Der sker også en reduktion i fosforsideeffekterne fra 97 tons fosfor til 86.

Scenarieløsningernes dominans af udtagning gør sig især gældende i oplandene syd for Limfjorden, på Fyn og Sønderjylland, samt i et vidst omfang i Vestjylland.

Der er udført en række følsomhedsanalyser for at undersøge usikkerhederne ved antagelserne der er anlagt i beregningerne i hovedscenarierne.

Vi har fokuseret på hvad betydningen er af reduceret effekt for fladevirkemidler i oplande til minivådområder. Dette er vigtigt, da vi antager at der kun kan være et virkemiddel per mark, og additivetsberegningen er et for-

søg på at bløde op på denne antagelse for oplande til minivådområder. Beregninger viser, at omkostningerne stiger når denne additivitet indregnes, ligesom der tages andre virkemidler i brug, herunder rensning i nogle få oplande. Reduktionsomkostningen for rensning er dog meget højere end for de øvrige virkemidler, og at disse virkemidler medtages skyldes, at der er pres på i disse oplande for at nå målsætningerne, samtidigt som det er mulighed for at forbedre rensningsgraden ved anlæggene.

Dernæst belyser forskellen mellem differentierede og markspecifikke omkostninger per hektar, at denne antagelse har mindre betydning for løsningen end antaget. Effekten af at ændre dækningsbidragene fra markspecifikke beregninger til gennemsnitlige dækningsbidrag medfører at modellen ikke differentierer løsninger i samme grad og at de derfor bliver noget dyrere. Til den samme målopfyldelse stiger omkostningen til 565 millioner kroner, og reduktionsomkostning dermed til 43 kr./kg N.

Der er også udført beregninger for de målsatte efterafgrødearealer, og omkostningen stiger markant herved med 310-330 millioner kroner til 818 millioner kroner ved denne ændring i forudsætningerne, og virkemiddelanvendelsen ændres. Der opnås også en fuld målopfyldelse ved dette scenarie.

Alle scenarier er beregnet for de 108 kystvandoplande, og analyserne på oplandsniveau viser for alle scenarier, at årsagen til den store favorisering af udtagning på højbund og skovrejsning skyldes lave omkostninger til disse virkemidler i en del oplande (jf. bilag 2 og 3). Efterafgrøder bliver derfor ikke valgt i løsninger, men i følsomhedsscenariet for krav om efterafgrøder svarende til de målsatte efterafgrøder for 2022 indgår der flere efterafgrøder i løsningen, og omkostningerne stiger. Favoriseringen af udtagning og skovrejsning skyldes, at der er marker med lave dækningsbidrag for perioden 2013 til 2018, og omkostningerne ved at tage disse ud af drift er derfor tilsvarende lave, da der ikke er indregnet nogen form for landbrugsstøtte i beregningerne. Der er indlagt en ekstra omkostning til transport af husdyrgødning på 200 kr. per hektar for at tage højde for de ekstra transportomkostninger ved høj udtagning, men der er derudover ikke beregnet tilpasningsomkostninger for husdyrproduktionen.

Referencer

Aarhus Universitet, Institut for Agrosience og Institut for Bioscience (*nu Institut for Ecoscience*), 2021: Nyt potentialekort til minivådområdeordningen, af Christen Duus Børgesen, Mogens H. Greve, Eva O. Bach, Gasper Laurent Sechu, Ane Kjeldgaard, Carl Christian Hoffmann. Modtaget fra Institut for Bioscience, Aarhus Universitet (*nu Institut for Ecoscience, Aarhus Universitet*) i maj 2021.

Aarhus Universitet, Institut for Bioscience (nu Institut for Ecoscience) 2020: Gødningsdata leveret af Hans Estrup Andersen.

Adhikari, K., Hartemink, A.E., Minasny, B., Bou Kheir, R., Greve, M.B. & Greve, M.H., 2014: Digital Mapping of Soil Organic Carbon Contents and Stocks in Denmark, PLoS One 9(8), e105519. Tilgængelig via: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0105519>

Andersen, H.E., Rubæk, G.H., Hasler, B. & Jacobsen, B.H. (redaktører) 2020: Virkemidler til reduktion af fosforbelastningen af vandmiljøet. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 284 s. - Videnskabelig rapport nr. 379. Tilgængelig via: <https://dce2.au.dk/pub/SR379.pdf>

Andersen, H.E. & Heckrath, G. (redaktører). 2020: Fosforkortlægning af dyrkningsjord og vandområder i Danmark. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 338 s. - Videnskabelig rapport nr. 397. Tilgængelig via: <http://dce2.au.dk/pub/SR397.pdf>

Blicher-Mathiesen, G. & Kjeldgaard, A. 2021: Potentiale for efterafgrøder i 2018 fordelt på Vandplan III oplande. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 11 s. – Teknisk notat nr. 2021 | 76. Tilgængelig via: https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater_2021/N2021_76.pdf

Børgesen, C.D., Kristensen, I.T. & Grant, R., 2009: Landbrugsregisterdata anvendt i regionale og landsdækkende beregninger af N og P tab. i CD Børgesen, J Waagepetersen, TM Iversen, R Grant, BH Jacobsen & S Elmholt (red), Midtvejsevaluering af vandmiljøplan III: Hoved- og baggrundsnotater. bind 142, Aarhus Universitet, Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, DJF Rapport Markbrug, nr. 142, s. 77-96. Tilgængelig via: <http://www.agrsci.dk/djfpublikation/index.asp?action=show&id=1072>

Eriksen, J., Thomsen, I.K., Hoffmann, C.C., Hasler, B. & Jacobsen, B.H. 2020: Virkemidler til reduktion af kvælstofbelastningen af vandmiljøet. Aarhus Universitet. DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. 452 s. – DCA rapport nr. 174. Tilgængelig via: <https://dcapub.au.dk/djfpdf/DCArapport174.pdf>

Filippelli, R., Termansen, M., Hasler, B., Timmermann, K. & Petersen, J.K., 2020: Cost-effectiveness of mussel farming as a water quality improvement measure: Agricultural, environmental and market drivers. Water Resources and Economics, 32, 100168. Tilgængelig via: <https://doi.org/10.1016/j.wre.2020.100168>

Filippelli, R., 2022: Integrated Environmental-Economic Modelling for Policy Support: Non-point source pollution from agriculture in Denmark. PhD thesis. Aarhus University.

Finansministeriet, 2019: Dokumentationsnotat om opgørelse af nettoafgiftsfaktoren. Tilgængelig via:

<https://fm.dk/media/10196/dokumentationsnotat-om-opgoerelse-af-netto-afgiftsfaktoren.pdf>

Gyldenkerne, S. & Greve, M.H., 2015: For bestemmelse af drivhusgasudledning ved udtagning/ekstensivering af landbrugsjorder på kulstofrige lavbundsjorder. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 47 s. - Teknisk rapport fra DCE -Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 56. Tilgængelig via: <http://dce2.au.dk/pub/TR56.pdf>

Hansen, L.B., Konrad, M., Hasler, B., Jacobsen, B.H. & Ørum J.E., 2019: Vandplanlægning: Økonomisk analysegrundlag for vandområdeplaner. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 71 s. - Teknisk rapport nr. 155. Tilgængelig via: <https://dce2.au.dk/pub/TR155.pdf>

Hasler, B., Hansen, L.B., Andersen, H.E. & Konrad, M., 2015. Modellering af omkostningseffektive reduktioner af kvælstoftilførslerne til Limfjorden: Dokumentation af model og resultater. Aarhus University, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi.

Hasler, B., Hansen, L.B., Andersen, H.E. & Termansen, M., 2019: Cost-effective abatement of non-point source nitrogen emissions: The effects of uncertainty in retention. Journal of Environmental Management, bind 246, pp. 909-919. Tilgængelig via: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.140>

Hasler B., Filippelli R., Levin G., Andersen H.E., Hecrath G., Martinsen, in prep. Økonomiske analyser til brug for Vandområdeplanerne 2021-2027 – fosfor. Dokumentation for indarbejdelse af fosfor i TargetEconN. Aarhus Universitet, DCE. Teknisk rapport

Hasler, B. & 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, 56 s. - Videnskabelig rapport nr. 503. Tilgængelig via: <http://dce2.au.dk/pub/SR503.pdf>

Hasler, B., Hansen, L.B., Andersen, H.E. & Konrad, M., 2015: Modellering af omkostningseffektive reduktioner af kvælstoftilførslerne til Limfjorden: Dokumentation af model og resultater. Aarhus University, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi.

Hasler, B., Hansen, L.B., Andersen, H.E. & Termansen, M., 2019: Cost-effective abatement of non-point source nitrogen emissions: The effects of uncertainty in retention. Journal of Environmental Management, bind 246, s. 909-919. Tilgængelig via: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.140>

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. & Pedersen, B.F. 2021: National kvælstofmodel – version 2020, Metode rapport. De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland. GEUS Specialrapport.

Jacobsen, B.H., 2022: Økonomiske konsekvensberegninger af scenarier for vandområdeplaner 2021-2027 med brug af SMART-modellen, 73 s., IFRO Udredning Nr. 2022/03.

Konrad, M.T., Andersen, H.E., Thodsen, H., Termansen, M. & Hasler, B., 2014: Cost-efficient reductions in nutrient loads; identifying optimal spatially specific policy measures. *Water Resources and Economics* 7, pp. 39-54.

Konrad, M.T., Andersen, H.E., Gyldenkerne, S. & Termansen, M., 2017: Synergies and trade-offs in spatially targeted water quality and climate change mitigation policies. *Land Economics*, bind 93, nr. 2, pp 309-327. Tilgængelig via: <https://muse.jhu.edu/article/653020>

Konrad, M., Hansen, L.B., Levin, G., Blicher-Mathiesen, G., Andersen, H.E., Martinsen, L. & Hasler, B., 2022: Targeted regulation of nitrogen loads: A national, cross-sectoral analysis. *Ecological Economics*, bind 193, 107278. Tilgængelig via: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107278>

Landbrugsstyrelsen, 2014-2017: Markkort 2014 – 2017. Hentet på <https://kortdata.fvm.dk/download/>

Landbrugsstyrelsen, 2018: Kort over økologiske marker 2018. Hentet på <https://kortdata.fvm.dk/download/>

Landbrugsstyrelsen, 2019: Kort over 2 meter dyrkningsfrie bræmmer. Modtaget i januar 2019.

Landbrugsstyrelsen, 2020: Minivådområder. Tilgængelig via: <http://lbst.dk/landbrug/natur-og-miljoe/minivaadomraader>

Landbrugsstyrelsen, 2021: Indsatsbehovet i målrettet regulering 2022. Tilgængelig via: www.lbst.dk

Larsen, P. & Balslev Sørensen, M., (editors) 1996: Geografiske data hos Afdeling for Arealanvendelse. Lavbund og okker. SP rapport nr. 6, april 1996. Statens Planteavlsforsøg, Forskningscenter Foulum.

Larsen, Søren Ugilt (pers. komm) August 2018.

Levin, G., 2019: Basemap03. Technical documentation of the method for elaboration of a land-use and land-cover map for Denmark. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 86 pp. Technical Report No. 159. Tilgængelig via: <https://dce2.au.dk/pub/TR159.pdf>

Martinsen, L., Pedersen M.F., Jacobsen B.H. & Hasler B. 2020: Beregning af indkomsttab ved arealvirkemidler – metodisk tilgang, justeringer og underliggende antagelser. Bilag 1. I: Eriksen, J., Thomsen, I.K., Hoffmann, C.C., Hasler, B. & Jacobsen, B.H. 2020. Virkemidler til reduktion af kvælstof-belastningen af vandmiljøet. Aarhus Universitet. DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. 452 s. – DCA rapport nr. 174. Tilgængelig via: <https://dcapub.au.dk/djfpdf/DCArapport174.pdf>

Miljø- og Fødevareministeriet, 2012-2017: Markkort 2012 – 2017.

Miljø- og Fødevareministeriet, 2016: Vandområdeplan 2015-2021. Miljø og Fødevareministeriet. Styrelsen for Vand- og Naturforvaltning. København. Tilgængelig via: <https://mst.dk/natur-vand/vandmiljoe/vandomraadeplaner/>

Miljø- og Fødevareministeriet, 2017: Derogation Report 2017. Danish Report in accordance with the Commissions Decisions 2005/294/EC, 2008/664/EC, 2012/659/EU and 2017/847/EU. Ministry of Environment and Food, Denmark. December 2017. Miljø- og Fødevareudvalget 2017-18. MOF Alm. del Bilag 175 Offentlig.

Miljøministeriet, 2021: Forslag til vandområdeplaner 2021-27. December 2021.

Miljøstyrelsen 2017: Udarbejdelse af spildevandsindsatsprogrammer til reduktion af kvælstofbelastningen i 4 spildevandsbelastede kystvand-oplande. Styrelsen for Vand- og Naturforvaltning/Miljøstyrelsen Tilgængelig via: <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2017/cowi.pdf>

Miljøstyrelsen, 2021a: Kystvandoplande med indsatskrav, modtaget fra Miljøstyrelsen i august 2021.

Miljøstyrelsen, 2021b: Kort over udpegninger af fosforådale. Modtaget fra Miljøstyrelsen i marts 2021.

Miljøstyrelsen (2021c). Hvordan kan udtagning af lavbund indgå i de økonomiske modelberegninger til VP3? Notat. 27.5.2021. Miljøstyrelsen.

Miljøstyrelsen/COWI, 2019: Virkemidler over for punktkilder. Tilgængelig via: <https://mst.dk/media/181851/virkemidler-over-for-punktkilder.pdf>

Motarjemi, S., Møller, A.B., Plauborg, F. & Iversen, B.V., 2019: Predicting tile drainage discharge using machine learning algorithms (in prep.).

SDFE, 2021: Danmarks Digitale Højdemodel. Hentet på kortforsyningen i maj 2021.

SVANA 2017: Udarbejdelse af spildevandsindsatsprogrammer til reduktion af kvælstofbelastningen i 4 spildevandsbelastede kystvandoplande. Cowi, project no. A091533. Tilgængelig via: <https://mst.dk/media/128655/76-cowi-spildevandsrapport-april-2017.pdf>

Termansen, M., Hasler, B., Levin, G., Filippelli, R., Lundhede, T.H., Strange, N., Nainggolan, D., Bladt, J. & Zandersen, M (in prep): National Arealforvaltningsmodel for vand, klima og biodiversitet. IFRO Udredning.

Ørum, J.E., Jacobsen, B.H. & Thomsen, I.K., 2018: Beregning af støttesats til målrettet regulering 2021, 10 s., IFRO Udredning, Nr. 2018/19.

Ørum, J.E., Lund Jensen, J., Thomsen, I.K. & Knudsen, L., 2019: Optimal kvælstoftildeling til korn: responsfunktioner og metode til produktions-økonomisk analyse af Landsforsøgene med kvælstoftildeling til vinterhvede og vårbyg samt kvalitetssikring af Normudvalgets indstillinger. Institut for Fødevarer- og Ressourceøkonomi, Københavns Universitet. IFRO Rapport, Nr. 281.

Ørum, J.E., 2020: Kombineret effekt af dræn- og fladevirkemidler - en generel ligning til beregning af effekten af kombinerede kvælstofvirkemidler. Bilag 4. . I: Eriksen, J., Thomsen, I. K., Hoffmann, C. C., Hasler, B., Jacobsen, B. H. 2020. Virkemidler til reduktion af kvælstofbelastningen af vandmiljøet. Aarhus Universitet. DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. 452 s. – DCA rapport nr. 174. Tilgængelig via:
<https://dcapub.au.dk/difpdf/DCArapport174.pdf>

Bilag 1-4

Bilag 1 Oversigt over de 108 kystvandoplande

Bilag 2 Resultater for de 108 kystvandoplande

Bilag 3 Resultater fordelt på kystvandoplande

Bilag 4 Tabelbilag med detaljer for de 108 kystvandoplande

4.1 Bilag 1 Oversigt over de 108 kystvandoplande

Bilag 1A. Oversigt over kystvandoplande, navne og karakteristika.

Kyst nr.	Navn	Indsatskrav tons N	Landbrugsareal ha	VP2 brugt	Efterafgrøde- potentiale for VP3	Dyre- enheder
1	Roskilde Fjord, ydre	112	32.417	2.182	16.055	4.477
2	Roskilde Fjord, indre	104	27.501	2.003	16.326	6.242
6	Nordlige Øresund	-	9.937	340	2.670	498
16	Korsør Nor	-	1.983	128	1.346	658
17	Basnæs Nor	6	3.717	304	2.557	1.071
18	Holsteinborg Nor	-	1.231	225	553	713
24	Isefjord, ydre	23	6.399	636	3.121	1.770
29	Kalundborg Fjord	7	3.387	207	2.132	1.451
25	Skælskør Fjord og Nor	0	1.703	278	834	202
28	Sejerø Bugt	-	17.661	1.264	9.031	8.626
34	Smålandsfarvandet, syd	-	31.003	2.922	16.659	8.951
35	Karrebæk Fjord	184	70.915	7.351	42.371	23.581
36	Dybsø Fjord	-	3.325	381	1.839	710
37	Avnø Fjord	-	10.341	886	5.537	2.816
38	Guldborgsund	-	18.116	1.457	10.023	6.877
44	Hjelm Bugt	7	7.602	538	4.118	3.139
45	Grønsund	61	13.980	1.199	7.187	5.330
46	Fakse Bugt	-	14.886	1.431	9.241	4.278
47	Præstø Fjord	51	10.138	1.047	5.120	3.195
48	Stege Bugt	6	14.536	1.413	6.861	5.259
49	Stege Nor	9	1.394	110	890	412
56	Østersøen, Bornholm	394	35.823	3.466	20.996	32.315
59	Nærá Strand	51	5.980	729	3.707	4.547
62	Lillestrand	3	1.189	138	714	520
68	Lindelse Nor	10	2.619	345	1.548	1.428
72	Kløven	6	2.136	202	1.069	1.093
74	Bredningen	61	6.676	579	3.893	5.226
80	Gamborg Fjord	49	3.916	405	2.160	4.675
82	Aborg Minde Nor	76	6.524	782	4.022	6.293
83	Holckenhavn Fjord	131	15.433	1.675	8.888	10.539
84	Kerteminde Fjord	7	1.400	114	920	984
85	Kertinge Nor	6	1.221	217	706	702
87	Helnæs Bugt	40	12.476	1.358	6.254	9.180
90	Langelandssund	-	19.720	2.551	10.097	15.741
92	Odense Fjord, ydre	12	5.256	695	2.725	3.129
93	Odense Fjord, Seden Strand	464	60.483	7.273	33.320	42.839
95	Storebælt, SV	4	9.971	1.136	5.746	4.892
96	Storebælt, NV	38	8.023	949	4.889	4.578
101	Genner Bugt	10	2.332	256	668	1.824
102	Åbenrå Fjord	27	4.220	407	2.233	3.190
103	Als Fjord	18	8.092	948	5.761	9.068
104	Als Sund	11	3.239	346	2.320	3.354

105	Augustenborg Fjord	15	6.375	645	4.417	5.235
106	Haderslev Fjord	90	12.312	1.196	7.344	10.686
107	Juvre Dyb	108	20.913	1.957	5.799	21.453
108	Avnø Vig	31	3.460	524	2.352	2.949
109	Hejlsminde Nor	47	8.347	884	5.831	6.522
110	Nybøl Nor	-	3.561	353	2.395	3.732
111	Lister Dyb	25	121.645	9.399	43.658	127.057
113	Flensborg Fjord, indre	13	2.152	239	828	1.941
119	Vesterhavet, syd	-	13.560	1.184	2.606	13.870
120	Knudedyb	1.750	109.697	9.634	46.694	116.211
121	Grådyb	680	117.037	10.724	42.078	127.765
122	Vejle Fjord, ydre	117	22.458	2.245	14.937	16.402
123	Vejle Fjord, indre	101	21.675	1.898	11.147	14.854
124	Kolding Fjord, indre	251	19.280	2.282	10.395	14.870
125	Kolding Fjord, ydre	14	2.014	226	1.129	1.158
127	Horsens Fjord, ydre	4	1.993	171	1.150	1.559
128	Horsens Fjord, indre	215	32.489	3.279	21.359	25.684
130	Nissum Fjord, mellem	49	7.561	911	3.629	8.524
131	Nissum Fjord, Felsted Kog	618	74.763	8.039	32.305	74.870
132	Ringkøbing Fjord	1.622	218.683	24.090	91.004	221.266
133	Vesterhavet, nord	-	1.321	53	968	1.573
136	Randers Fjord, indre	315	186.553	17.527	102.967	134.985
137	Randers Fjord, ydre	31	11.549	987	7.730	6.489
138	Hevring Bugt	-	10.438	957	5.250	5.516
139	Anholt	-	41	-	-	47
140	Djursland Øst	204	44.763	3.778	25.121	31.567
141	Ebeltoft Vig	2	2.246	45	601	289
142	Stavns Fjord	1	664	18	234	91
144	Knebel Vig	4	1.546	105	859	316
145	Kalø Vig	-	10.640	595	6.852	4.814
146	Norsminde Fjord	19	7.589	783	5.164	5.784
147	Århus Bugt og Begtrup Vig	-	22.800	1.766	14.289	12.383
154	Kattegat, Læsø	-	5.538	70	967	3.028
158	Hjarbæk Fjord	889	82.752	10.339	33.428	65.054
159	Mariager Fjord, indre	239	16.844	1.602	6.456	11.542
160	Mariager Fjord, ydre	-	20.330	1.729	10.374	14.250
165	Isefjord, indre	322	45.411	4.182	26.886	17.442
200	Kattegat, Nordsjælland	62	14.643	910	6.757	3.815
201	Køge Bugt	160	48.765	5.330	26.896	9.448
204	Jammerland Bugt og Musholm Bugt	254	74.932	7.440	45.092	28.976
206	Smålandsfarvandet, åbne del	-	9.483	1.242	4.765	2.087
207	Nakskov Fjord	99	19.247	2.290	10.746	4.850
208	Femerbælt	-	25.936	2.851	14.550	4.373
209	Rødsand og Bredningen	185	22.399	2.228	11.522	8.559
212	Faaborg Fjord	8	1.564	123	753	924

214	Det sydfynske Øhav	107	22.696	2.727	11.567	11.334
216	Lillebælt, syd	-	27.972	2.774	18.125	23.176
219	Århus Bugt syd, Samsø og Nordlige Bælthav	49	22.855	2.130	13.127	11.745
221	Skagerrak	-	68.078	4.843	32.625	46.731
222	Kattegat, Aalborg Bugt	-	48.941	3.612	27.688	30.078
224	Nordlige Lillebælt	141	22.828	2.791	13.116	20.241
225	Nordlige Kattegat, Ålbæk Bugt	-	28.839	1.785	14.814	19.774
231	Lillebælt, Snævringeren	28	2.397	236	1.216	1.768
232	Nissum Bredning	210	40.273	4.198	22.612	33.112
233	Kås Bredning og Venø Bugt	23	53.771	6.458	30.153	45.375
234	Løgstør Bredning	18	41.678	4.048	20.154	30.516
235	Nibe Bredning og Langerak	-	152.507	14.397	79.087	96.167
236	Thisted Bredning	551	37.315	3.786	21.639	26.670
238	Halkær Bredning	398	20.192	2.073	7.380	15.191
157	Bjørnholms Bugt, Riisgårde Bredning, Skive Fjord og Lovns Bredning	736	94.169	10.961	34.499	82.688
129	Nissum Fjord, ydre	189	19.412	1.871	9.232	20.490
217	Lillebælt, Bredningen	94	14.182	1.803	7.725	9.123
86	Nyborg Fjord	-	697	147	248	313
89	Lunkebugten	-	1.040	108	606	379
114	Flensborg Fjord, ydre	-	7.585	610	5.046	6.980
Total		13.075	2.754.298	269.058	1.378.052	1.983.031

4.2 Bilag 2 Resultater for de 108 kystvandoplande

Bilag 2A. Resultater: Omkostninger, effekter og omkostningseffektivitet fordelt på kystvandoplande. Hovedscenarie 1.

Kystvandopland	Omkostninger, 1000 kroner	Reduceret N, tons	Gennemsnit reduktionsomkostning, kr./kg N	Marginalomkostninger, kr./kg N
1	3580	112	32	127
2	6077	104	59	118
6	0	0	NA	NA
16	0	0	NA	NA
17	154	6	24	40
18	0	0	NA	NA
24	917	23	40	63
25	11	0	23	24
28	0	0	NA	NA
29	158	7	24	34
34	0	0	NA	NA
35	5078	184	28	147
36	0	0	NA	NA
37	0	0	NA	NA
38	0	0	NA	NA
44	241	7	35	43
45	4400	61	72	118
46	0	0	NA	NA
47	1856	51	36	64
48	134	6	21	28
49	830	9	90	115
56	34194	394	87	348
59	3129	51	61	106
62	112	3	35	52
68	664	10	68	118
72	391	6	67	94
74	4242	61	69	115
80	5080	49	104	150
82	6607	76	87	147
83	9815	131	75	110
84	400	7	53	93
85	270	6	43	68
86	0	0	NA	NA
87	1329	40	33	60
89	0	0	NA	NA
90	0	0	NA	NA
92	404	12	33	42
93	26376	464	57	131
95	110	4	31	33
96	1602	38	42	74
101	228	10	24	62

102	1018	27	37	71
103	557	18	31	41
104	776	11	69	104
105	438	15	30	68
106	5176	90	57	100
107	1816	108	17	49
108	2254	31	72	97
109	2882	47	61	82
110	0	0	NA	NA
111	110	25	4	5
113	400	13	32	56
114	0	0	NA	NA
119	0	0	NA	NA
120	64832	1750	37	117
121	15864	680	23	268
122	7055	117	60	97
123	2602	101	26	74
124	11737	251	47	116
125	327	14	23	85
127	81	4	19	26
128	5533	215	26	79
129	5308	189	28	56
130	878	49	18	222
131	16146	618	26	93
132	49264	1622	30	118
133	0	0	NA	NA
136	6484	315	21	46
137	626	31	21	30
138	0	0	NA	NA
139	0	0	NA	NA
140	5823	204	29	36
141	63	2	29	34
142	36	1	32	42
144	123	4	29	61
145	0	0	NA	NA
146	442	19	23	32
147	0	0	NA	NA
154	0	0	NA	NA
157	37051	736	50	230
158	39876	889	45	107
159	12039	239	50	203
160	0	0	NA	NA
165	11715	322	36	133
200	1857	62	30	80
201	5046	160	31	213
204	7219	254	28	40

206	0	0	NA	NA
207	3826	99	39	85
208	0	0	NA	NA
209	12206	185	66	106
212	525	8	67	115
214	5909	107	55	100
216	0	0	NA	NA
217	6643	94	71	135
219	1228	49	25	100
221	0	0	NA	NA
222	0	0	NA	NA
224	4133	141	29	43
225	0	0	NA	NA
231	3288	28	117	179
232	3457	210	16	116
233	198	23	9	11
234	92	18	5	8
235	0	0	NA	NA
236	17646	551	32	95
238	29842	338	88	4931
Total	530837	13015	41	

**Bilag 2B. Omkostninger, effekter og omkostningseffektivitet fordelt på kystvand-
oplande, Hovedscenarie 2.**

Kystvand- opland	Omkostninger, 1000 kr.	N-effekt, tons	Omkostnings- effektivitet
1	3714	112	33,3
De 108 2	6101	104	58,9
6	0	0	NA
16	0	0	NA
17	156	6	24,3
18	0	0	NA
24	955	23	42,0
25	11	7	23,2
28	0	0	NA
29	163	0	24,3
34	0	0	NA
35	5191	184	28,3
36	0	0	NA
37	0	0	NA
38	0	0	NA
44	246	7	35,5
45	4451	61	72,7
46	0	0	NA
47	1870	51	36,6
48	135	6	21,5
49	830	9	90,0
56	34292	394	87,1
59	3148	51	61,6
62	121	3	37,7
68	664	10	67,9
72	394	6	68,0
74	4411	61	72,2
80	5130	49	104,8
82	6695	76	88,1
83	9942	131	75,7
84	400	7	53,4
85	280	6	44,7
86	0	40	NA
87	1439	0	35,8
89	0	12	NA
90	0	464	NA
92	410	4	33,2
93	27109	38	58,4
95	110	10	30,7
96	1633	27	43,1
101	254	18	26,4
102	1084	11	39,7
103	581	15	32,7
104	786	90	70,0
105	462	108	31,5

106	5378	31	59,4
107	1865	47	17,3
108	2307	0	74,1
109	2943	25	62,6
110	0	13	NA
111	110	0	4,4
113	425	1750	33,5
114	0	680	NA
119	0	117	NA
120	68196	101	39,0
121	16961	251	24,9
122	7231	14	61,8
123	2871	4	28,6
124	12486	215	49,8
125	370	49	25,7
127	92	618	21,9
128	6052	1622	28,1
129	5722	0	30,3
130	950	315	19,5
131	17139	31	27,7
132	51688	0	31,9
133	0	0	NA
136	7090	204	22,5
137	689	2	22,6
138	0	1	NA
139	0	4	NA
140	6125	0	30,1
141	67	19	30,7
142	37	0	32,7
144	127	0	30,0
145	0	889	NA
146	494	239	25,5
147	0	0	NA
154	0	322	NA
157	38723	62	52,6
158	41984	160	47,2
159	12607	254	52,9
160	0	0	NA
165	12035	99	37,4
200	1980	0	31,9
201	5086	185	31,7
204	7365	8	29,0
206	0	107	NA
207	3826	0	38,8
208	0	49	NA
209	12345	0	66,7
212	541	0	68,8
214	6044	141	56,5

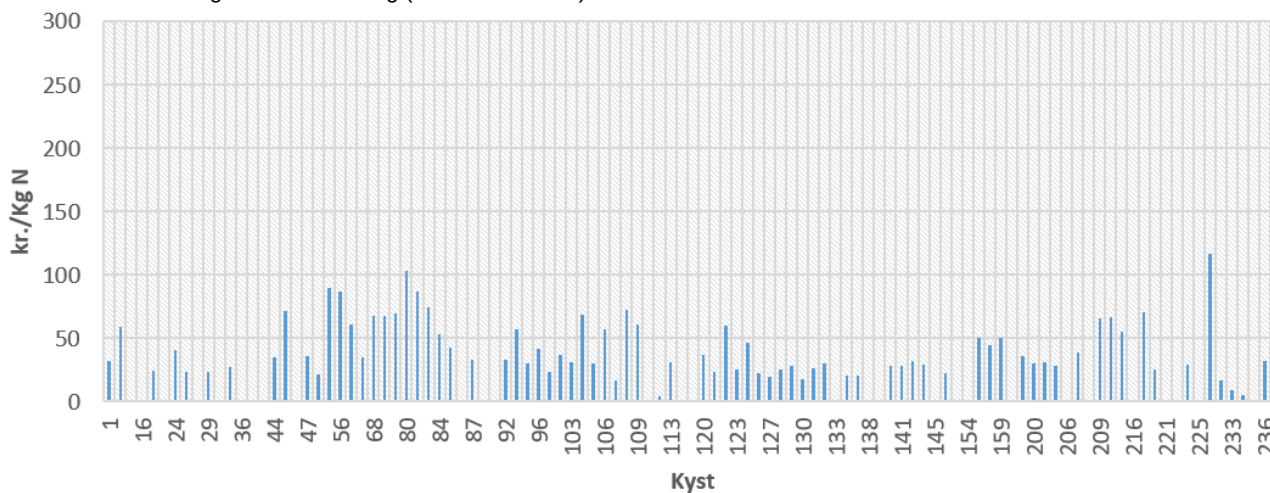
216	0	0	NA
217	6749	28	72,1
219	1278	210	26,0
221	0	23	NA
222	0	18	NA
224	4324	0	30,6
225	0	551	NA
231	3477	324	123,9
232	3864	736	18,4
233	214	189	9,4
234	92	94	5,2
235	0	0	NA
236	18908	0	34,3
238	23504	0	72,7
Total	545528	13000	42

4.3 Bilag 3 Resultater fordelt på kystvandoplande

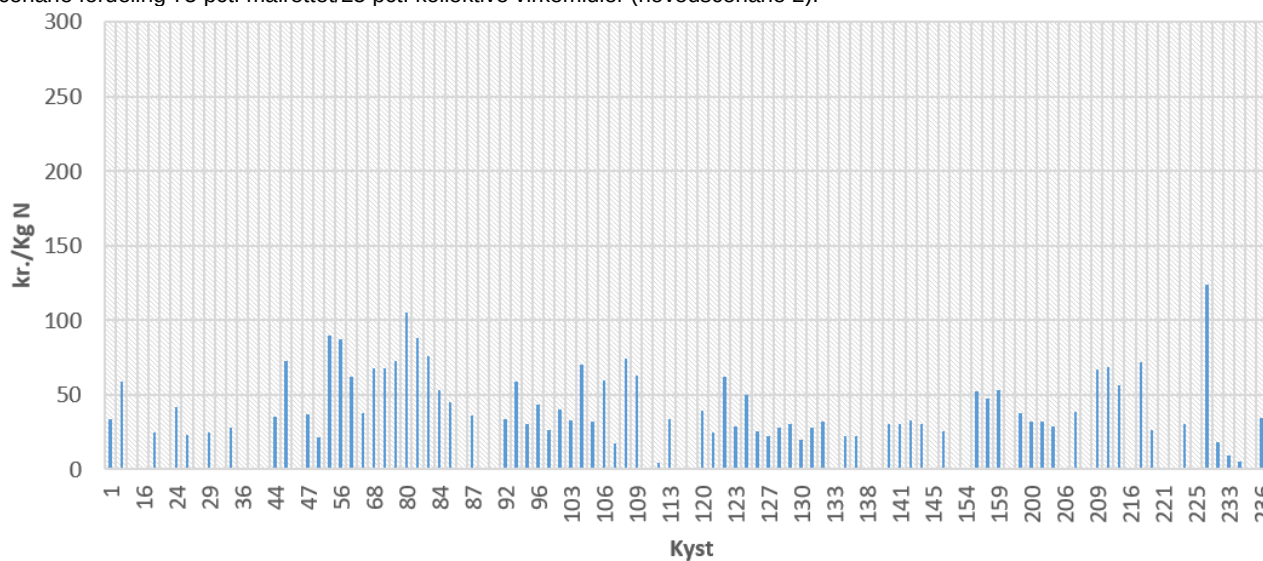
Dette bilag indeholder figurer og tabeller for resultater fordelt på kystvandoplande, og der er refereret til disse resultater i brødteksten i kapitel 3.

4.4 Omkostningseffektivitet af scenarier for kystvandoplande

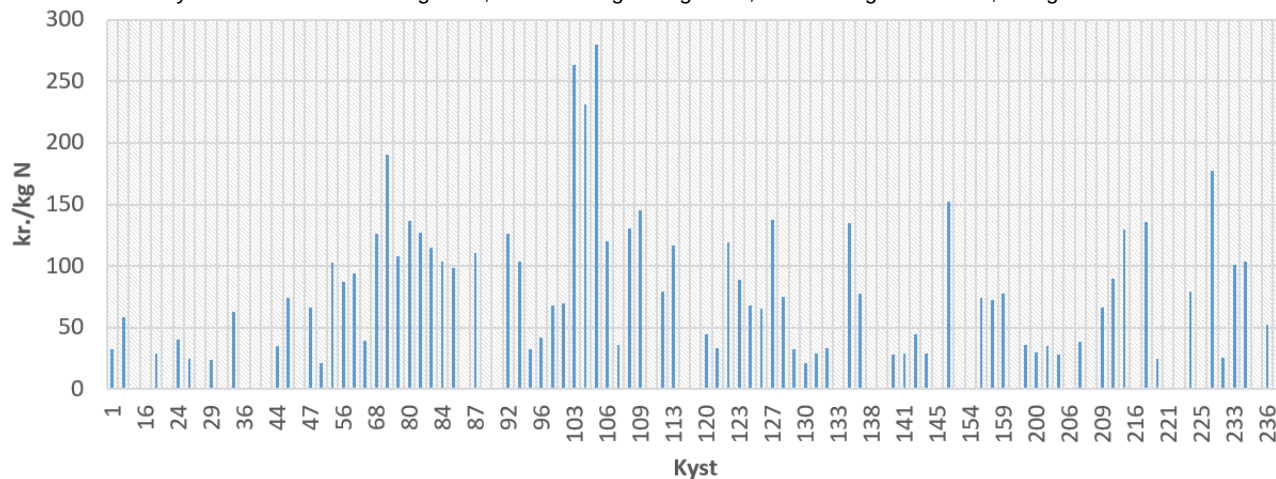
Scenarie omkostningseffektiv fordeling (hovedscenarie 1).



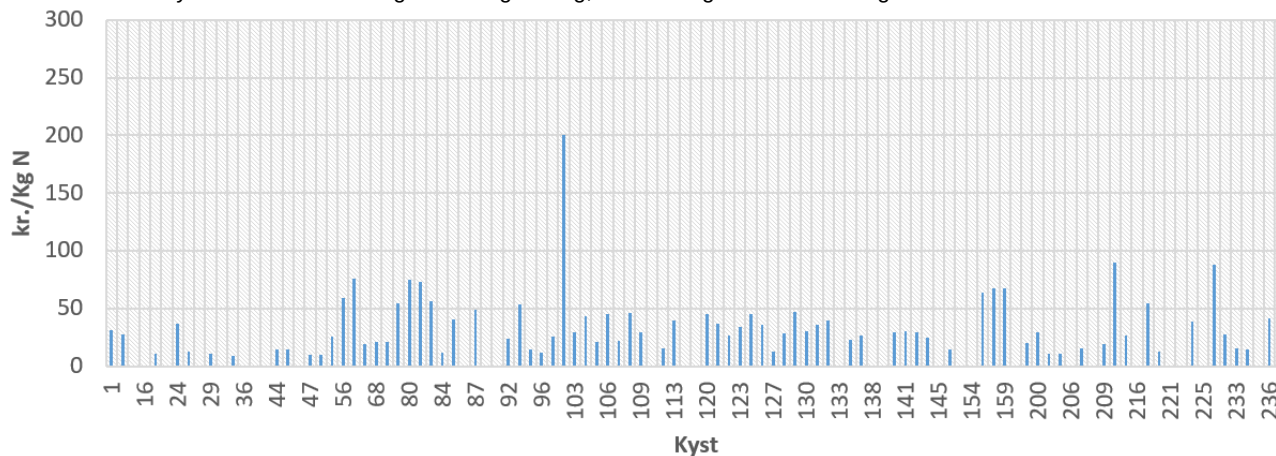
Scenarie fordeling 75 pct. målrettet/25 pct. kollektive virkemidler (hovedscenarie 2).



Følsomhedsanalyse 5b Krav om efterafgrøder, målrettet regulering 2022, omkostningseffektivitet, kr./kg N.

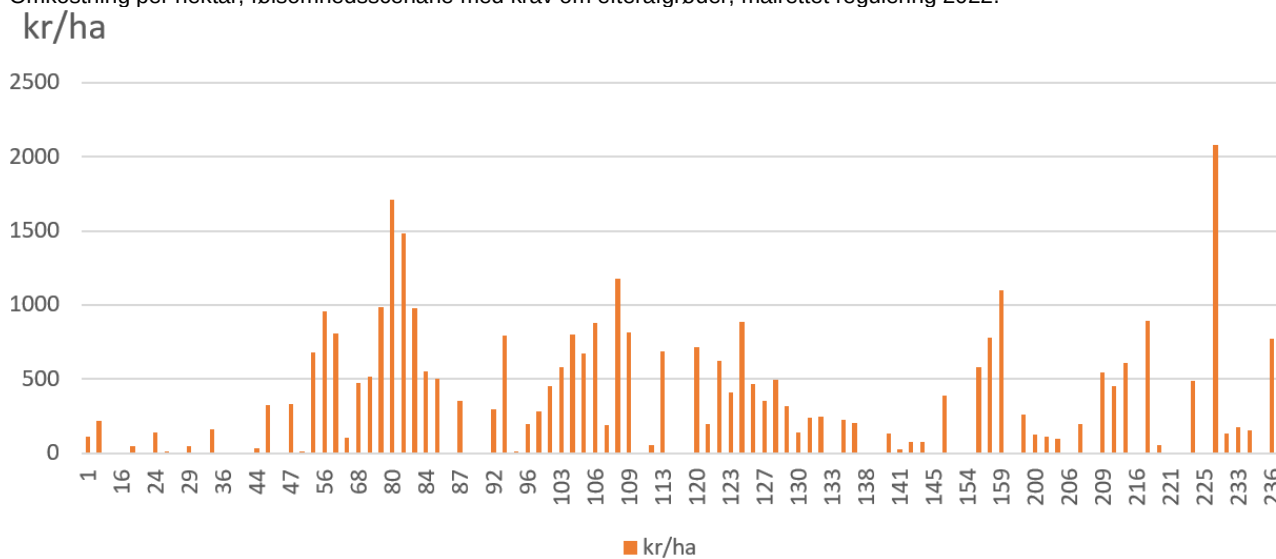


Følsomhedsanalyse 5c Gennemsnitlige dækningsbidrag, omkostningseffektivitet kr./kg N.



4.5 Omkostninger per hektar, kystvandoplande

Omkostning per hektar, følsomhedsscenarie med krav om efterafgrøder, målrettet regulering 2022.



4.6 Bilag 4 Tabelbilag med detaljer for de 108 kystvandomlande

I tabellen nedenfor er der for hvert opland angivet reduktionsomkostningerne (gennemsnitlige omkostninger for oplandet, per virkemiddel, divideret med effekt) for virkemidlerne efterafgrøder, efterafgrøder med sædskifte, skovrejsning og udtag på højbund. De røde markeringer indikerer at reduktionsomkostningerne for virkemidlet med den røde markering er højere end for alternativerne i oplandet, dvs. i den samme række, mens de grønne markeringer indikerer at de er lavere. Denne sammenligning er lavet for at forklare hvorfor det i nogle oplande ikke er den mest fordelagtige løsning at implementere fx efterafgrøder, selv om den gennemsnitlige reduktionsomkostning er lav på nationalt niveau.

Omkostningseffektivitet af efterafgrøder, skovrejsning og udtag på højbund i Hovedscenarie 2 for de 108 kystoplande. Røde markeringer viser høje omkostninger for virkemidlet, grønne viser lave.

Opland	Efterafgrøder	Efterafgrøder, sædskifte	Skovrejsning	Udtag højbund
	Kr./kg N -			
1	36	NA	30	27
2	57	NA	69	61
6	NA	NA	NA	NA
16	NA	NA	NA	NA
17	NA	NA	NA	28
18	NA	NA	NA	NA
24	42	NA	41	40
25	NA	NA	NA	NA
28	NA	NA	NA	NA
29	24	NA	23	29
34	NA	NA	NA	NA
35	NA	NA	27	27
36	NA	NA	NA	NA
37	NA	NA	NA	NA
38	NA	NA	NA	NA
44	24	NA	34	NA
45	75	NA	62	57
46	NA	NA	NA	NA
47	48	NA	27	30
48	NA	NA	25	19
49	83	NA	NA	95
56	40	86	83	108
59	50	NA	73	73
62	32	NA	43	37
68	45	NA	50	67
72	29	NA	71	67
74	44	101	53	80
80	51	NA	106	114
82	43	NA	81	86
83	62	100	61	52
84	46	NA	NA	NA

85	68	NA	42	45
86	NA	NA	NA	NA
87	35	NA	32	35
89	NA	NA	NA	NA
90	NA	NA	NA	NA
92	41	NA	35	33
93	62	85	52	50
95	30	NA	NA	26
96	55	NA	29	36
101	24	NA	22	24
102	29	NA	35	38
103	32	NA	30	30
104	44	NA	94	74
105	NA	NA	29	28
106	42	NA	59	64
107	23	NA	20	22
108	26	NA	80	74
109	66	NA	66	67
110	NA	NA	NA	NA
111	NA	NA	NA	NA
113	29	NA	26	40
114	NA	NA	NA	NA
119	NA	NA	NA	NA
120	29	NA	34	40
121	27	NA	22	24
122	66	NA	65	63
123	32	NA	23	29
124	30	94	40	57
125	26	NA	19	27
127	16	NA	19	NA
128	26	NA	22	29
129	31	NA	25	27
130	28	NA	19	22
131	29	NA	23	23
132	33	NA	27	31
133	NA	NA	NA	NA
136	22	NA	21	23
137	NA	NA	25	21
138	NA	NA	NA	NA
139	NA	NA	NA	NA
140	28	NA	25	30
141	NA	NA	24	NA
142	NA	NA	NA	NA
144	36	NA	29	29
145	NA	NA	NA	NA
146	22	NA	22	27

147	NA	NA	NA	NA
154	NA	NA	NA	NA
157	48	NA	52	56
158	42	77	43	45
159	42	111	43	50
160	NA	NA	NA	NA
165	39	NA	32	31
200	33	NA	26	27
201	NA	NA	31	31
204	23	NA	28	25
206	NA	NA	NA	NA
207	75	NA	NA	51
208	NA	NA	NA	NA
209	49	NA	42	56
212	42	NA	45	68
214	64	87	60	51
216	NA	NA	NA	NA
217	81	NA	53	54
219	27	NA	20	22
221	NA	NA	NA	NA
222	NA	NA	NA	NA
224	29	NA	29	29
225	NA	NA	NA	NA
231	108	161	122	139
232	20	NA	17	17
233	NA	NA	9	10
234	NA	NA	8	NA
235	NA	NA	NA	NA
236	37	NA	28	32
238	NA	157	62	86

ØKONOMISKE KONSEKVENSBeregninger for Vandrammedirektivet I 2027

Scenarier for fuld implementering af VP3 indsatskrav for
kystvandoplande 2021-2027

Rapporten beskriver omkostningseffektiv opnåelse af det samlede indsatsbehov for kvælstof i Vandområdeplan 2021-2027, som bidrager til Vandrammedirektivets mål om god økologisk tilstand i 2027. I beregningerne indgår en lang række virkemidler, både for landbrug og spildevand- rapporten dokumenterer også modellen TargetEconN, der er opdateret med indarbejdelse af de nyeste kortlag for potentialer for effekter af virkemidler, de nyeste omkostninger fra virkemiddelkatalog, samt indsatskrav for de 108 kystvandoplande. Der er udført beregninger for 13075 tons N, og omkostningerne er beregnet til totalt 510-881 millioner kroner årligt, for forskellige scenarier.