



OMKOSTNINGSEFFEKTIV PLACERING AF FOSFORVIRKEMIDLER I FORHOLD TIL SØER

Indarbejdelse af fosfor i TargetEconN_P samt eksempler på resultater

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 560

2023



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

OMKOSTNINGSEFFEKTIV PLACERING AF FOSFORVIRKEMIDLER I FORHOLD TIL SØER

Indarbejdelse af fosfor i TargetEconN_P samt eksempler på resultater

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 560

2023

Berit Hasler¹
Raphael Filippelli¹
Gregor Levin¹
Hans Estrup Andersen²
Goswin Hechrath³
Louise Martinsen¹
Doan Nainggolan¹

¹Aarhus Universitet, Institut for Miljøvidenskab

²Aarhus Universitet, Institut for Ecoscience

³Aarhus Universitet, Institut for Agroøkologi



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Serietitel og nummer:	Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 560
Kategori:	Rådgivningsrapporter
Titel:	Omkostningseffektiv placering af fosforvirkemidler i forhold til søer
Undertitel:	Indarbejdelse af fosfor i TargetEconN_P samt eksempler på resultater.
Forfattere:	Berit Hasler ¹ , Raphael Filippelli ¹ , Gregor Levin ¹ , Hans Estrup Andersen ² , Goswin Hechrath ³ , Louise Martinsen ¹ , Doan Nainggolan ¹
Institutioner:	¹ Aarhus Universitet, Institut for Miljøvidenskab ² Aarhus Universitet, Institut for Ecoscience ³ Aarhus Universitet, Institut for Agroøkologi
Udgiver:	Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ©
URL:	http://dce.au.dk
Udgivelsesår:	Juni 2023
Redaktion afsluttet:	Maj 2023
Faglig kommentering:	Katarina Elofsson (fagfællebedømmer)
Kvalitetssikring, DCE:	Signe Jung Madsen
Sproglig kvalitetssikring:	Ann-Katrine Holme Christoffersen
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, 2021 og 2022.
Bedes citeret:	Berit Hasler, Raphael Filippelli, Gregor Levin, Hans Estrup Andersen, Goswin Hechrath, Louise Martinsen, Doan Nainggolan 2023. Omkostningseffektiv placering af fosforvirkemidler i forhold til søer. Indarbejdelse af fosfor i TargetEconN_P samt eksempler på resultater. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 69 s. - Videnskabelig rapport nr. 560
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
Sammenfatning:	Rapporten præsenterer datagrundlag og funktionalitet i TargetEconN_P-modellen, som er udviklet til omkostningseffektive valg af virkemidler for at opfylde fosfor- og kvælstofindsatskrav for sø- og kystvandoplande i hele Danmark. Rapporten omfatter også eksempler på resultater for scenarier, dels for omkostningseffektiv opfyldelse af fosforindsatskrav, og dels et scenarie hvor sideeffekterne for fosfor opgøres som følge af virkemidler til reduktion af kvælstoftab til kystvandene.
Emneord:	Fosfor, omkostningsminimering, virkemidler, data, integreret model.
Layout:	Ann-Katrine Holme Christoffersen
Foto forside:	COLOURBOX28154062
ISBN:	978-87-7156-789-2
ISSN (elektronisk):	2244-9981
Sideantal:	69

Indhold

Forord	5
Sammenfatning	7
Summary	10
1 Baggrund og formål	13
1.1 Definitioner og afgrænsninger	15
2 TargetEconN_P-modellen	17
2.1 Modelbeskrivelse	17
2.2 Modellering af retention mellem søer - håndtering af forbindelseskæder mellem søer i TargetEconN_P	18
3 Oversigt over virkemidler	22
3.1 N-virkemidler med P-effekt og samtidig implementering af N- og P-virkemidler	26
4 Data og kortgrundlag	28
4.1 Datagrundlaget for N- og P-modelleringen	28
4.2 Datalag for identifikation af søoplande	29
4.3 Relation mellem ID15-områder og søoplande	29
4.4 Modellering af P-tabsveje og potentialer for virkemidler	30
4.5 Makroporetransport	30
4.6 Tab ved matriceudvaskning	31
4.7 Tab ved brinkerrosion	32
4.8 P-vådområder (P-ådale)	33
4.9 Datalag i Basemap03 til TargetEconN_P	33
4.10 Lavbund (Tekstur2014)	35
4.11 Minivådområde-potentiale	35
4.12 Indlejring af variabler i Basemap03	37
4.13 Afgrødekategorier	39
4.14 Opgørelse af afgrødeændringer	39
4.15 Data fra gødningsregnskaber	40
4.16 Yderligere information	41
5 Scenarier og resultater	42
5.1 Scenarier for omkostningseffektiv opfyldelse af krav til søerne	42
5.2 5.2. Scenarie 3: Fosforreduktioner beregnet som sideeffekt af N-reduktionsscenarier for VP3 (13075 tons N)	49
6 Konklusion og diskussion	52
Referencer	54
Bilag 1. Modelformulering og beskrivelse	57

Bilag 2. Indsatskrav for søer	60
Bilag 3. Indhold i data, markkort	64
Bilag 4. Estimering af potentiale for P-vådområder (fosfor-ådale)	68

Forord

Projekterne "Økonomiske konsekvensberegninger ved fuld implementering af vandrammedirektivet i 2027", "Kobling mellem fosforrisikokortlægning, fosforvirkemiddelkataloget og de økonomiske analyser til brug for Vandområdeplanerne 2021-2027" og "Videreudvikling af koblingen mellem fosforrisikokortlægning, fosforvirkemiddelkataloget og de økonomiske analyser til brug for Vandområdeplanerne 2021-2027" er gennemført af Aarhus Universitet, Institut for Miljøvidenskab, Institut for Ecoscience (tidligere Bioscience)¹ og Institut for Agroøkologi, samt Københavns Universitet for Miljøministeriet i perioden 2019-2021. Projekterne er udført under Samfundsøkonomikontrakten, ved konsortiet Københavns Universitet/IFRO og Aarhus Universitet/Institut for Miljøvidenskab, som er en del af ydelsesaftalen for forskningsbaseret myndighedsbetjening mellem Miljøministeriet, Fødevareministeriet og Københavns Universitet/IFRO.

Denne rapport dokumenterer indarbejdelsen af fosfor (P) i modellen TargetEconN, baseret på de tre projekter. Modellen har indtil nu kun omfattet kvælstof (N), og indarbejdelsen af P er foretaget, for at modellen kan foretage en beregning af optimeret P-indsats til søerne samt for at kunne lave en samtidig optimering af både N- og P-indsatskrav for at opnå god økologisk tilstand i både kystvandområder og søer.

Der er tidligere udført delprojekter, hvor data- og modelgrundlag for TargetEconN er præsenteret (Hansen et al., 2019, Hasler et al. 2022).

P-projekterne er blevet fulgt af en faglig følgegruppe bestående af repræsentanter fra Miljøministeriet: Henriette Hossy (MST), Lisbeth Wiggers (MST), Gudrun Frandsen Krog (MST), Johan Lassen (MST), Peter Kaarup (MST), Ivan Ben Karottki (MST), Ronnie Juhler Pedersen (MIM DEP), Susanne Brusvang Hjuler (MST), og Thomas Rützou (MST). Den faglige følgegruppes opgave har været at diskutere og frembringe bagvedliggende datalag bl.a. vedr. søoplande, kystvandomlande, ID15-oplande, data for spildevand og overløb. Miljøministeriet har præciseret, at indsatskravene for Vandområdeplan 2015-2021 (VP2) skal anvendes for de 206 søer med indsatskrav. Miljøministeriet har leveret data til modelleringen af søer i kæde, hvor der er beregnet retentions i søerne.

Berit Hasler (BH) 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 (RF) har programmeret og designet alle ligninger, input af P-data og dele af modellen, der vedrører P, inklusive indarbejdelse af søer i kæder og virkemidlerne, der er specifikke for P. RF har også indpasset P-ligninger og data til N-modelleringen i TargetEconN. RF har også testet modellen og har i samarbejde med BH og Gregor Levin (GL) fundet løsninger til tilpasninger undervejs, som datagrundlaget har udviklet sig. Doan Nainggolan (DN) har testet modellen og deltaget i arbejdet med beregningerne med modellen. GL har indarbejdet og tilpasset datalag for P til Basemapdatabasen, og GL har stået for beregningerne af potentialet for fosforvådområder i samarbejde med Hans

¹ Institut for Bioscience har i projektperioden skiftet navn til Ecoscience, og omtales der for som sådan i resten af rapporten.

Estrup Andersen (HEA). Louise Martinsen (LM) har deltaget i beskrivelsen af virkemidlerne. HEA og Goswin Heckrath (GH) har leveret data til beregning af P-tab for tabsvejene matriceudvaskning, makroporeudvaskning, jorderosion og brinkerrosion, samt reduktionspotentialer for disse P-tabsveje. Virkemidlerne, der er indarbejdet i modellen, og forudsætningerne er beskrevet i Andersen et al. 2020.

Sammenfatning

For at kunne beregne omkostningseffektive indsatser til opfyldelse af fosfor-reduktioner til søer, er fosfor indarbejdet i den økonomiske model TargetEconN. Med denne udvikling er der etableret et modelværktøj, der kan beregne omkostningseffektive valg, doseringer og placeringer af virkemidler til reduktioner af både fosfor og kvælstof til vandmiljøet, hver for sig og samlet.

Udvidelsen af modelværktøjet bygger på datagrundlag og funktionalitet i modellen TargetEconN, som er udviklet og anvendt både i forskningsprojekter (Hasler et al. 2019, Filippelli et al. 2020, Konrad et al. 2022), og i rådgivningsøjemed (Hansen et al. 2019, Hasler et al. 2022, Hasler og Jakobsen 2022; Termansen et al. 2023).

Med videreudviklingen af TargetEconN, som er sat op til at opfylde kvælstof-indsatskrav til kystvandoplande, så omfatter modellen nu også søoplande, således at det bliver muligt at placere fosforindsatser omkostningseffektivt i forhold til fosforreduktionskrav til søer. Den samlede model kaldes derfor TargetEconN_P. Modellen TargetEconN_P er sat op til at minimere omkostningerne ved indsatskrav for kvælstof og fosfor til kystoplande og/eller søoplande, med markniveauet som den mindste beslutningsenhed for hvor indsatsen placeres. For at kunne modellere fosforvirkemidler, er der i tillæg til virkemidler på markerne indarbejdet virkemidler der reducerer tabene fra brinker til vandløb samt i fosfor-ådale. Disse enheder (mark, brinklængde etc.) bruges til beregningen af både effekter på fosfortabet og til beregningen af omkostningerne. Omkostningerne består af de tabte indtægter fra landbrugsproduktionen på markerne (opgjort som dækningsbidrag II), og af etablerings- og driftsomkostningerne. Effekterne er opgjort for fire tabsveje:

- *Erosion*: Fosfor der er løsrevet og som transporteres med vand, på partikulær form.
- *Matricetab*: P-koncentrationen i jordvæsken stiger ved mætning af jordens kapacitet til P-binding, og opløst fosfor kan udvaskes med nedsivende vand.
- *Makroporetabs*: Vand- og fosfortab foregår i makroporer større end 0,3 mm hvis jorden er vandmættet. Fosfor kan tabes i både opløst og partikulær form.
- *Brinkerosion*: Fosfor i partikulær form, kan tabes ved løsrivelse af jordpartikler fra brinker til vandløb. Tab via vinderosion, overfladeafstrømning, grundvand, og lavbundsorde er ikke medregnet, da disse tabsveje ikke har kunnet opgøres.

I modellen er det økonomiske problem defineret som et "social planner-problem", dvs. at der identificeres hvilke virkemidler der skal placeres på hvilke marker for at opnå den omkostningseffektive løsning, uden hensyntagen til hvilke styringsinstrumenter der skal til for at skabe incitament hos landmændene til at udføre de nødvendige tiltag. For at undgå overlap i virkemidler som ikke kan anvendes sammen, eller hvor den samtidige effekt ikke er kendt, er modellen begrænset til at der kun kan implementeres ét virkemiddel per mark. Der er indarbejdet begrænsninger på potentialet for implementering af hvert virkemiddel. Disse begrænsninger omfatter at virkemidler kun kan im-

plementeres på omdriftsmarker, da vi ikke kan beregne effekter af virkemidler, hvis de implementeres på arealer der er taget ud af drift eller dyrkes ekstensivt (permanente græsarealer). Potentiale-kortlægningen omfatter også kortlag for de fysiske muligheder for etablering af vådområder, fosforådale, virkemidler på brinkerne til vandløb etc. Det er endelig også taget højde for at virkemidler, der er implementeret for at reducere kvælstof indtil 2021, beslaglægger arealer, og de er derfor fraregnet potentialet for virkemidler. Endvidere er der indarbejdet datalag for hvordan søerne hænger sammen i kæder, således at én indsats i en sø opstrøms har effekt på søerne nedstrøms. Effekterne af virkemidlerne er indarbejdet på baggrund af fosforrisikokortlægningen, og der er indarbejdet geografiske data baseret på fosforrisikokortet (Andersen og Heckrath, 2020), beregnet til modellen ned til markniveau.

De virkemidler der er med i modelleringen af fosfor, er:

- *Permanent plantedække* som indebærer etablering af striber med permanent græs og urteagtig vegetation på dyrkede marker, som kan reducere tab af fosfor og jord fra overfladisk afstrømmende vand.
- *Negativ fosforbalance* - virkemidlet indebærer reduceret eller ophør med fosfor-gødsning (både handels- og husdyrgødning).
- *Skovrejsning* kan modvirke det fosfortab, der sker via erosion, samt tab via makroporer.
- *Optimeret jordbearbejdning* (reduceret jordbearbejdning og/eller direkte såning) anvendes på dyrkningsfladen (marker i omdrift) på skrånende marker og kan begrænse tabet ved erosion og overfladeafstrømning.
- *Minivådområder* med åben vandflade er et drænvirkemiddel, som etableres på et areal beliggende lige inden drænets udløb.
- *Målrettede brede og tørre randzoner* indebærer braklægning i randzoner, så de passer til den overfladiske afstrømning gennem randzonen fra marken til vandløb eller sø.
- *Vådområdearealer ("kvælstofvådområder")* til udtagning er afgrænset af vådområdepotentialkort, og de genetablerede vådområder antages at blive oversvømmet af vandløbsvand og samtidigt antages arealet at blive overrislet med drænvand/grøftevand. Effekten herved for fosfor kan være urealistisk sat i modellen, og skal underkastes undersøgelse i kommende projekter.
- *Fosforådale ("fosforvådområder")* etableres langs vandløb opstrøms søer, og de virker ved at tilbageholde suspenderet stof og partikulært fosfor via sedimentation. Det er et kriterie, at der periodevis er stor vandføring.
- *Træer langs vandløb* er et virkemiddel mod brinkerose. Træerne plantes på brinkerne til vandløb, hvor der ikke er vegetation i forvejen.
- *Spildevandsrensning* omfatter opgradering af rensning på eksisterende anlæg, og der indgår tre trin for fosfor og fire trin for kvælstof.
- *Regnvandsbetingede overløb* - bassiner kan etableres for at reducere både kvælstof og fosfor, men datagrundlaget er usikkert og virkemidlet er derfor endnu ikke aktiveret i modellen.

Hvordan de 435 søer er indbyrdes forbundne i kæder, er lagt ind i modellen. Disse forbindelseskæder mellem søerne medfører at indsatser opstrøms har effekt på nedstrøms søer, og derfor stiger den samlede beregnede reduktion, når disse søkæder implementeres.

Modellen er anvendt til at beregne omkostningseffektiv implementering af fosforkravene til søoplande, som de var i VP2. Indsatskravene i modellen er VP2-krav, da indsatskravene i Vandområdeplan 2021-2027 (VP3) ikke forelå,

da modellen blev sat op. Det omfatter 187² søer ud af 435 søoplande i modellen. Der er langt flere søer i Danmark, men dette er de søer der forelå indsatskrav for i oplande med landbrugsproduktion i omdrift.

Omkostningerne ved at opnå indsatskravene for VP2 for de 187 søer er beregnet til ca. 502 millioner kroner, vel og mærke med en lav målopfyldelse, da de virkemidler der er til rådighed, ikke kan opfylde indsatskravene. Der opnås totalt set 46 tons fosfor reduceret uden kædeberegning mellem søerne, og 91 tons med denne kædeberegning.

Resultaterne viser at udtagning og skovrejsning er meget anvendte virkemidler i den omkostningseffektive løsning. Omkostningerne i modellen kan være urealistisk lave, idet der er ikke foretaget en detaljeret analyse af eventuelle konsekvenser for husdyrproduktionen ved udtagning. Inddragelse af omkostningerne ved en evt. reduktion i husdyrproduktionen eller ændringer i foderpriser, vil potentielt forhøje omkostningerne.

Foruden opfyldelse af fosforindsatskrav til søerne, er modellen også anvendt til sideeffektsberegninger for kvælstofindsats til kysterne, for at svare på hvor meget kvælstofvirkemidlerne reducerer fosfortabet til kystvandoplandene. Denne sideeffektsberegning er foretaget for kysterne, men også for søoplandene. Beregningen af fosforsideeffekterne af kvælstofindsatsen til kystvandopland viste en samlet fosforreduktion på 88 tons. Til søerne blev fosforsideeffekten beregnet til 26 tons.

Resultaterne indikerer, at der er stort behov for at udrede yderligere virkemidler som supplerer de eksisterende fosforvirkemidler, og med viden om fosforeffekt, omkostninger og potentiale for at implementere virkemidlerne. Det er også væsentligt at indarbejde husdyrproduktionen, således at tabene fra denne del af produktionen også kommer med i beregningerne.

² Der er 206 søer med et mål i VP2, men 19 af disse søer er ikke inden for oplandskortet for de 435 søer, så vi har ikke oplysninger om disse søer. Modellen omfatter derfor kun 187 søer.

Summary

In order to be able to calculate the cost-effective combination, dosage and spatial location of measures to meet phosphorus reductions to lakes, phosphorus is incorporated into the economic model TargetEconN. With this development, a modelling tool has been established that can calculate cost-effective choices, dosages and locations of measures for reductions of both phosphorus and nitrogen, individually and collectively.

The expansion of the model tool is based on the data basis and functionality of the model TargetEconN, which has been developed and used both in research projects (Hasler et al. 2019, Filippelli et al. 2020, Konrad et al. 2022) and for advisory purposes (Hansen et al. 2019, Hasler et al. 2022, Hasler and Jakobsen 2022, Termansen et al. 2023). With the inclusion of P, the overall model is therefore called TargetEconN_P. The model TargetEconN_P is set up to minimize the costs of meeting targets for coastal catchments and/or lake catchments, with the field level as the smallest decision unit for where measures are placed. In order to be able to model phosphorus load reductions measures have also been incorporated outside the fields, including measures that reduce the losses from the banks of the streams to the streams, and also measures that address reductions in so-called phosphorus river valleys. These units (field, brink length etc.) are used for the calculation of both effects on phosphorus loss and for the calculation of the costs. The costs consist of the lost income from agricultural production in the fields (calculated as coverage contribution II), and of the establishment and operating costs. The effects are calculated for four loss pathways:

- *Erosion*: Phosphorus that is detached and transported with water, in particulate form.
- *Matrix loss*: The P concentration in the soil fluid increases when the soil's capacity for P binding is saturated, and dissolved phosphorus can be washed out with percolating water.
- *Macropore loss*: Water and phosphorus loss takes place in macropores larger than 0.3 mm if the soil is saturated with water. Phosphorus can be lost in both dissolved and particulate form.
- *Stream bank erosion*: Phosphorus in particulate form can be lost by the detachment of soil particles from brinks into streams. Losses via wind erosion, surface runoff, groundwater and low-lying soils are not included, as these loss pathways have not been calculated.

In the model, the economic problem is defined as a "social planner problem", i.e. that it is identified which measures to place on which fields in order to achieve the cost-effective solution, without taking into account which policy instruments are needed to create incentives for farmers to implement the necessary measures. To avoid overlaps between measures, which cannot be done in reality, the model is limited to the fact that only one measure can be implemented per field. Restrictions have been incorporated on the potential for implementation of each instrument. These limitations include that measures can only be implemented on areas within the agricultural cultivation rotation, as we cannot calculate the effects of measures if they are implemented on areas that have been taken out of operation or are cultivated extensively e.g. permanent grasslands). The potential mapping also includes maps of the physical possibilities for the establishment of wetlands, phosphorus river valleys,

measures on the banks of streams, etc. Finally, it is taken into account that measures implemented to reduce nitrogen until 2021 occupy areas which are therefore excluded from the potential for new measures. Furthermore, a data layer has been incorporated for how the lakes are connected in chains, so that efforts in a lake upstream have an effect on the lakes downstream. The effects of the measures are incorporated on the basis of the phosphorus risk mapping, and geographic data based on the phosphorus risk map (Andersen and Heckrath, 2020), calculated at field level scale, is incorporated.

The instruments included in the modeling of phosphorus are

- *Permanent plant cover*, which involves the establishment of strips of permanent grass and herbaceous vegetation on cultivated fields, which can reduce the loss of phosphorus and soil from surface runoff water.
- *Negative phosphorus balance* The active ingredient involves reduced or cessation of phosphorus fertilization (both commercial and livestock manure).
- *Afforestation* can counteract the phosphorus loss that occurs via erosion, as well as loss via macropores.
- *Optimized tillage* (reduced tillage and/or direct seeding) is used on the cropping surface (fields in rotation) on sloping fields and can limit loss through erosion and surface runoff.
- *Constructed wetlands* (so-called *miniwetlands*) with an open water surface are a means of drainage, which are established on an area situated just before the outlet of the drain.
- *Targeted wide and dry riparian zones* involve fallowing in riparian zones to match the surface runoff through the riparian zone from the field to stream or lake.
- *Wetlands* ("nitrogen wetlands) areas for removal are delineated by wetland potential maps, and the re-established wetlands are assumed to be flooded by stream water and at the same time the area is assumed to be irrigated with drainage water/ditch water. The effect of this on phosphorus may be unrealistically set in the model, and will be subjected to investigation in future projects.
- *Phosphorus river valleys* (also called phosphorus wetlands) are established along streams upstream of lakes, and they work by retaining suspended matter and particulate phosphorus via sedimentation. It is a criterion that there is periodically a large flow of water.
- *Trees along streams* are a means of action against stream bank erosion. The trees are planted on the edges of streams where there is no vegetation beforehand. *Wastewater treatment*: includes upgrading treatment at existing facilities, and includes three stages for phosphorus and four stages for nitrogen.
- *Rainwater-related overflows* Basins can be established to reduce both nitrogen and phosphorus, but the data base is uncertain and the means have therefore not yet been activated in the model.

How the 435 lakes are interconnected in chains is included in the model. These connection chains between the lakes mean that measures implemented upstream have an effect on downstream lakes, and therefore the total calculated reduction increases when these lake chains are included in the modelling.

The model is used to calculate cost-effective implementation of the phosphorus requirements for lake basins, as they were in VP2. The targets in the model are VP2 reduction requirements as the targets for the Water Plan 2021-2027

(VP3) were not available when the model was set up. It includes 187 lakes out of 435 lake catchments in the model³.

There are far more lakes in Denmark, but these are the lakes for which there were action requirements in catchments with agricultural production in operation.

The costs of achieving the effort requirements for VP2 for the 187 lakes are estimated at approximately DKK 502 million, obviously with a low target achievement as the measures available cannot meet the target requirements. A total of 46 tonnes of reduced phosphorus is achieved before inclusion of chains between the lakes, and 91 tonnes after implementation of chains.

The results show that land retirement (permanent set aside) and afforestation are widely used measures in the cost-effective solution. The costs calculated by the model can be unrealistically low, since the consequences for livestock production when land in rotation is retired, is not fully included. Inclusion of the costs of a reduction in livestock production or changes in feed provision and prices, will potentially increase the costs.

In addition to fulfilling phosphorus targets for the lakes, the model is also used for side effect calculations for nitrogen targets to the coasts, to answer how much the nitrogen measures reduce the phosphorus loss to the coastal water bodies. This side effect calculation has been made for the coasts, but also for the lake catchments. The calculation of the phosphorus side effects of the nitrogen targets to coastal catchments showed a total phosphorus reduction of 88 tonnes. For the lakes, the phosphorus side effect was calculated at 26 tonnes.

The results indicate that there is a great need to investigate additional measures that supplement the existing phosphorus measures, with knowledge of the phosphorus effect, costs and potential for implementing the measures. It is also essential to incorporate livestock production so that the losses from this part of production are also included in the calculations.

³ There are 206 lakes with a target in VP2, but 19 of these lakes are not within the catchment map of the 435 lakes, so we do not have information on these lakes. The model therefore only includes 187 lakes.

1 Baggrund og formål

I henhold til vandrammedirektivet (VRD), skal der opnås god tilstand i overfladevand og grundvand senest i 2027.

Formålet med de projekter der afrapporteres med denne rapport er, at indarbejde fosfor (P) i den økonomiske model TargetEconN og anvende modellen til at beregne omkostninger og effekter af opnåelse af P-indsatskrav til søer. I nærværende projekt er der arbejdet videre på det udviklingsarbejde, der har foregået i forhold til kvælstof (N), publiceret i Hansen et al., (2019); Hasler et al. (2019) og Hasler et al., (2022) for kystvandoplande. Det udviklede modelsystem, TargetEconN; anvendes og videreudvikles til at omfatte P i søoplande, således at det bliver muligt at placere indsatser omkostningseffektivt i forhold til P-indsatsen til søer i TargetEconN. Denne version af modellen benævnes herefter for TargetEconN_P.

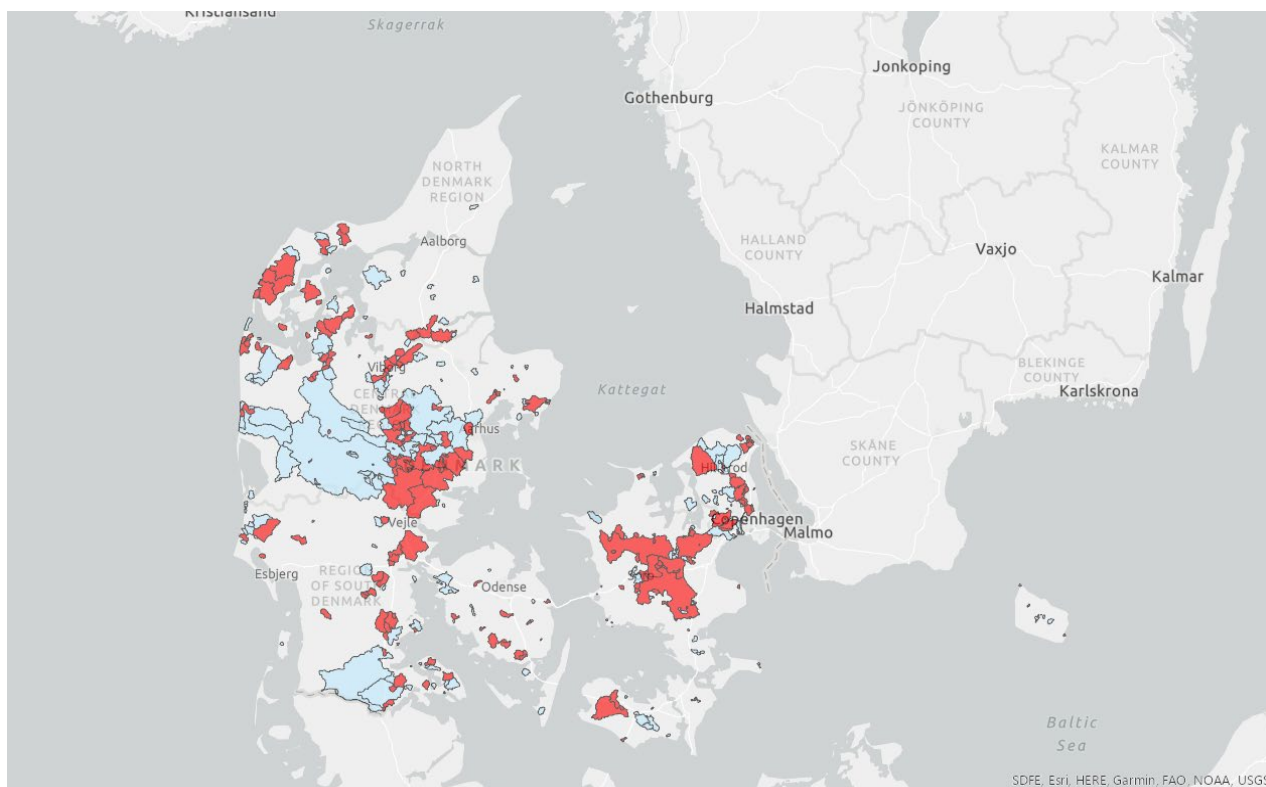
Formålet med modelleringen i TargetEconN_P er at identificere den mest omkostningseffektive måde at opnå P- og N-indsatskravene på. Modellen kan anvendes for N og P, hver for sig eller sammen. Det økonomiske problem er defineret som et "social planner-problem", dvs. at det identificeres hvilke virkemidler 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 i forhold til den sammensætning og placering som gør det muligt at opfylde indsatskravet for søen til de lavest mulige omkostninger. Beregningsforudsætningerne i P-modelleringen er konsistent med modelleringen af N, og potentialet for implementering af P-virkemidler er ligesom N-modelleringen begrænset af de virkemidler der allerede er implementeret på arealerne, da den enkelte mark antages at ikke kunne bruges to gange til virkemidler⁴. Derfor er der i P-modelleringen i lighed med N taget højde for at de implementerede N-virkemidler i perioden indtil 2021, herunder målrettede N-virkemidler (efterafrøder mv.) og kollektive (vådområder, skovrejsning mv.), beslaglægger arealer. Der er ikke oplysninger om implementerede P-virkemidler, men en del af N-virkemidlerne har P-effekt.

I nærværende rapport er modellen kun kørt for P-indsatskrav, men P-sideeffekter af at opnå N-indsatskrav i kystvandoplande præsenteres også.

For P-indsatskrav er TargetEconN_P sat op for søoplande (Miljøstyrelsen, modtaget 10.02.2021)). I alt 435 søer og søoplande er lagt ind i modellen, og for 206 søer blev der med Vandplan 2 (Vandplan 2015-20219 (VP2) fastlagt et indsatskrav. Indsatskravene i modellen er VP2-krav da indsatskravene i Vandområdeplan 2021-2027 (VP3) ikke forelå da modellen blev sat op. Indsatskravene vil senere revideres til de gældende indsatskrav for Vandområdeplan 3. Af de 206 søer, er det kun 187 søer som indgår i det datasæt for de 435 søer, som vi har modtaget fra Miljøstyrelsen i 2021. Det er derfor de 187

⁴ Denne antagelse bygger dels på, at det ikke er fysisk muligt at implementere to virkemidler på en mark, fx vådområder og andre virkemidler, og dels på, at der for en række virkemidler ikke er viden om effekterne ved samtidig implementering. For en række virkemidler er det dog muligt at implementere dem samtidigt på samme mark, hvilket det er redegjort for i kapitel 3.

søer og oplande der indgår i modelopsætningen og resultaterne i denne rapport. Disse søoplande fremgår af figur 1, og er også beskrevet i bilag 1.



Figur 1 Kort over søoplande. Røde: målsatte søoplande. Blå: ikke målsatte.

Netværk for, hvordan de 435 søer er indbyrdes forbundne, er lagt ind i modellen via beregnede forbindelseskæder mellem søerne, for at kunne tage højde for at indsatser opstrøms har effekt på nedstrøms søer.

P er indarbejdet i modellen med henblik på at opnå følgende to formål:

1. At sikre at P-virkemidler placeres omkostningseffektivt i oplande til målsatte søer med et indsatsbehov for P. I denne version af modellen og modelberegningerne, er de målsatte søer indarbejdet som søer med indsatskrav i VP2. Der er regnet på to scenarier:
 Scenarie 1), hvor der er frit valg mellem P- og N-virkemidler med P-effekt (præsenteret i kapitel 5), og
 Scenarie 2), hvor der ikke er tilladt at vælge virkemidlerne brak og udtagning på højbund. Dette scenarie er medtaget for at vise hvilke virkemidler der er omkostningseffektive, hvis vi begrænser virkemiddelvalget, så udtagning/brak ikke kan vælges. Denne begrænsning er valgt da modelleringen af udtagning kan favorisere udtagning i et urealistisk omfang, da der ikke er indregnet evt. reduktioner eller andre ændringer i husdyrproduktionen ved udtagning og brak, ud over omkostninger ved øget transportafstand for husdyrgødning.
2. I et tredje scenarie beregnes P-sideeffekter af den omkostningseffektive N-indsats TargetEconN, for at opnå indsatskravene for N i kystoplande (her totalt 13075 tons N), som er beregnet i Hasler et al. (2022). Reduktionen i P-tab i kystvandoplandene, som følge af opfyldelse af denne N-indsats, opgøres med modellen for P til kystoplande, men opgøres også for søoplandene.

Fastlæggelse af P-reduktionseffekterne i både 1 og 2 er baseret på resultater fra P-risikokortlægningen, og for at kunne modellere P-effekterne, er det nødvendigt, at risikoklasserne anvendt i virkemiddelkataloget, er indarbejdet i modellen som geografiske data baseret på P-risikokortet (Andersen og Heckrath, 2020). Søoplande og søer er indarbejdet i modellen for at kunne beregne omkostningseffektiv placering af virkemidler i forhold til opfyldelsen af P-indsatskravene. I forhold til sideeffektsberegningerne (formål 2) så foretages beregningerne i henhold til N-indsatsen; dvs. at når N-virkemidlerne er fordelt omkostningseffektivt, så beregnes der med udgangspunkt i oplysninger fra de seneste N- og P-virkemiddelkataloger, sideeffekter på P-tab. Sideeffekterne opgøres kvantitativt for de virkemidler, hvor der jævnfør virkemiddelkatalogerne er grundlag herfor. Effekterne beregnes med anvendelse af P-risikokortet, således at P-sideeffekterne kun beregnes for arealer, hvor der er et P-tab via tabsvejene erosion, matrixudvaskning eller makroporeudvaskning. Brinkerosion bliver ikke reduceret ved N-virkemidler. Tabsvejene er mere detaljeret beskrevet nedenfor. For sideeffektsberegningen, præsenteres P-effekten fordelt på kystvande.

1.1 Definitioner og afgrænsninger

Virkemidlerne er afgrænset til arealbaserede P-virkemidler. Det vil sige, at P-fjernelse via virkemidler implementeret direkte i søer og vandløb, ikke indgår.

Grundlaget for at indarbejde P i den økonomiske model TargetEconN_P er P-virkemiddelkataloget fra 2020 (Andersen et al., 2020), P-risikokortet fra fosforkortlægningen (Andersen og Heckrath, 2020), samt kortgrundlag for søoplande mv., leveret af MST. I P-risikokortlægningen er der beskrevet og opgjort risiko for fire tabsveje:

1. Erosion: P der er løsrevet og som transporteres med vand, på partikulær form.
2. Matricetab: P-koncentrationen i jordvæsken stiger ved mætning af jordens kapacitet til P-binding, og opløst P kan udvaskes med nedsivende vand.
3. Makroporetabs: Vand- og P-tab foregår i makroporer større end 0,3 mm, hvis jorden er vandmættet. P kan tabes på både opløst og partikulær form.
4. Brinkerosion: P på partikulær form kan tabes ved løsrivelse af jordpartikler fra brinker til vandløb.

Derudover er reduktionen i P-tab som følge af P-vådområder i ådale opstrømssøer også medtaget, ligesom reduktioner i P-udledning fra spildevand også er med i modellen.

Tab via vinderosion, overfladeafstrømning, grundvand, og lavbundsgrunde er ikke medregnet, da disse tabsveje ikke har kunnet opgøres.

De virkemidler fra Virkemiddelkataloget (Andersen et al., 2020), som er indarbejdet i modellen, er virkemidler hvor der:

- er beregnet omkostninger,
- findes et grundlag for at beskrive og afgrænse potentialet for virkemidlet,
- er beskrevet og opgjort tabsveje samt effekt af virkemiddel (kg P/ha eller procent af P-tab).

I den efterfølgende del af rapporten præsenteres modelopsætningen, virkemidlerne, datagrundlaget og de kort, der indgår i datagrundlaget.

2 TargetEconN_P-modellen

2.1 Modelbeskrivelse

I TargetEconN_P-modellen foretages omkostningseffektivitetsanalysen ved at minimere omkostningerne ved at opfylde N- og P-miljømålene, hver for sig og samlet. Miljømålene er her udtrykt ved indsatsbehovene for N- og P-reduktioner. For N, er disse krav fastsat i vandområdeplanerne. For P, er der her anvendt indsatskrav fra VP2, da VP3-indsatskravene for P endnu ikke forelå, da beregningerne blev udført.

Modellen beregner den optimale omkostningseffektive sammensætning af virkemidler, der består af tiltag på markerne, vådområder, ved forbedring af spildevandsrensning, vådområder samt ved anlæggelse af træer ved strækninger langs vandløb. Den optimale sammensætning af virkemidler bestemmes af omkostningerne ved virkemidlet, potentialet og effekten lokalt for det enkelte virkemiddel samt reduktionsbehovet til den målsatte sø samt de nedstrømsliggende vandområder (søer).

TargetEconN_P er en geografisk-rumlig model, hvor data for dyrkning af afgrøder, gødningstildeling, omkostninger og effekter ved virkemidler, samt retentionen af N fra rodzone til kyst, er indarbejdet i modellen på markniveau. For spildevand, træer langs vandløb og minivådområder beregnes placeringen inden for oplande. Optimeringsalgoritmen søger at fordele indsatser, således at omkostningen ved den samlede indsats bliver så lav som muligt. Løsningen er således begrænset af, at reduktionen af P-tilførslen til en sø skal være lig med eller større end indsatskravet for søen. Der er indarbejdet tabsveje og effekter af P-virkemidler, samt retention af P mellem søer, der er forbundet med hinanden.

Modellen optimerer den omkostningseffektive løsning per kystvandopland og per søopland. Herved kan modellen anvendes til at beregne de totale omkostninger ved opfyldelse af indsatsbehov, samt de marginale omkostninger ved optimal implementering af forskellige virkemidler. Modellen er tidligere sat op for N-virkemidler og er dokumenteret i Hasler et al. (2022). Dette modelgrundlag, er en opdatering og videreudvikling af TargetEconN-modelgrundlaget som er beskrevet i Hansen et al. (2019), og tidligere versioner er beskrevet og anvendt i Hasler et al. (2019), Filippelli et al. (2020) og Konrad et al. (2022). Det er første gang, at P indarbejdes i denne type landsdækkende økonomisk model i Danmark, og indarbejdelsen har derfor været et udviklingsarbejde. Det er væsentligt, at søoplande og deloplande beskrives i forhold til de forbindelser der er mellem disse. Koblinger mellem søer og deres oplande er indarbejdet og beskrevet som retningsbestemte netværk, hvor nogle er store og nogle små, og nogle har flere deloplande, mens andre kun har et.

Den matematiske beskrivelse af modellen (målfunktion/kriteriefunktion og restriktioner, samt oversigt over modelvariabler) er indsat i bilag 1 til denne rapport.

Modellen beregner de samlede omkostninger ved opfyldelse af indsatskravene og minimerer disse, ved omkostningseffektiv implementering af virkemidlerne på markniveau. Virkemidlerne er præsenteret i kapitel 3.

Der er lagt en bi-betingelse ind om, at der kun kan placeres ét virkemiddel med én given arealstørrelse per beslutningsenhed, som er mark, retentionsopland eller spildevandsanlæg. Implementeringen svarer til det fulde potentiale for det givne virkemiddel på den givne enhed (mark, retentionsopland, anlæg). Årsagen til at det forudsættes, at der ikke kan implementeres mere end et virkemiddel, er, at en del virkemidler ikke kan implementeres samtidigt. Fx forudsætter den måde spildevandsvirkemidlerne er defineret på, at der kun sker en type opgradering, mens det for arealvirkemidler antages, at der for mange virkemidler kun kan implementeres et virkemiddel per mark. Fx kan skovrejsning på hele marken ikke kombineres med andre virkemidler. Nogle virkemidler kan imidlertid implementeres på en del af marken, fx permanent plantedække og randzoner. For disse virkemidler, kan der beregnes en effekt for den del af marken, de antages implementeret på, og dette er indarbejdet i modellen. Matricen i tabel 4 angiver, hvilke virkemidler som kan implementeres samtidigt, og hvilke der er gensidigt udelukkende i modellen, med antagelse om at dette også gælder i virkelighedens verden. Vi har implementeret disse kombinationer af virkemidler i modellen.

Effekterne af virkemidlerne på tab af P via tabsvejene er beregnet per areal og omregnet til effekter på markniveau, og det er indarbejdet i ligningerne. Dette gennemgås mere grundigt i kapitel 3.

I modellen er hver mark koblet til et N-retentions-opland (ID15) (Højberg et al., 2020), og minivådområderne⁵ er modelleret inden for disse ID15-oplande (se Hasler et al. 2022). I forbindelse med projektet, er der tilføjet til modelleringen, at opstrømseffekter også får en effekt til nedstrømssøer for P (en såkaldt søkæde-retentionseffekt). Dette er efter vores vidende helt nyt og ikke udført i andre modelopsætninger for fosfor, hverken i Danmark eller udlandet.

2.2 Modellering af retention mellem søer - håndtering af forbindelseskæder mellem søer i TargetEconN_P

For målsatte søer, skal den samlede reduktion fra eget opland og søer i opstrømsoplande være lig med eller højere end indsatskravet for søen, mens omkostningerne minimeres. For hvert søopland beregnes derfor den samlede P-reduktion, inklusive reduktioner der stammer fra oplande opstrøms i samme kæde.

En sådan søkæde er illustreret i kortet i figur 2 og forklaret i det efterfølgende.

Indsatskravet til en sø er beregnet ud fra, hvor meget søen belastes i form af totalfosfor (TP), og tilførslen til søen (belastningen) er beregnet under hensyn til tilførslerne fra opstrømssøer.

Søkædedata omfatter data for søer placeret nedstrøms den første sø i kæden, ved at sø nummer to og de efterfølgende søer også får en effekt af indsatsen i

⁵ Potential for minivådområder er afgrænset af hvor mange minivådområder der er plads til inden for hvert ID15-opland, hvor det potentielle areal er givet af Minivådområdekortet. Et minivådområde i TargetEconN_P 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. Dette er de nødvendige oplande til minivådområderne og oplandet omfatter flere marker. Minivådområderne er derfor ikke koblet til markniveauet men til retentionsoplandet (ID15). For en mere detaljeret beskrivelse, se Hasler et al. (2022), side 18-19.

sø 1. Effekten i søen er beregnet som indsatsen i sø 1x(1 – retentionen i sø 1). Effekten af virkemidler i sø 1 er 100 %, og effekten af indsats i sø 1 på sø 2 reduceres med retentionen for sø 1. Hvis retentionen i sø 1 er 29 %, er effekten i den efterfølgende sø 2 (100-29%), dvs. 71 % af effekten i sø 1. En eventuel retention mellem søerne medregnes ikke, fordi den retention der regnes på udelukkende er den retention som sker i søen. Søernes indbyrdes forbindelser i kæder samt retentionerne er beregnet af MST og indsatskravene er ligeledes beregnet af MST. Som nævnt, er VP2-indsatskravene lagt ind i modellen, da der endnu ikke er defineret VP3-indsatskrav for søer.

I modellen kontrolleres effekten i søer placeret nedstrøms andre søer, via parameteren *Peff*, som er inkluderet i data leveret fra MST (MST, 2020). *Peff* er opgjort som den procentdel af P-indsats i en sø som når den næste sø i kæden. *Peff* er således den effekt af indsats på P-tabet som videreføres fra en sø til en anden i kæden, og denne kæde beregnes for hver kombination af opstrøms-/nedstrømssøoplande. P-effekten for et eksempel-opland fremgår af tabel 1.

Vi anvender to ligninger til at modellere sammenhængen mellem effekten på P-tab til søer placeret hhv. opstrøms og nedstrøms hinanden. I ligning 1, summerer vi for hver sø og dens opland, her defineret som søopland, effekterne (dvs. reduktionerne) for alle tiltag. For alle søoplande, beregnes summen af P-reduktioner for hvert opland inden justering for retention (*P-eff*). Med ligning 2, beregner vi for hvert søopland den samlede P-effekt (reduktion) for alle opstrømssøer, som er forbundet i den samme kæde. I beregningen anvendes to tabeller, samt outputtet fra ligning 1. I en tabel (kaldet "down_up") vises for hvert søopland alle de opstrømsbeliggende oplande, som det er forbundet med (dvs. "forbindelseskæden"). En tabel "p_transp_matrix" viser "*Peff*"-værdien. Disse tabeller (down- up og p transp matrix) er input til modellen.

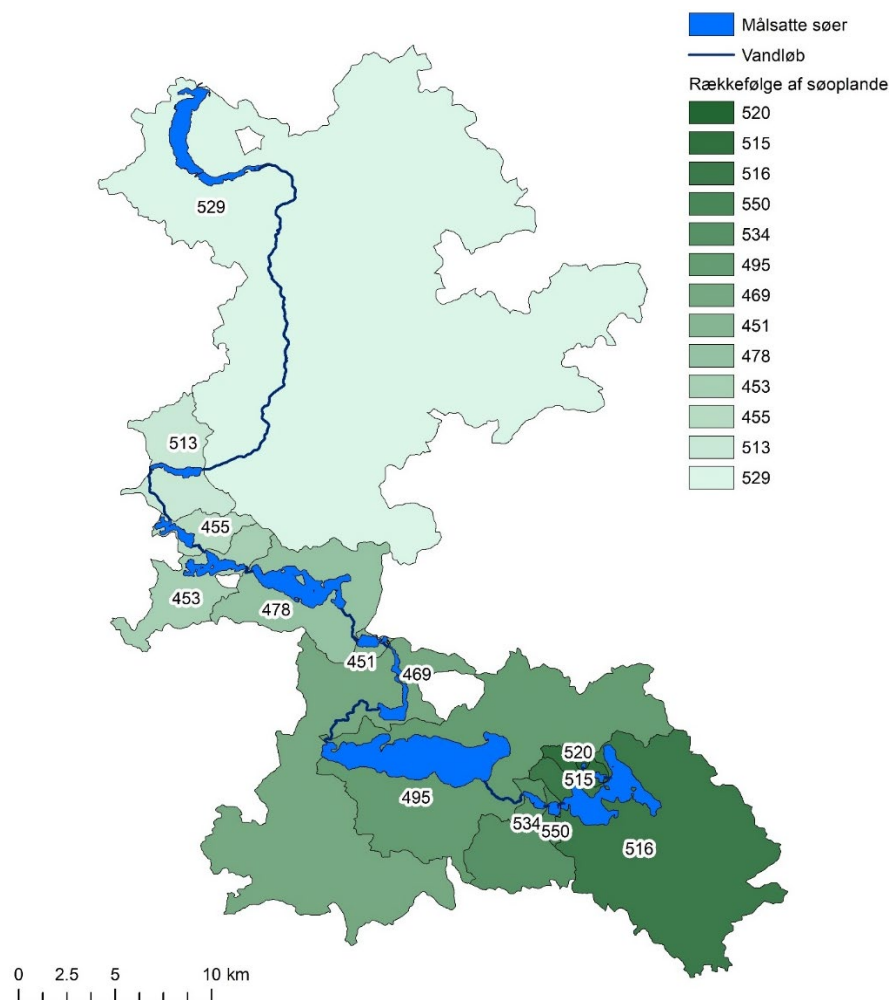
Med summen af P-reduktioner for hvert søopland givet ved ligning 1, beregnes der i ligning 2 for hvert søopland, summen af de totale P-reduktioner (ligning 1) for alle forbundne opstrømsplacerede søer (down_up-tabellen) multipliceret med den tilhørende *Peff*-værdi (p_transp_matrix-tabellen).

For søer, hvor der er fastsat et indsatskrav, skal resultatet af ligning 2 være større end eller lig med dette krav, samtidigt med at omkostningerne ved at opfylde indsatskravet er minimeret. Hvis det ikke er muligt at nå det fastlagte mål, specificeres en værdi for en "*exceed_p*" variabel, som angiver afvigelsen fra målet. Det er nødvendigt at tillade dette, da målopfyldelse ikke er muligt i alle oplande, men det er interessant at se hvor langt man kan nå med de tilgængelige virkemidler. Denne variabel er med i målfunktionens minimering som sikrer, at også denne afvigelse fra målet er minimeret.

Søkædemodelleringen kan eksemplificeres for udvalgte søer, hvor vi har valgt oplande i Midtjylland, jf. tabel 1 nedenfor og illustreret i figur 2. De data vi har modtaget fra MST indeholder ID-numre som er koblet til oplandskort, koblingen mellem sø og nedstrømssøer, retentioner for N og P samt effekter. Tabel 1 og figur 3 viser således eksempler på søkæder, med udgangspunkt i effekten af virkemidler implementeret i oplandet til sø nr. 515 på nedstrømsliggende søer. Retentionen i sø nr. 515 og øvrige nedstrømsliggende søer imellem sø nr. 515 og den i kolonne 2 anførte nedstrømsliggende sø, er indregnet i N-effekt og P-effekt.

Tabel 1 Eksempel på søkæde for sø 515, grunddata.

Sø ID	ID nedstrøms	N effekt	P effekt (<i>P-eff.</i>)	Type
515	451	0,011675	0,103258	Soe
515	453	0,008130	0,056911	Soe
515	455	0,007028	0,041987	Soe
515	469	0,013021	0,131453	Soe
515	478	0,010978	0,083030	Soe
515	495	0,082269	0,232743	Soe
515	513	0,006345	0,031913	Soe
515	515	1,000000	1,000000	Soe
515	516	0,585159	0,729044	Soe
515	529	0,005896	0,025458	Soe
515	534	0,096822	0,301720	Soe
515	550	0,116489	0,417004	Soe
515	150063 (kyst)	0,005054	0,018761	Kystvand



Figur 2 Illustration af søkæde startende med sø 520.

De grunddata der er vist i tabel 1, er opgjort for opstrømssøer til nedstrøms-søer. I modellen foretages optimeringen for alle søer med udgangspunkt i indsatskravene for den enkelte sø, så derfor er det nødvendigt, at vi kender effekten fra opstrømssøer, fordi krav i nedstrømssøer kan imødekommes ved indsats i opstrømssøer.

Her gives eksempler på hvordan søkæde-optimeringen foregår:

Søkæde-illustrationen starter med sø 520, der har et indsatskrav på 452 kg P/år. I en løsning opfyldes dette krav med kun 3 kg P i sø 515. Dvs. der er en stor difference til målopfyldelse. Årsagen er, at det i oplandet til denne sø er meget få arealer med potentiale for reduktion af fosfortabene gennem de kortlagte fosfortabsveje. Virkemidler implementeret nedstrøms, kan ikke medvirke til effekt i den opstrøms sø, så denne manglende målopfyldelse vil ikke kunne imødegås af nedstrømsreduktioner i P-tabene. Sø 516, som ligger nedstrøms 520 og også sø 515, har et indsatskrav på 1215 kg P. Dette indsatskrav opnås og overopfyldes, idet der i optimeringen opnås en reduktion på 1212 kg P i oplandet til søen selv, og i tillæg en mindre effekt af indsatsen fra søerne 520 og 525. Samlet og inklusive retention giver dette en ekstra reduktion på 91 kg P i sø 516, som samlet bliver på $1212 + 91 \text{ kg P} = 1303 \text{ kg P}$. Dermed overopfyldes indsatsen i sø 516 med 88 kg P ($1303 - 1215$).

Forklaringen på at der sker en overopfyldelse i sø 516, er dog ikke kun effekten fra opstrøms søer, men også at der sker en reduktionsindsats i oplandet til sø 516 for at skaffe en reduktion i nedstrøms søer til sø 516. Sø 469 har fx et stort indsatskrav på 5220 kg P, hvor kun 487 kg P reduceres i oplandet til søen selv, mens 3.467 kg P reduceres i opstrøms søer, og der er derefter en difference på 1.753 kg P. Efter optimeringen, inklusive reduktionen i opstrøms søer, er der således et tilbageværende indsatskrav på 1.753 kg P.

Disse eksempler illustrerer, at kædemodelleringen har stor betydning. For nogle søer opnås der en større reduktion end indsatskravet, når effekten fra opstrøms søer medregnes, og indsatskravene fra nedstrøms søer opfyldes ved indsatser i opstrøms søer. For de fleste søer, er der dog en manko i forhold til opnåelse af indsatskravene. Det skyldes, at der ikke er et tilstrækkeligt potentiale for virkemidlerne og ikke en tilstrækkelig effekt af de tilgængelige virkemidler inden for hvert opland, i forhold til det potentiale der er for dem. Problemet kan derfor kun løses ved at få flere virkemidler i spil.

3 Oversigt over virkemidler

Virkemidlerne der indgår i den nuværende version af TargetEconN_P, er udvalgt fra P-virkemiddelkataloget med udgangspunkt i kriterierne specificeret under afgrænsninger i kapitel 1.

P-virkemidler i den nuværende version (2021) af TargetEconN_P omfatter de nedenstående virkemidler, som består af landbrugsrelaterede virkemidler på og i nærheden af dyrkningsfladen, samt tiltag relateret til spildevand og regnvandsbetingede overløb. For alle de landbrugsrelaterede virkemidler, er grundlaget for effekter og omkostninger beskrevet i Andersen et al. (2020), og er kort opsummeret nedenfor samt i tabel 2. Omkostninger og effekter for hvert af virkemidlerne beskrives mere grundigt efter tabellen.

1. **Permanent plantedække:** Etablering af striber med permanent græs og urteagtig vegetation på dyrkede marker kan reducere tab af jord og P med overfladisk afstrømmende vand. Udformning og indplacering af disse arealer skal tilpasses de lokale topografiske forhold og den naturgivne erosionsrisiko (Andersen et al., 2020). Virkemidlet retter sig mod marker med høj erosionsrisiko, og kan implementeres på marker i omdrift uden andre virkemidler mod erosion. Virkemidlet implementeres kun på den del af marken, der er udsat for erosion, dvs. mindre områder (0,1-0,2 ha). Virkemidlet er indarbejdet i modellen ved at plantedækket omfatter 10 % af markens areal. Omkostningen bygger på Andersen et al. (2020), og er beregnet i henhold til den andel af marken der omlægges og tages ud af omdrift.
2. **Negativ P-balance:** Virkemidlet indebærer reduceret eller ophør med P-gødsning. Virkemidlet antages implementeret på en hel mark. Negativ P-balance antages ikke at føre til lavere udbytte. Det er vurderingen, at der i dag allerede er negativ P-balance på dele af Sjælland. Grundlæggende betyder krav om negativ P-balance, at husdyrgødning skal fordeles over et større areal. Vi antager, at der med negativ P-balance sker en årlig reduktion i jordens P-pulje med 10 kg P/ha til en omkostning på 5 kr. pr. kg P, svarende til 50 kr. pr. ha, hvor tiltaget implementeres, baseret på Andersen et al. (2020). Omkostningen skyldes omfordeling af husdyrgødning, og dermed øgede transportomkostninger. Potentialet for dette virkemiddel er alle marker der tilføres P-gødning og hvor der er P-tabsrisiko.
3. **Skovrejsning** kan modvirke det P-tab, der sker via erosion, samt tab via makroporer. Skoven kan plantes på marker i omdrift og virkemidlet implementeres på hele marken. Potentialet er således alle marker i omdrift, men da kommunerne har udpeget områder, hvor skovrejsning er henholdsvis ønskelig eller uønsket, så kan potentialet begrænses i TargetEconN_P, ved at disse udpegninger anvendes som potentialeafgrænsning. I den nuværende opsætning af modellen, anvendes områder, hvor skovrejsning er ønsket i kommunernes udpegninger. Omkostningerne er beregnet med udgangspunkt i Andersen et al. (2020), som tab af dækningsbidrag fra afgrøderne der blev dyrket minus indtægt fra skovbrugsproduktionen. Som for de øvrige virkemidler der indebærer permanent omlægning, er der indregnet en omkostning til en øget transportafstand for gylle for arealer der er gødet med husdyrgødning.
4. **Optimeret jordbearbejdning (reduceret jordbearbejdning og/eller direkte såning)** anvendes på dyrkningsfladen (marker i omdrift) på skrå-

nende marker og kan begrænse tabet ved erosion og overfladeafstrømning. For dette virkemiddel antages det, at der praktiseres reduceret jordbearbejdning, mens effekterne af direkte såning ikke er medregnet, da reduceret jordbearbejdning er mest udbredt. Omkostningsberegningen inkluderer effekterne på udbytte, tidsforbrug og forbrug af pesticider, og omkostningen er skønnet til 200 kr./ha (Brian Jacobsen, Institut for Fødevare og Ressourceøkonomi, Københavns Universitet, personlig kommunikation), da denne omkostning ikke er opgjort i virkemiddelkataloget for P (Andersen et al., 2020). Potentiale er marker inden for omdriften.

5. **Minivådområder med åben vandflade** er et drænvirkemiddel, som etableres på et areal beliggende lige inden drænets udløb. Det åbne minivådområde består af et sedimentationsbassin og efterfølgende et bassin med både dybe og lavvandede vegetationszoner (Andersen et al. 2020). I virkemiddelkatalogerne (Andersen et al. 2020 og Eriksen et al. 2020), er der beregnet omkostninger og effekter for tre størrelser som virkemiddel, i modellen på hhv. 0,2, 0,5 og 1 ha, hvilket er antaget at svarer til drænoplande på hhv. 20, 50 og 100 ha. Omkostninger og effekter er fordelt på oplandet. Potentialet for minivådområder er udpeget i et eget kortgrundlag, jf. kapitel 4 i denne rapport. Potentialet beskrives nærmere i kapitel 4.
6. **Målrettede brede og tørre randzoner** anlægges, så de passer til den overfladiske afstrømning gennem randzonen fra marken til vandløb eller sø. Randzonen braklægges, og virkemidlet i modellen omfatter udtagning af 10 til 20 meter brede randzoner. Der høstes vegetation fra randzonen for at fjerne næringsstoffer. Effekten mod erosion fra af denne type randzone formodes at indtræde så snart randzonen er vokset til, efter det første år. De 2 meter pligtige randzoner er fratrasket effekt- og omkostningsberegningen, der hvor disse er anlagt da der ikke vil være en ny effekt fra disse allerede anlagte randzoner. Kort over vandløb med bræmme krav er leveret fra Institut for Ecoscience, Aarhus Universitet, baseret på kortlag fra NaturErhvervstyrelsen fra 2014, jf. kapitel 4.
7. **Vådområder:** Vådområderne implementeres på marker i omdrift, potentialet er afgrænset af vådområdepotentialkort. De genetablerede vådområder antages at blive oversvømmet af vandløbsvand og samtidigt antages arealet at blive overrislet med drænvand/grøftevand. Potentialet for vådområderne (såkaldte kvælstofvådområder) er kulstofrige lavbundsjord (<https://www.retsinformation.dk/eli/lta/2019/1523>) for at vådområdeetableringen kan ske med tilskud. Således skal minimum 75 % af projektområdet være beliggende på kulstofrige lavbundsjord med minimum 6 % organisk kulstofindhold, jf. figur 9 (kapitel 4), kortet Tekstur2014 (<https://mst.dk/natur-vand/vandmiljoe/tilskud-til-vand-og-klimaprojekter/udtagning-af-lavbundsjord/>). Antagelsen om den høje P-effekt for vådområderne bygger på beskrivelsen i Eriksen et al. (2020) og medfører, at der antages en måske urealistisk høj P-effekt og denne kan derfor være usikker. Forudsætningen om oversvømmet/overrislet areal er valgt, da det alternative valg er søer. Omkostningerne består af tab af dækningsbidrag på de marker der omlægges samt sløjfning af dræn (Andersen et al. 2020).
8. **P-vådområder/P-ådale** etableres langs vandløb opstrøms søer, og de virker ved at tilbageholde suspenderet stof og partikulært P via sedimentation. Disse processer sker, når områderne oversvømmes af vandløbsvand i perioder med stor afstrømning af vand. Det er således et kriterie, at der periodevis er stor vandføring. Sedimentationen påvirkes bl.a. af topografi, hældning og oversvømmelser (varighed, hyppighed). Potentialet for dette virkemiddel er beregnet som en del af projektet, da der ikke var tilgængelige potentialeberegninger. Potentialet er for arealer langs de større type 2-

og type 3-vandløb, hvor hældningen ikke må være større end 0,5 promille og hvor arealet ligger inden for udpegninger af potentielle P-ådale (MST, 2021) og inden for ådalsafgrænsningen, som AU Agrosience og Ecoscience har udarbejdet i sammenhæng med udarbejdelse af potentialekort for minivådområder (AU Agrosience og Ecoscience, 2021). I kapitel 4 findes en mere detaljeret beskrivelse af potentialeberegningen.

9. **Træer langs vandløb** er foreløbig det eneste virkemiddel mod brinkerosion. Træerne plantes på brinkerne til vandløb, idet de stabiliserer vandløbsbrinken, hvorved brinkerosionen reduceres. Træplantningen kræver en ikke dyrket bræmme langs vandløb, som ikke er dækket af træagtig vegetation i forvejen. Potentialet omfatter vandløbsstrækninger, hvor begge sider af vandløbet er uden træagtig vegetation. Data til denne beregning er modtaget fra Institut for Ecoscience, Aarhus Universitet.
10. **Spildevandsrensning**: virkemidlet omfatter opgradering af rensning på eksisterende anlæg, og der indgår tre trin for P og fire trin for N: M til MBN (N, P); MBN til MBNDK (N, P); MBNDK til MBNDF (N, P) og MBNDKF til MBNDKFe (N). Initialerne har disse betydninger: M=mekanisk, B=biologisk, N=nitrifikation, D=denitrifikation, K=kemisk fældning, F= efterpolering i filter, e=efterdenitrifikation. Der er medtaget renseanlæg med en kapacitet større end 30 PE, der er registreret i PULS-databasen. Data er leveret fra MST (MST, 2020). Der er ikke taget højde for eventuelle planlagte ændringer i perioden 2021-2027. Der er ikke medtaget renseanlæg, der har været omfattet af indsatsprogrammet i VP1 og VP2. Data er baseret på leverance og beskrivelse fra MST, november 2020.
11. **Regnvandsbetingede overløb**: Bassiner kan etableres for at reducere både N og P. Virkemidlets effekt er beregnet som 75 % reduktion i kg N og kg P. Virkemidlet er dog ikke medtaget i de udførte beregninger, da omkostningsberegningen er for usikker.

Yderligere potentielle virkemidler, som endnu ikke er inde i modellen, er intelligente randzoner og okkeranlæg. Disse er ikke indarbejdet endnu, da det ikke har været muligt at indhente information om potentialerne for disse virkemidler.

Virkemidlerne er beskrevet med hensyn til effekter og omkostninger i tabel 2, hvor omkostningerne er beskrevet i kolonne 7. De består af tab af dækningsbidrag for de virkemidler hvor der sker en ændring på arealerne, så der ikke længere opnås indtægt fra landbrugsproduktionen, samt af annuierede omkostninger til etablering, og hvor det er relevant er vedligeholdelse også inkluderet.

Datagrundlag og beregninger af omkostningerne er præsenteret i virkemiddelkatalog for P (Andersen et al. 2020). I TargetEconN_P anvendes ikke de gennemsnitlige dækningsbidragstab, men derimod dækningsbidragstab beregnet for de specifikke afgrødekombinationer på markniveau, med anvendelse af det samme datagrundlag for dækningsbidrag, som i virkemiddelkatalogerne. Dette betyder at omkostningsberegningen i TargetEconN_P er meget detaljeret og reflekterer forskelle på markniveau.

Tabel 2 P-virkemidler i TargetEconN_P.

Virkemiddel	Effekt					Omkostning (årlig), kr. (+ er omkostning, - er indtægt)	Potentiale
	Erosion	Matrice	Makropore	Brink	Udvaskning/tab		
Permanent plantedække	90 %					Tabt dækningsbidrag (DB)på 10% af marken + 80 kr./ha (etablering)	Marker i omdrift med P-tab
Negativ P-balance, 10 og 20 kg årlig reduktion	5 % 20 %	5 % 20 %	5 % 20 %			50 kr./ha for 10 kg 100 kr./ha for 20 kg	Marker i omdrift med P-tab
Skovrejsning	100 %		35 %			Tabt DB fra mark – 37 kr./ha (37 kr./ha/år indtægt)	Marker i omdrift med P-tab
Optimeret jordbearbejdning	50 %					200 kr./ha	Marker i omdrift med P-tab
Minivådområder, åbne, 3 størrelser: 0,2 ha; 0,5 ha og 1 ha.		45 %	45 %			23.255 kr. (0,2 ha), 33.617 kr. (0,5 ha), 50.391 kr. (1 ha)	Minivådområdekort
Tørre randzoner	10 m: 62 % 20 m: 75 %					Tabt DB fra mark, der anvendes til randzone, samt plejeomkostninger: 10 m: 273 -342 (med og uden 2 m bræmmer); 20 m: 614-682.	Vandløbskort + markort
Vådområder					4,5 kg P/ha	Tabt DB fra mark og etablering– 3.486 kr./ha	Lavbund, Tekstur 2014 kort--
P-ådale					15 kg P/ha	For vandløbstype 2: tabt DB fra marken+ 9.733 kr./ha For vandløbstype 3: tabt dækningsbidrag fra marken +13.200 kr./ha	Potentialekort baseret på beregning af vandløbshældning og areal, der kan oversvømmes
Træer langs vandløb				33 %		0, 753, 2.154 og 2.908 kr./km, for naturlig etablering, naturlig etablering med udtagning, plantning og plantning med etablering.	Vandløb uden træbevoksning på brinkerne
Forbedret spildevandsrensning					Reduktionen er specifik fra anlæg til anlæg	Omkostningen er specifik fra anlæg til anlæg	
Overløb					75 % reduktion	4.987 per enhed	

Virkemiddeffekterne er beregnet for tabsveje erosion, matrice- og makroporeudvaskning som den andel af P-tabet der reduceres ved virkemidlet. Effekterne er beregnet på baggrund af Andersen et al. (2020) (tabel 1.2, side 17), der har opgivet virkemiddeffekten som en procentvis reduktion af P-tabet. P-tabet er opgivet i P-risikotabskortet (Andersen og Heckrath, 2020) for de forskellige tabsveje. Reduktionseffekterne i Andersen et al. (ibid, 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 for intervallet.

For virkemidlet negativ P-balance, er der anvendt en effekt på 5 % for 10 kg reduktion i jordpuljen årligt i 20 år, og 20 % for en 20 kg reduktion årligt i 20 år.

For minivådområder, er det valgt at anvende 45 % reduktionseffekt som gennemsnit (jf. Andersen et al., 2020, s. 90). For træer langs vandløb, er der ligeledes valgt et gennemsnit (33 %). For de målrettede tørre 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 et al., 2020, tabel 3.86, side 188).

For P-ådale, er der beregnet et potentiale (beskrevet i kapitel 4 i denne rapport), og antaget en effekt beregnet ud fra P-deposition i ådale i gP/m^2 , på 15 kg/ha. Andelen af ådalen der oversvømmes er beregnet, og beregningsmetoden er også beskrevet i kapitel 4.

Da en del virkemidler kun optager areal for en del af marken, giver det mulighed for, at der kan implementeres virkemidler på det resterende areal, fx når der anlægges randzoner eller etableres permanent plantedække på en mindre del af arealet.

Det gælder også, at der er forskelle i effekt på tabsveje mellem virkemidlerne. For nogle virkemidler, er der effekter for alle tre tabsveje, jf. tabel 2, mens der for andre kun er effekt på en tabsvej. Hvis et virkemiddel har effekt for alle tabsveje, så kan de adderes, men hvis der implementeres to virkemidler på samme mark, som begge har effekt på den samme tabsvej, så er det kun effekten af det ene virkemiddel, der medregnes. For eksempel er der effekt på erosion både ved implementering af negativ P-balance og ved implementering af optimeret jordbearbejdning, som er to virkemidler, der kan implementeres samtidigt. Der regnes da kun med effekt på erosion fra optimeret jordbearbejdning, mens de øvrige effekter (matrice og makroporetabs) regnes ind for negativ P-balance. Kombinationseffekterne mellem virkemidler er beskrevet i tabel 3.

3.1 N-virkemidler med P-effekt og samtidig implementering af N- og P-virkemidler

Der er også N-virkemidler, som har en P-effekt, og der er N-virkemidler, som ikke har en P-effekt, men som kan implementeres på samme areal som P-virkemidler. Dette er vigtigt, da der uden denne form for sameksistens opstår en stor konkurrence om arealerne.

De fleste af de N-virkemidler, som har en P-effekt, er gennemgået som P-virkemidler, og omfatter vådområder (overrisling), randzoner, skovrejsning og minivådområder.

Derudover har permanent udtagning⁶ og brak også P-effekter. Det er besluttet at fastsætte effekten på P-tabene fra brak og permanent udtagning af højbund til den samme effekt som skovrejsning (personlig kommunikation Gitte Rubæk, AU AGRO). Det er dog ikke muligt at fastsætte P-effekten af permanent udtagning eller brak på lavbund, hvorfor det her ikke er indregnet nogen effekt for dette virkemiddel for P på lavbund.

Virkemidlerne efterafgrøder, mellemafgrøder, tidlig såning og reduceret kvælstofgødningsanvendelse har ikke effekt på P-tabene, men kan implementeres samtidigt med enkelte P-virkemidler. Kombinationsmulighederne er beskrevet i tabel 3.

Tabel 3 Samtidig implementering af N-virkemidler med og uden P-effekt og P-virkemidler. P-virkemidler angivet i rækkerne, N-virkemidler i kolonnerne.

P-virkemidler	N-virkemidler				
	Med P-effekt		Uden P-effekt		
	Permanent udtagning og brak	Efterafgrøder	Mellemafgrøder	Tidlig såning	Reduceret gødningsanvendelse (N-)
Permanent plantedække (PPC)	Ja, for resterende areal - PPC (10 % af arealet)				
Negativ P-balance	Nej	Ja	Ja	Ja	Ja
Skovrejsning	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej
Brak	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej
Optimeret jordbearbejdning,	Nej	Ja	Ja	Ja	Ja
Minivådområder, åbne	Nej	I opland	Nej	Nej	Nej
Randzoner	Ja, for resterende areal ud over randzone				
Vådområder	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej
P-vådområder (P-ådale)	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej
Træer langs vandløb	Ja, for resterende areal ud over brink				

Kombinationerne af effekterne af N- og P-virkemidlerne, som fremgår af både tabel 2 og 3, er indarbejdet i modellen som særskilte virkemidler.

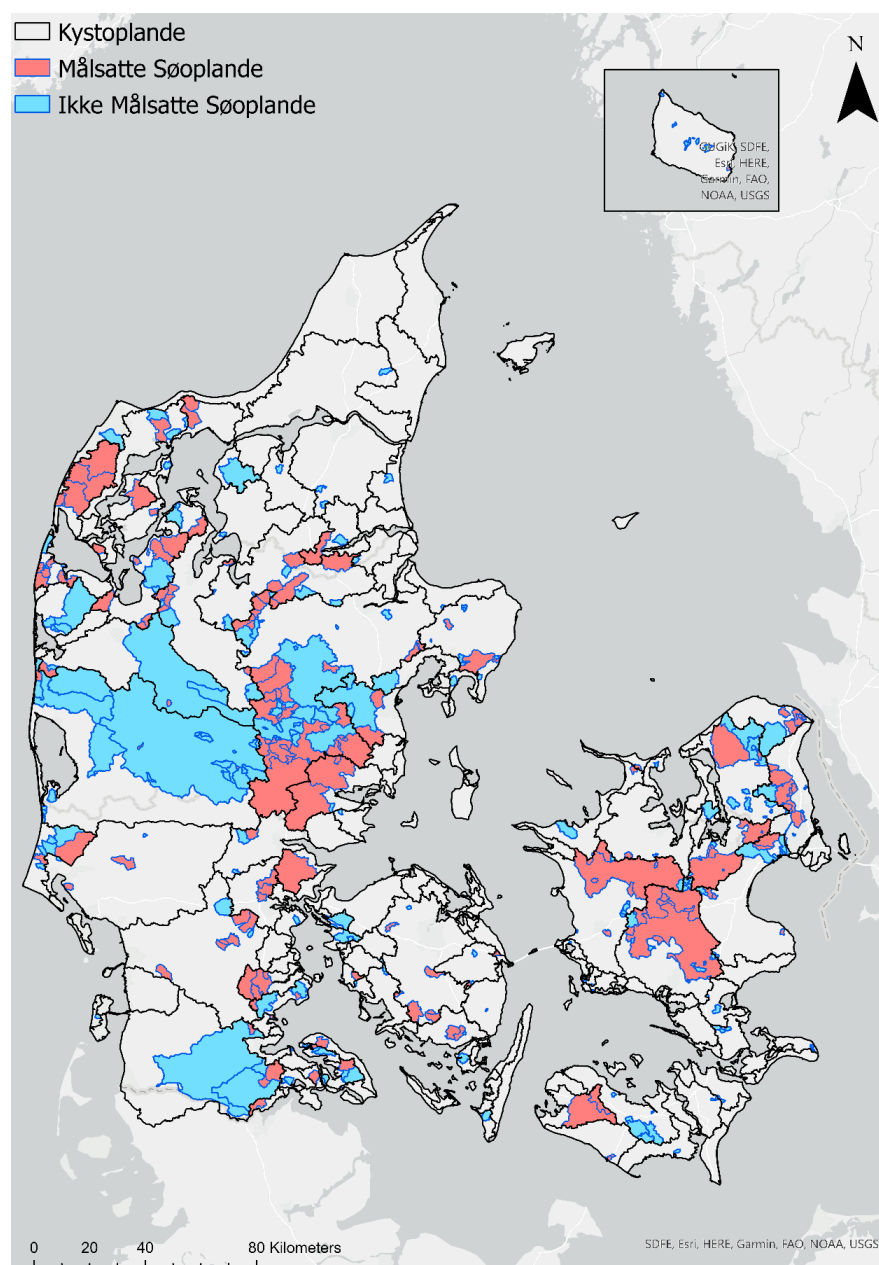
⁶ Når der senere refereres til udtagning i denne rapport så refereres der til permanent udtagning, mens brak refererer til udtagning over kort tid, mindre end 5 år.

4 Data og kortgrundlag

Opdateringen af TargetEconN_P til at kunne modellere P-virkemidler og indsatskrav for P til søer, omfatter indarbejdelse af en række datalag specifikt for P og søer. N-modelleringen i TargetEconN er også vigtig for P-modelleringen. Den efterfølgende gennemgang af datalag omfatter derfor både de datalag, der er relevante for den samlede N- og P-modellering, og de datalag, der er specifikke for P-modelleringen.

4.1 Datagrundlaget for N- og P-modelleringen

Som forudsætning for scenarieberegningerne for N-reduktioner til kystvandoplande, er der indarbejdet afgrænsninger for kystvandoplande (108 kystvandoplande, da et kystvandopland uden landbrugsarealer er udeladt). Kort med de 108 oplande er vist i figur 4.



Figur 4 Kort over de 108 kystoplande, 206 målsatte og 239 ikke-målsatte søoplande.

Oversigt over de 108 kystvandoplande findes i bilag 1. I bilag 1 er der også vist vægte, der er anvendt til omregning fra de tidligere 90 til 108 kystvandoplande., idet denne fordelingsnøgle er anvendt til at omregne potentialeopgørelser for virkemidler, som forelå på de 90 kystvandoplande. Søoplande beskrives i det efterfølgende afsnit.

4.2 Datalag for identifikation af søoplande

Der er 206 målsatte søer i VP2. Temaet fra MST: input_soe_netw_5.shp, som indeholder oplandsgrænser for 435 søer, er anvendt til identifikation og fastlæggelse af søoplande, som er lagt ind i Basemap-databasen for TargetEconN. GIS-filer med de 206 søer fra VP2 med et indsatsbehov >10 kg P, i alt 206 søer, er modtaget fra Miljøstyrelsen. Reelt er det kun 205 søer, fordi afløbet fra Dybvad Sø tørrer ud, hvilket betyder, at det ikke er muligt at lave belastningsopgørelser i søen. Dybvad sø fremgår således heller ikke af GIS-lag. Kortet i figur 1 viser de målsatte søer samt søer uden indsatskrav i VP2.

Der er i princippet kun et opland per sø, men da der er et oplandshierarki, dvs. søer i række som beskrevet i kapitel 2, så er der en retention mellem søer i kæde, og der vil derfor være flere deloplande til hver sø.

Delvandoplandene fremgår af GIS-lag tilsendt fra MST, beskrevet i kapitel 2. Deloplandet til en sø er søens eget opland, dvs. at oplandet til de søer der ligger opstrøms, indgår ikke i søens delopland. Heloplandet til en sø udgøres af søens eget delopland, samt oplandene til alle søer opstrøms.

4.3 Relation mellem ID15-områder og søoplande

ID15-oplandene anvendes i TargetEconN_P til at modellere N-retention, som er opgjort for denne enhed. Det er væsentligt, at datalagene for N-modelleringen spiller sammen med P-datalagene, så vi kan blive i stand til at modellere både P og N samtidigt.

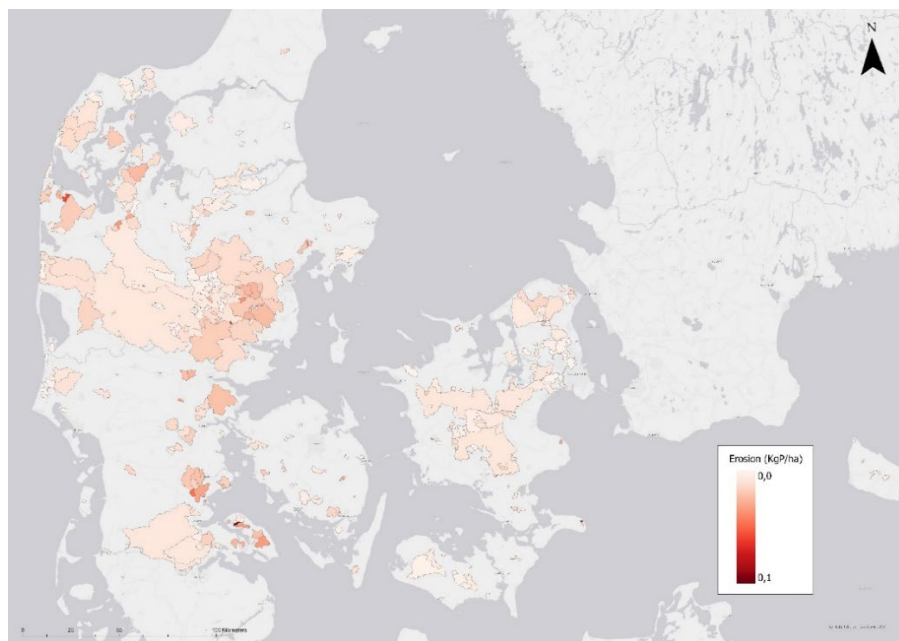
De fleste ID15-områder er entydigt knyttet til et søopland, dvs. disse ID15-områder er beliggende i ét søopland. Kortet over søoplande (input_soe_netw_5) viser imidlertid, at der er nogle ID15-områder, der overlapper med mere end ét søopland. Disse ID15-områder kan derfor ikke knyttes entydigt til et søopland.

I mange tilfælde skyldes overlappene med mere end ét søopland, mindre afvigelser mellem kortene over hhv. ID15-områder og søoplande. Selv hvis afvigelser på under et par meter ignoreres, er der imidlertid 67 ID15-områder, som overlapper med mere end et søopland. For at opnå en entydig sammenhæng mellem ID15-områder og søoplande, opdeles disse 67 ID15-områder i delområder, som entydigt kan knyttes til søoplande. På grund af de nævnte afvigelser mellem de forskellige kort blev opdelingen foretaget manuelt i GIS. De opdelte ID15-områder blev tildelt et ekstra tal til slut i ID-nummeret; hvis eksempelvis ID15-området "34200345" opdeles i to, så bliver ID-numrene for de to delområder "34200345_1" og "34200345_2". ID15-områder der ikke opdeles, tildeles et "0" til slut i ID-nummeret. Der dannes derefter en ny tabel, hvor det for hver af de opdelte ID15-områder fremgår, hvor stor en andel af det oprindelige ID15-område, de udgør. ID15-områderne er vigtige for koblingen mellem N- og P-modelleringen, idet N-retentionen er opgjort for ID15-områder.

4.4 Modellering af P-tabsveje og potentialer for virkemidler

4.4.1 Erosion

I P-risikokortet er sedimenttab forårsaget af erosion fra mark til vandområde opgjort i kg/ha for 10 m gridceller. P-tab til vandområder varierer inden for markerne og er estimeret af Institut for Agrosience, AU, ud fra modelleret sedimenttab fra mark til vandområde i kombination med rumligt varierende P-indhold i den eroderede jord estimeret i ConTerra (2019). Efterfølgende er P-tab i kg P per mark beregnet for hver mark (markkort 2018). For hver mark (markkort 2018) er der angivet (1) arealet med P-tab, (2) det samlede P-tab for arealet identificeret under (1). Der er derfor opgjort det areal pr mark, hvorfra der forekommer erosion, og P-tabet fra erosionsarealet på marken.



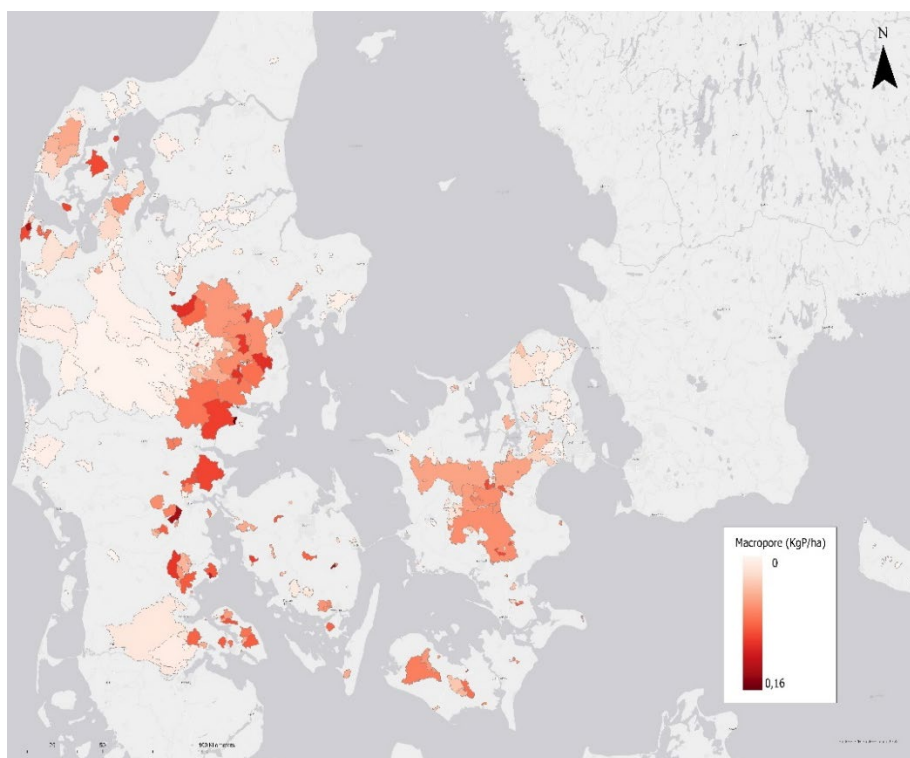
Figur 5 Erosionstab, søoplande, kg P/ha.

De mørkeste områder på kortet i figur 4 indikerer de områder hvor erosionstabet er størst, og det derfor er størst potentiale for at reducere denne tabspost.

4.5 Makroporetransport

P-tab via makroporetransport til dræn er estimeret på følgende måde: Der er først estimeret en makroporestrømning (mm/år) til dræn (Motarjemi et al., 2019), som bagefter er ganget med en konstant P-koncentration i makroporestrømningen. Dette er gjort, fordi der endnu mangler en model over rumligt varierende P-koncentrationer i afstrømningen, hvorfor der ikke kan tages højde for en (sandsynligvis) vigtig komponent i den rumlige variation af P-tab ved makroporeafstrømning, nemlig jordens P-indhold samt P-mobilisering ved makroporeafstrømning (jf. Andersen og Heckrath, 2020). Fremgangsmåden fungerer for større oplande, men på markniveau vil der være marker, hvor P-tabet over- eller undervurderes. Dette skal tages in mente ved fortolkningen af de økonomiske beregninger. Konkret foreligger afstrømning (mm/år) fra dræn på 250 m raster. Afstrømningen er endvidere opdelt i en makroporedel og en matricestrømningsdel. Makroporestrømningen (mm/år) er ganget med mediankoncentrationen i 43 målte dræn på 0,14 mg P/l, hvilket antages at være et realistisk bud på P-koncentrationen i makroporestrømning. Det herved kvantificerede P-tab via makroporer overføres fra 250 m raster til

markkort 2018. Potentialet udgøres af de marker, hvorfra der er beregnet et makroporetap.

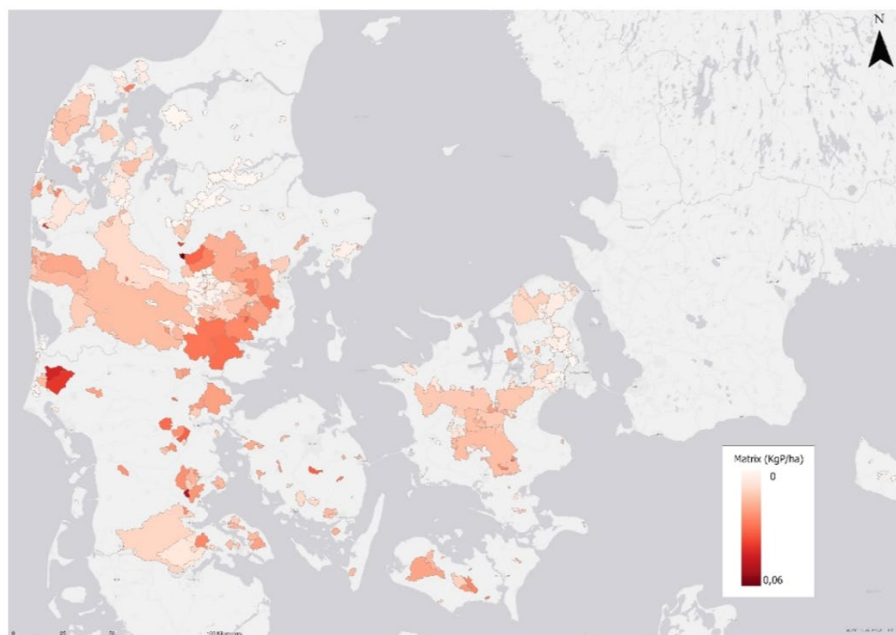


Figur 6 Makroporetap per ha, søoplande.

Ligesom for kortet i figur 4, så viser de mørke områder i figur 5 de arealer hvor der er højest risiko for markporetap, og hvor det således er størst potentiale for at reducere tabet.

4.6 Tab ved matriceudvaskning

P-tab via udvaskning gennem jordmatricen via dræn til nærmeste overfladevand foreligger kvantitativt (kg P/ha) på markniveau for markkort 2019, og er efterfølgende konverteret til markkort 2018 til brug for TargetEconN. P-koncentration i drændybde er beregnet med P-udvaskningsmodellen PLEASE (Andersen og Heckrath, 2020), hvorefter koncentrationen er ganget med den andel af drænaflstrømningen, der antages at strømme gennem jordmatricen (se ovenfor). Potentialet for virkemidler er principielt alle marker med en udvaskning større end nul.

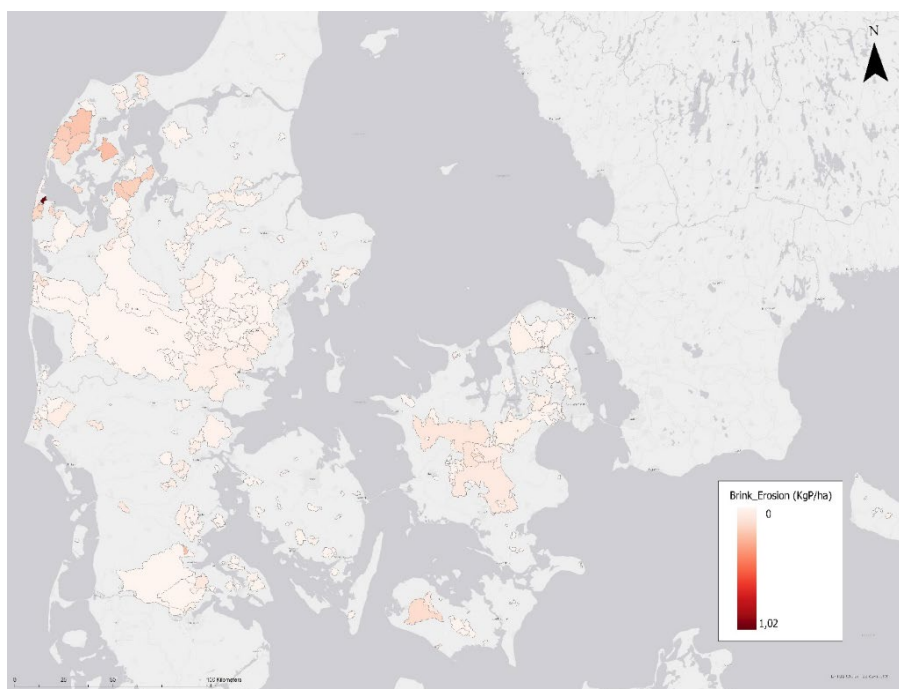


Figur 7 Matricetab per ha, søoplande.

4.7 Tab ved brinkerosion

P-tab ved brinkerosion til vandløb er beregnet pr. 100 m vandløbsstrækninger langs alle vandløb. I TargetEcon_N_P-modellering af brinkerosion anvendes hhv. længden af de aktuelle vandløbsstrækninger samt P-tabet for strækningerne. Potentialet for virkemidler er principielt alle vandløbsstrækninger med et P-tab større end nu, og hvor der ikke allerede er træagtig bevoksning.

Potentialer for brinkerosion for de 205 søoplande er beregnet for vandløbsstrækninger og lagt ind i TargetEconN-databasen. Vandløbsstrækninger, hvor der allerede er træagtig vegetation er trukket fra. De tilbageværende vandløbsstrækninger har således alle potentiale for virkemidlet "Træer langs vandløb mod brinkerosion".



Figur 8 Brinkerosionsrisiko, søoplande, kg/P per ha.

4.8 P-vådområder (P-ådale)

Kortet over udpegninger af potentielle P-ådale (MST, 2021) omfatter næsten 20.000 ha. Anvendelse af dette kort direkte i modelgrundlaget vil sandsynligvis betyde en overestimering af dette virkemiddels potentiale. For at opnå et mere realistisk estimat for P-ådales potentiale laves følgende antagelser for at et areal inden for en udpeget P-ådal oversvømmes:

- Arealet skal ligge langs vandløbsstrækninger med en bredde på mindst 2,5 meter (dvs. langs de større type 2- og type 3-vandløb).
- Hældningen på vandløbsstrækningerne må ikke være større end 0,5 promille.
- Arealet skal ligge inden for udpegninger af potentielle P-ådale (MST, 2021) og inden for ådalsafgrænsningen, som AU Agrosience og Ecoscience har udarbejdet i sammenhæng med udarbejdelse af potentialekort for mini-vådområder (AU Agrosience og Ecoscience, 2021).
- Oversvømmelser antages at kunne ske op til 75 meter fra vandløbsstrækninger med en bredde på 2,5 til 12 meter og op til 100 meter fra vandløbsstrækninger med en bredde på over 12 meter i overensstemmelse med beskrivelsen af virkemidlet P-ådale i P-virkemiddelkataloget (Andersen et al., 2020).

Det samlede areal med potentielle oversvømmelser efter ovenstående beregninger er på omkring 4.000 ha eller 16.000 ha mindre end arealet for udpegninger af P-ådale. Til modelberegninger i TargetEcon, blev arealprocenten af dette potentialekort beregnet for hver mark. Det skal bemærkes, at etablering af P-ådale i praksis sker ved genslyngning af kanaliserede vandløb og hævnning af vandløbsbunden, hvorved der sker en ændring af faldforholdene. Det er derfor ikke muligt uden en egentlig dimensionering og modelberegning, at forudsige den fremtidige oversvømmelse. Ovenstående er et forsøg på, ud fra et teoretisk grundlag, at indkredse det reelle potentiale for P-ådale, som derfor er behæftet med stor usikkerhed.

Modelleringen af potentialet for P-ådale er yderligere beskrevet i bilag 3.

4.9 Datalag i Basemap03 til TargetEconN_P

I den efterfølgende del af kapitlet, beskrives indlejringen af datalag i Basemap03 databasen, som TargetEconN_P trækker på, idet alle datalag er samlet der.

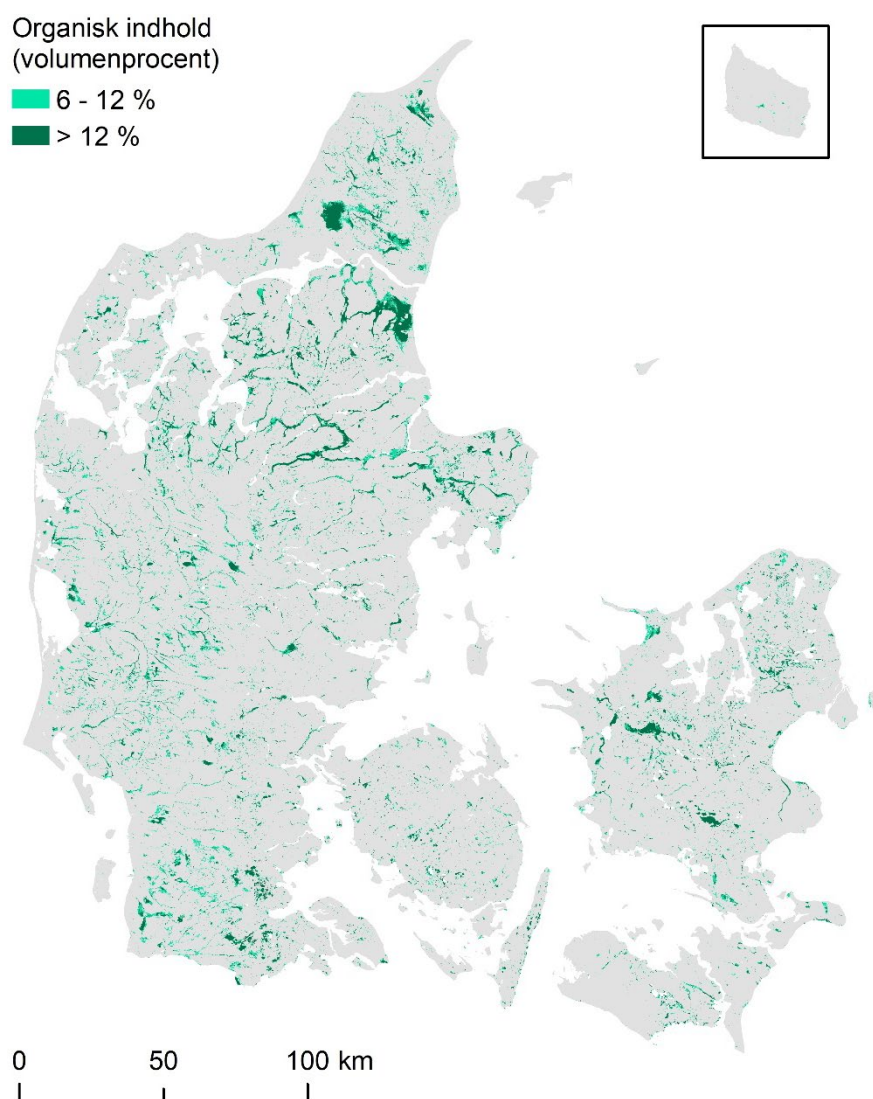
Tabel 4 beskriver datalagene, de enkelte datalag beskrives derefter.

Tabel 4 Potentialeudpegninger og datalag indarbejdet 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 skov-rejsning og skov.	Hektar	Marker 2018 fra Basemap03 (Levin, 2019)
Lavbundsarealer, 6-12%	Summen af arealet inden for kystvandoplandet i kulstofklassen 6-12%. Arealet er koblet til Basemap03, og angiver areal inden for klassen som er inden for omdrift.	Hektar	Tekstur 2014. Kortet viser arealdækningen af de to kulstofklasser 6-12 % og > 12 % kulstofholdig jord i hele Danmark (også uden for landbrugsarealet). (Adhikari et al., 2014)
Lavbundsarealer, >12%	Summen af arealet inden for kystvandoplandet i kulstofklassen >12%. Arealet er koblet til Basemap03, og angiver areal inden for klassen som er inden for omdrift	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% (mørkegrøn)	Areal inden for kystvandoplandet der er egnet til anlæggelse af minivådområde, 100% "Ler > 12%"	Hektar	AU Agrosience og Ecoscience (2021)
Ler >12% og opland til lavbund i ådal (lysgrøn)	Areal inden for kystvandoplandet der er karakteriseret som opland til lavbund i ådal, 10% egnet	Hektar	
Ler <12% (mørkegult)	Areal inden for kystvandoplandet der er karakteriseret som 10% egnet "Ler <12%"	Hektar	
Ler <12% og opland til lavbund i ådal (lysgult)	Areal inden for kystvandoplandet der er karakteriseret som "opland til lavbund i ådal, Ler <12%"	Hektar	
Lavbund i ådal (rød)	Areal inden for kystvandoplandet der er karakteriseret som "Lavbund i ådal"	Hektar	
Tørlagt og inddæmmet areal (grå)	Areal inden for kystvandoplandet der er karakteriseret som "tørlagt, inddæmmet areal"	Hektar	
Drænet, ler <12% (mørkeblå)	Areal inden for kystvandoplandet der er karakteriseret som "Drænet, ler <12%"	Hektar	
Drænet, ler <12% og opland til lavbund i ådal (lyseblå)	Areal inden for kystvandoplandet der er karakteriseret som "Drænet, ler <12% og opland til lavbund i ådal"	Hektar	

4.10 Lavbund (Tekstur2014)

Tekstur2014-kortet er dannet ved rumlig statistik baseret på jordbundsanalyser, hydrologi og højdekurver (Adhikari et al., 2014). Kortet omfatter hele Danmark inklusiv skovarealer. Tekstur2014-kortet indeholder ca. 171.500 ha landbrugsjord med >6 % kulstof inden for markblokarealet, ca. 107.000 ha som omdriftsjord, ca. 52.000 ha som permanent græs, ca. 2.000 ha permanente afgrøder, og ca. 10.500 ha øvrig arealanvendelse. I Basemap03, er der lavet et dataudtræk kun for omdriftsjord, da der kun udtages jord, der har været i omdrift.

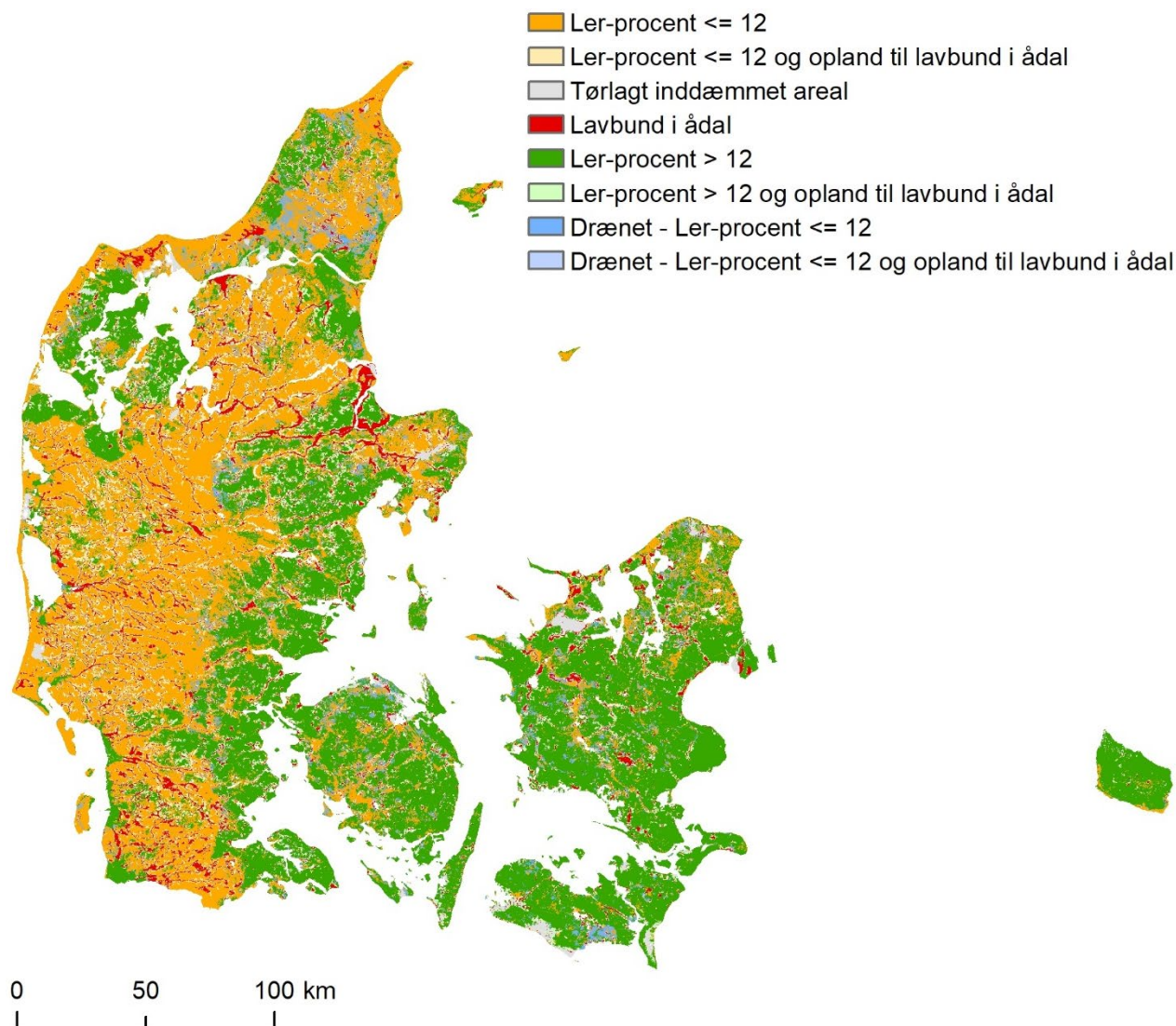


Figur 9 Tekstur2014-kortet, Adhikari et al., (2014).

4.11 Minivådområde-potentiale

Minivådområdekortet vist i figur 10 (AU Agrosience og Ecoscience, 2021), anvendes i modelopsætningen. Kortet er lavet i forbindelse med de seneste udpegninger angående 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 5, omfatter jorde med et lerindhold > 12%, og er klassificeret som arealer der kan levere denne effekt. De mørkegrønne arealer

er derfor egnede, og det er 100 % af arealet der tæller som potentiale. De lysegrønne og mørkegule er potentielt egnede, og 10 % af arealerne inden for disse klasser regnes med som potentiale. Farvekoderne på kortet er forklaret i signaturforklaringen samt i tabel 5.



Figur 10 Kort over potentialer for minivådområder, AU Agroscience og Ecoscience (2021).

Tabel 5 Minivådområder- klassificering af opland.

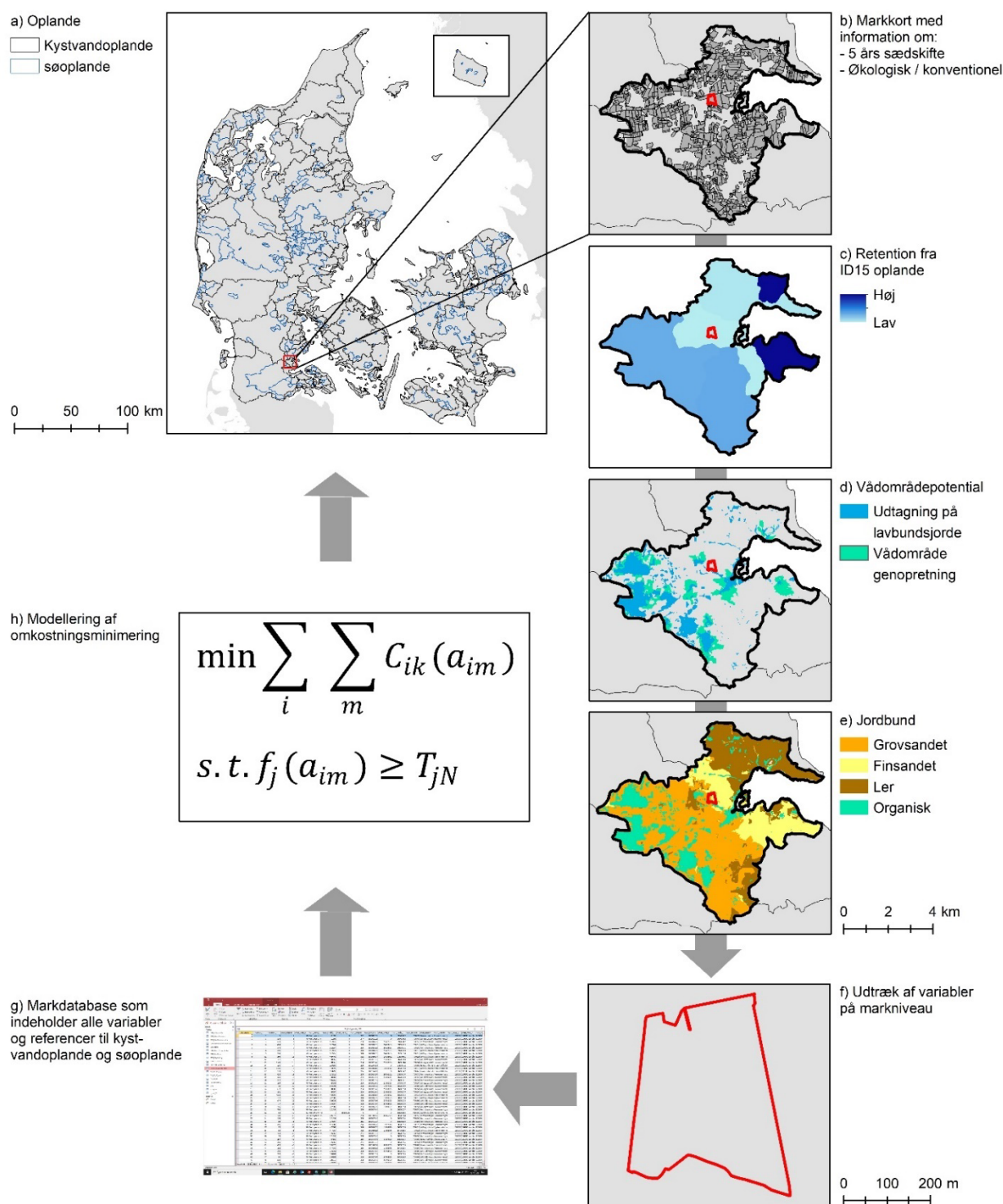
Klasse	Beskrivelse	Potentiale i alt (ha)	Andel (%)
0	Ikke klassificeret		
1	Ler $> 12\%$	1.136.922	100
2	Ler $> 12\%$ og opland til lavbund	144.389	10
3	Ler $< 12\%$	809.968	10
4	Ler $< 12\%$ og opland til lavbund	227.657	0
5	Lavbund i ådal	167.929	0
6	Tørlagt areal	33.477	0
7	Drænet, Ler $< 12\%$	171.995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

Udpegningerne af potentialerne for anlæggelse af minivådområder er indarbejdet i TargetEconN_P, som det fremgår af tabel 7. De mørkegrønne arealer, hvor lerindholdet er over 12 %, er 100 % egnede til minivådområder, mens 10% af de lysegrønne og orange områder er egnede.

Udpegningerne af arealer der er egnede til udtagning på lavbund følger også dette kort, ligesom vådområder er begrænset til arealer inden for den røde klasse 5 i kortet og som vist i tabel 8.

4.12 Indlejring af variabler i Basemap03

Basemap03 (Levin, 2019) er et nationalt kort over arealanvendelse/arealdække for året 2018. Kortet kombinerer offentligt tilgængelige geografiske informationer til et samlet arealkort i rasterformat med en celledimension på 10 x 10 meter. I Basemap indgår bl.a. markkort som anvendes til administration af hektarstøtten (Landbrugsstyrelsen, 2018). Markkortene fra Landbrugsstyrelsen er baseret på ansøgers 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 afgrænsning 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 beslutningsenhederne for den økonomiske optimering i TargetEconN_P. Derfor blev de variabler, som indgår i modellen beregnet for hver mark. Dette er beskrevet i det konceptuelle diagram i figur 11.



Figur 11 Konceptuelt diagram for metode til indlejring af variabler i modellen. Målsætninger for kystvandoplande og søoplande blev knyttet til hver mark (a). For hver mark blev sædskifter over de seneste 5 år samt information om økologisk /konventionel dyrkning tilknyttet (b). På baggrund af overlejring med andre kortlag blev information om bl.a. retention (c), vådområdepotentiale (d), jordbund (e) knyttet til hver mark (f). Denne information blev samlet i en database over alle marker (g) som danner input til modellering af omkostningsminimering (h).

ID15-kort (Højbjerg et al., 2021) er lagt ind i databasen. Hver mark blev tildelt et ID-15 opland. Hvor en mark overlapper med mere end et opland, er marken blevet tildelt det opland som har det arealmæssigt største overlap med marken. ID15-oplandsafgrænsningen anvendes til retentionsmodelleringen, men også for at linke data fra markniveau op til kystvandoplandene i optimeringen af den samlede N-effekt til kysten.

4.13 Afgrødekategorier

For hver mark indeholder Basemap03 information om afgrødetype i 2018. De oprindelige omkring 300 afgrødetyper blev aggregeret til de overordnede afgrødekategorier anført i tabel 8. Koden 999 angiver områder, der for året 2018, er inkluderet i markblokkortet, men ikke i markkortet.

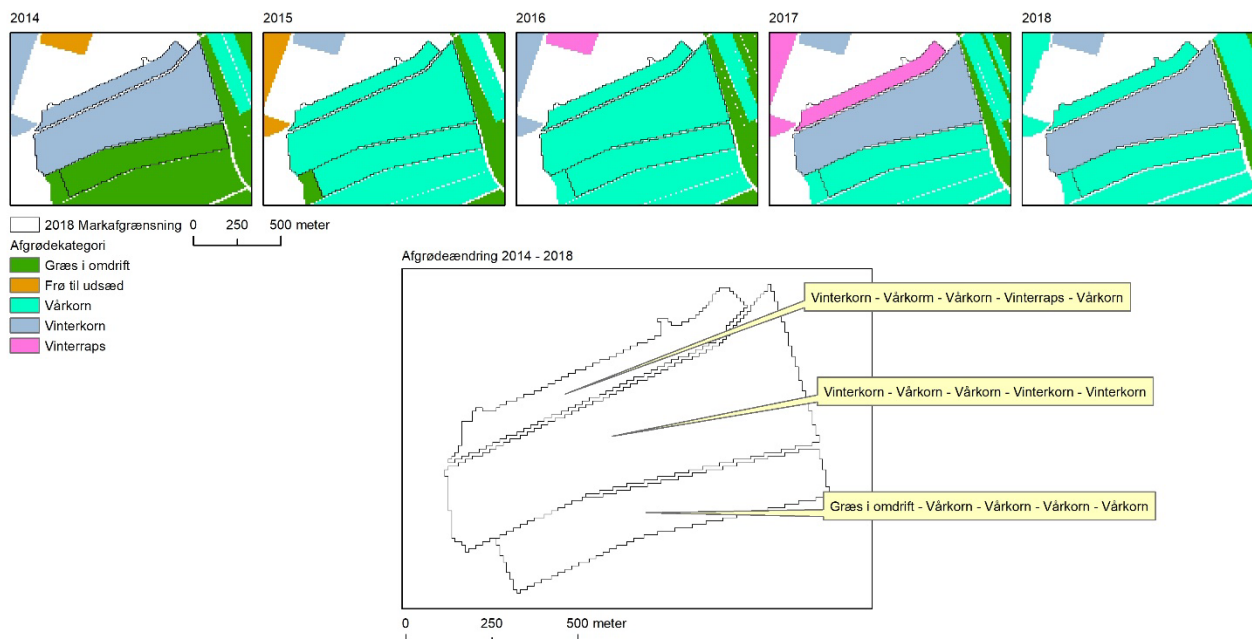
Tabel 6 Overordnede afgrødekategorier.

Kode	Afgrødekategori	I omdrift
1	Bælgsæd	Ja
2	Blomster i væksthush	Nej
3	Energiafgrøde	Nej
4	Foderroer	Ja
5	Frø til udsæd	Ja
6	Frugt og Bær	Nej
7	Græs i omdrift	Ja
8	Grøntsager	Nej
10	Helsæd, vår	Ja
11	Helsæd, vinter	Ja
13	Juletræer og pyntegrønt	Nej
14	Læggekartofler	Ja
15	Majs	Ja
16	Andet	Nej
17	Skov	Nej
18	Spisekartofler	Ja
19	Stivelseskartofler	Ja
20	Sukkerroer	Ja
21	Udyrket	Nej
22	Vårkorn	Ja
24	Vårraps	Ja
27	Vedvarende græs	Nej
29	Vinterkorn	Ja
30	Vinterraps	Ja
999	Markblok uden afgrødekode (kun for 2018)	Nej

I modellen indgår afgrøder, der er i omdrift, da der antages at det kun er omdriftsarealer der kan anvendes til virkemidler med en effekt på fosfortabet. Fx vil det ikke give effekt at anlægge virkemidler på vedvarende græsarealer eller skov. Arealer inden for omdrift er angivet i den højre kolonne i tabel 7.

4.14 Opgørelse af afgrødecændringer

Markkortet for 2018 fra Basemap03 er blevet overlejet med aggregerede markkort for årene 2014 til 2017. For hvert år blev den dominerende afgrødetype for de enkelte markarealer beregnet, og den enkelte mark blev efterfølgende tildelt den afgrødetype, der udgjorde den største andel. Denne tilgang, som er illustreret i figur 13, afspejler et sædskifte på marken og gør beregningen af de markspecifikke tab af dækningsbidrag og effekter ved virkemiddelimplementering mere robust, end hvis der kun er en enkelt afgrøde på marken, der afspejler kun et års dyrkning (jf. Hansen et al. 2019).



Figur 12 Illustration af opgørelse af afgrødeændringer fra 2014 til 2015. Markkortet fra Basemap03 blev overlejret med markkort for årene 2014 til 2017. For hvert år blev den arealmæssigt dominerende afgrødekategori tildelt marken og et 5-årigt sædskifte beregnet.

4.15 Data fra gødningsregnskaber

Data fra gødningsregnskaberne fra 2018 er modtaget fra Institut for Ecoscience, Aarhus Universitet og er anvendt til at beregne tildelingen af N og P til afgrøderne. I det modtagne datasæt, er mængder af Kg N/ha angivet for virtuelle marker. Grunden til dette er, at ved fordeling af gødning, som kun er kendt på ejendomsniveau fra gødningsregnskaberne, til marker, er der anvendt en permutering, således at omdriftsafgrøderne på en bedrift fordeles med en arealvægtet andel på alle omdriftsmarker. De permanente afgrøder fastholdes på de respektive marker. Dette er gjort for at repræsentere sædskiftet, altså at afgrøderne roterer mellem de enkelte marker fra år til år. For hver mark i datasættet, er der angivet en reference til sagsnummeret for ansøgeren og markblokkortet, og afgrødetype og areal (ha) for marken er angivet. For at linke værdierne til markerne i markkortet, blev følgende trin gennemført:

1. I datasættet, der indeholder mængder af N/ha, blev der oprettet en identifikationsstreng indeholdende ansøgnrnummer, markblokknummer og afgrødetype.
2. For at beregne den samlede mængde N for hver af de hypotetiske marker, blev N-tildelingen (Kg N/ha) ganget med arealet (ha) af marken.
3. Den samlede mængde N blev opsummeret over identifikationsstrengen for ansøgnrnummer, markblokknummer og afgrødetype.
4. I markkortet i Basemap03, blev den samme identifikationsstreng som specificeret under pkt. 1 oprettet; det samlede areal inden for hver streng blev beregnet, og de samlede mængder N blev knyttet til denne tabel.
5. For hver identifikationsstreng, blev Kg N/Ha beregnet ved at dividere den samlede mængde N med arealets størrelse (Ha). Denne værdi blev derefter linket til det fulde markkort i Basemap03.

For at teste om de beregnede tal afviger fra det anvendte input, blev mængden af Kg N/Ha beregnet med udgangspunkt i markblokkarealet (Ha) sammenlignet med de samlede mængder af N i data fra Institut for Ecoscience, Aarhus

Universitet. Den samlede mængde N for de forskellige kategorier og differencen mellem de anvendte data fra AU Ecoscience og opgørelsen for marker i Basemap03 er vist i tabel 7.

Tabel 7 Test af afvigelse i opgørelse af gødningsmængder.

	AU Ecoscience	Basemap03	Differens	% differens
Udvaskning, kg N	162,319,810	159,455,093	-2,864,716	-1.80
Udbinding, kg N	20,598,847	20,025,732	-573,116	-2.86
N fiksering, kg N	41,655,747	40,937,935	-717,812	-1.75
N handelsgødning, kg N	219,877,622	217,061,150	-2,816,472	-1.30
N husdyrgødning, kg N	200,395,727	197,919,291	-2,476,436	-1.25

I Blicher-Mathiesen et al. 2021 (side 12 og 13 i deres rapport), er der rapporteret 223.500 tons N i handelsgødning, mens der er rapporteret til at ligge på ca. 219.000 tons N i husdyrgødning. Disse tal ligger noget højere end data vist i tabel 7. Denne sammenligning er medtaget som et tjek af, at de er på niveau med hinanden, og %-differencen er, som det ses, lille. Årsagen til forskel er sandsynligvis forskelle i markafgrænsninger i kortgrundlaget.

Yderligere koblinger mellem marker og datalag blev tilføjet Basemap03-databasen og kortet. Alle data er samlet i tabeloversigten i bilag 3 "Tbl_Field_parcels_2018".

4.16 Yderligere information

Basemap-databasen som TargetEconN_P trækker på, indeholder desuden data-tabeller for retention, marker m.v. beskrevet i tabel 8. En mere detaljeret oversigt findes i bilag 3 til denne rapport.

Tabel 8 Oversigt over yderligere data-oversigter.

Navn	Beskrivelse	Kilde
Tbl_Crop_Codes_02	Liste over koder og navne for aggregerede afgrødekategorier. Koder refererer til koderne i kolonne "Crop_code_02_2012" til kolonne "Crop_code_02_2018"	Markkort 2012-2017 (Landbrugsstyrelsen 2014-2017) og Basemap02 (Levin 2019)
Tbl_ID_15_new	Liste over retentionsområder for 2020. Kolonnen "ID15_model" refererer til kolonnen "ID_15_new" i mark tabellen.	Højbjerg et al., 2021
Tbl_Kystomr_new	Liste over kystområder modtaget fra Miljøstyrelsen i juni 2021. Kolonnen "IdKystv" refererer til kolonnen "KYSTOMR_NEW" i marktabellen	MST 2021a
Tbl_JB_NR	Lister over JB numre og jordtypenavne. Kolonnen "JB-nr" refererer til kolonnen "JB_NR" i mark tabellen.	Jordbundskort og kort over jordes kulstofindhold (Adhikari et al. 2014, Gyldenkerne og Greve 2015)
Tbl_ID_15_new_split_lake_catchments	Liste fra 2020 over retentionsområder opdelt af søoplande. Kolonnen "ID" refererer til kolonnen "ID_15_new" og kolonnen "ID_02" refererer til kolonnen "ID_15_new_02" i marktabellen. Kolonnen "Prop_of_ID" angiver hvor stor en andel "ID_15_new_02" udgør af arealet i "ID_15_new"	

5 Scenarier og resultater

I dette kapitel præsenteres resultaterne fra scenarier for 1) omkostningseffektiv opfyldelse af P-indsatskrav til søerne (afsnit 5.1), og 2) scenarie for P-effekt af N-indsatskrav (13075 tons N) til kyst og til søerne (afsnit 5.2).

5.1 Scenarier for omkostningseffektiv opfyldelse af krav til søerne

Scenarier kan fx udarbejdes for alternative målsætninger eller for virkemidler eller virkemiddeltyper der kan indgå i løsningerne. Som illustration af resultater fra TargetEcnN_P-modelleringen for søerne, er der valgt at beregne resultater for tre scenarier:

- Scenarie 1 er et omkostningseffektivt scenarie, hvor indsatskravene til målsatte søer søges opfyldt i det omfang det er muligt, til de laveste omkostninger. Alle P-virkemidler kan anvendes, og også alle N-virkemidler med P-effekt, inklusive braklægning og udtagning på højbund.
- Scenarie 2 beregner også den omkostningseffektive løsning, hvor de samme indsatskrav søges opfyldt til den laveste omkostning, men det er valgt at begrænse muligheden for udtagning og braklægning således at disse virkemidler ikke indgår.
- Scenarie 3 omfatter beregninger af N-indsatskrav til kystvandoplande, hvor P-effekterne beregnes som sideeffekt af N-indsatsen for kyst vandoplande og søer.

Scenarie 1 er motiveret ved at dette scenarie viser den omkostningseffektive sammensætning af virkemidler, hvor også N-virkemidler indgår i løsningen.

Afgrænsningen fra udtagning i scenarie 2 er en illustration af hvilken alternative sammensætning af virkemidler der er realistisk, hvis udtagning ikke indgår. Årsagen til at undlade udtagning er, at virkemidlet dels er populært i modellen men ikke i virkelighedens verden, og dels, at der er en usikkerhed i bestemmelsen af omkostningerne ved udtagning. Scenarie 2 kan derfor ses som et følsomhedsscenario til scenarie 1.

Scenarie 3 er medtaget for at vurdere hvor meget P der reduceres som følge af opfyldelse af N-indsatskravene til kystvandoplandene.

Resultater for scenarier

Af tabel 10 ses resultater af scenarie 1. De totale omkostninger ved scenarie 1 er ca. 502 millioner kroner årligt, og der reduceres ca. 46 tons P inden retention mellem søer, 91 tons P efter retention, dvs. næsten en fordobling af effekten. Det samlede P-indsatskrav (VP2) er på ca. 134 tons P. Da der er overopfyldelse i nogle søer, er differencen mellem mål og opnået reduktionseffekt reelt større end forskellen mellem indsatskravet (134 tons) og den opnåede effekt efter retention (91 tons). Effekten per virkemiddel opgøres inden retention, selv om det samme virkemiddel kan have effekt i flere søer, men omkostningen ved implementeringen opgøres kun for det areal hvor virkemidlet implementeres. Derudover er det ikke muligt at opgøre effekterne per virkemiddel med retention. Den samlede omkostningseffekt og kg P/ha er medregnet for totalen (sidste række i tabellen), både med og uden retention.

Tabel 9 Resultater fra Scenarie 1.

Virkemiddel	Omkost- ning, kr.	Reduceret P (kg) inden retention	Reduceret P (kg) efter retention	Anvendt areal	Kr/kg P uden retention	Kr/ kg P med retention	Kg P/ha
Brak	-	-	-	-	-	-	-
Skovrejsning	239.359.760	6.309	-	98.970	37.939	-	0,06
Udtagning, højbund	144.046.040	4.166	-	62.064	34.577	-	0,07
Vådområde	17.488.268	13.065	-	3.003	1.339	-	4,35
Permanent Plantedække – negative P-balance 10	-	-	-	-	-	-	-
Permanent plantedække _negativ P-balance20	637.224	74	-	1.808	8.611	-	0,04
Negativ P-balance10_ optimeret jordbearbejdning	-	-	-	-	-	-	-
Negativ P-balance20_ optimeret jordbearbejdning	1.144.384	99	-	3.815	11.559	-	0,03
Negativ P-balance10_ randzone 10	-	-	-	-	-	-	-
Negativ P-balance10_ randzone 20	-	-	-	-	-	-	-
N Negativ P-balance20_ randzone 10	79.265	15	-	793	5.284	-	0,02
Negativ P-balance20_ randzone 20	157.005	18	-	767	8.723	-	0,02
Randzone 10	-	-	-	-	-	-	-
Randzone 20	-	-	-	-	-	-	-
Permanent plantedække	37.206	38	-	137	979	-	0,28
Negativ P-balance 10	357	-	-	7	-	-	-
Negativ P-balance 20	819.385	191	-	8.194	4.290	-	0,02
Optimeret jordbearbejdning	692	-	-	3	-	-	-
P-vådområder	3.053.892	3.962	-	264	771	-	15,01
Minivådområder	82.999.159	8.198	-	143.900	10.124	-	0,06
Spildevandsrensning	7.254.724	1.202	-	-	6.036	-	-
Træer langs vandløb (meter træer)	4.892.653	8.774	-	1.682.481	-	-	-
Total	501.970.014	46.111	90.799	323.725	10886	5528	0,14 uden retention/ 0,28 med retention

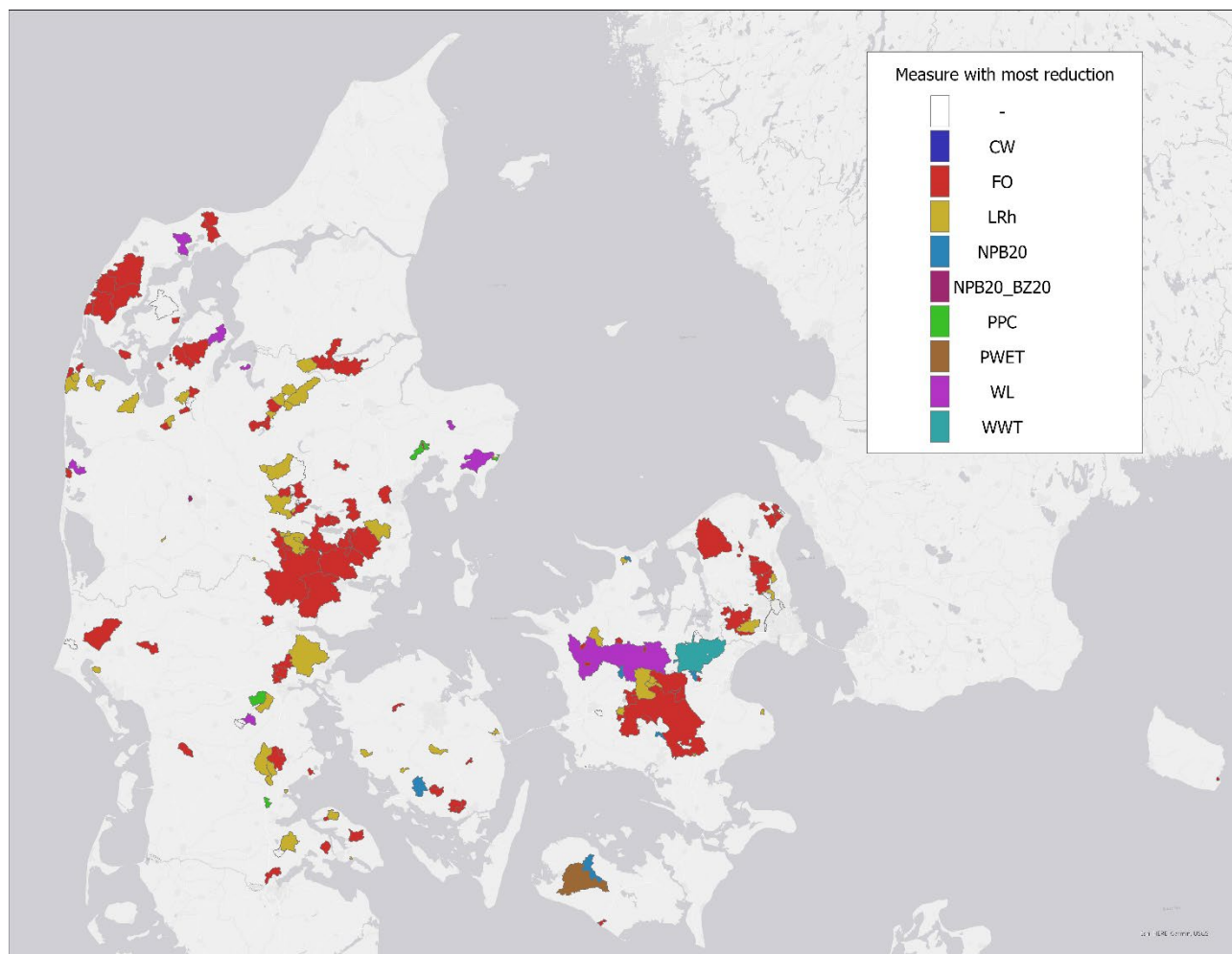
Uden retention, er reduktionsomkostningerne beregnet til 10886 kr./kg P, mens omkostningerne reduceres til 5528 kr./kg P, når retentionen regnes ind. Der er som nævnt ikke beregnet reduktionsomkostninger for hvert virkemiddel med retention, da effekten ikke kan spores tilbage til det enkelte virkemiddel når søkæde-retentionen er medregnet.

Det fremgår af tabel 9, at P-vådområder og permanent plantedække har lave reduktionsomkostninger sammenlignet med mange af de øvrige virkemidler. Som det fremgår af kapitel 3 samt bilag, er der en vis usikkerhed knyttet til opgørelsen af potentialet for P-vådområderne, hvorfor resultatet skal tolkes med forsigtighed. Negativ fosforbalance har både en meget lav omkostning og effekt, og bidrager derfor ikke meget i det samlede regnestykke.

Det fremgår også af tabellen, at det er tilladt at implementere kombinations-virkemidler som beskrevet i kapitel 3. Negativ fosforbalance implementeres

således sammen med andre virkemidler på markerne. Randzoner implementeres ikke, på trods af det kan lægges sammen med andre virkemidler.

Figur 13 illustrerer hvilke virkemidler der dominerer løsningen i hvert søopland. Det ses at skovrejsning og udtagning af højbund dominerer løsningen i mange af søoplandene.



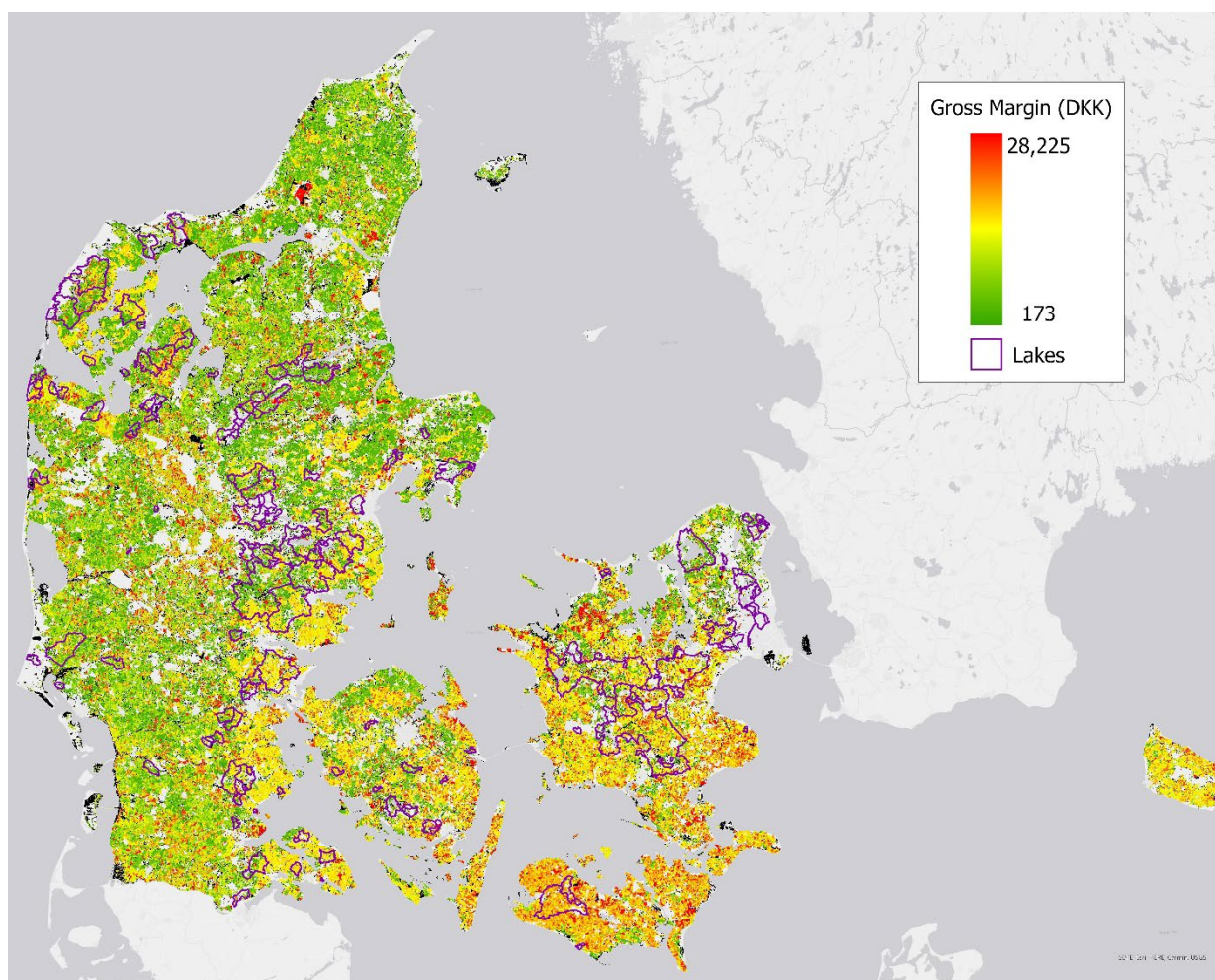
Figur 13 Kortet viser hvilke virkemidler der dominerer løsningerne i de målsatte søoplande. CW: minivådområder, FO: skovrejsning, LRh: udtag på højbund, NPB20: negativ P-balance, NPB20_BZ20: kombineret negativ P-balance og 20 m randzone, PPC: permanent plantedække, PWET: P-vådområde, WL: vådområde, WWT: rensningsanlæg.

Dominansen af virkemidler for hele landet ses også af tabel 10, idet højbundsudtag, skovrejsning og minivådområder dominerer med store andele af arealet.

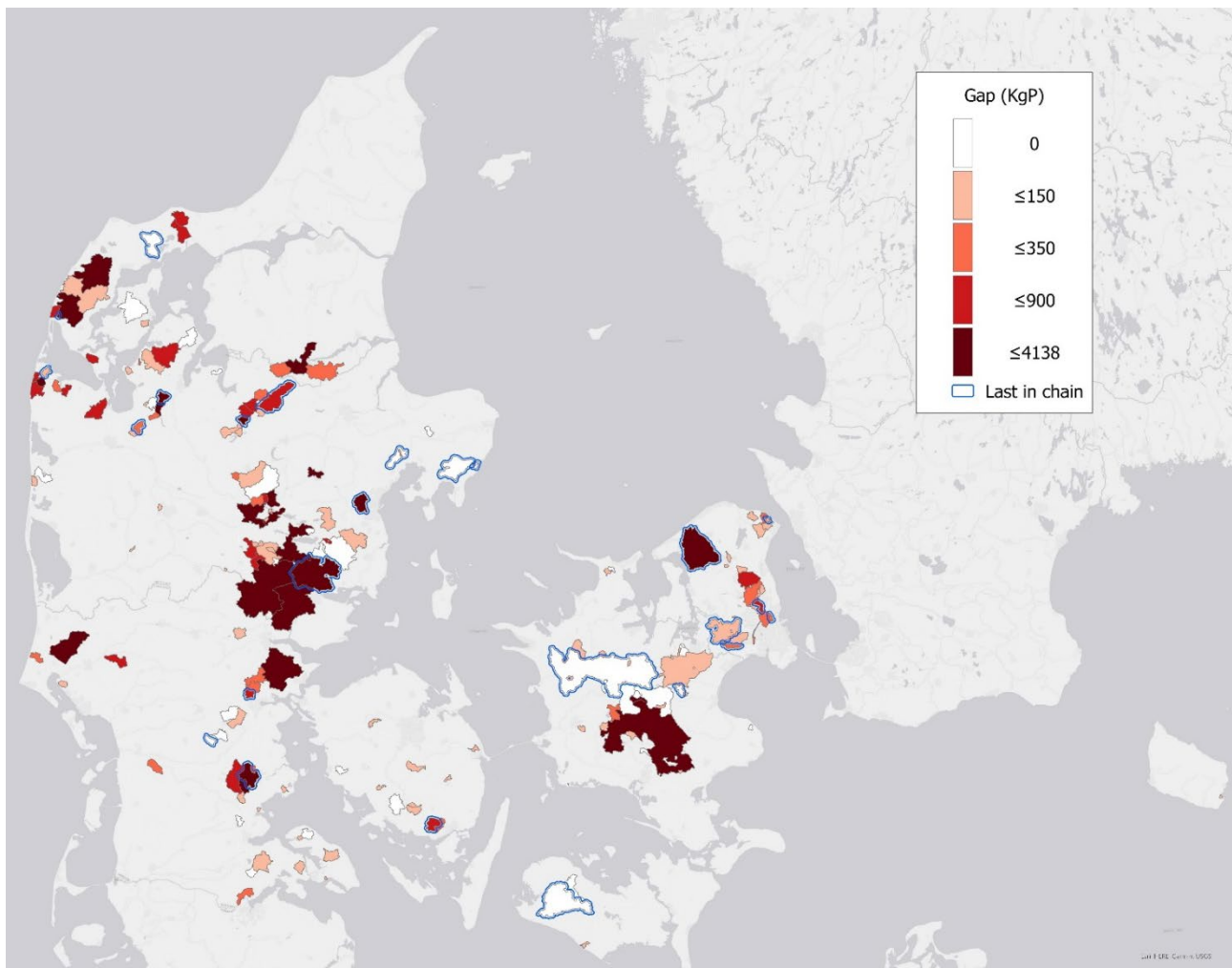
At udtag og skovrejsning er dominerende i forhold til mange andre virkemidler, ses også af løsningerne til N-indsatskravene i kystvandoplandene, og en forklaring er, at der er meget lave dækningsbidrag fra mange marker. Dette skyldes ikke et dårligt år, (dvs. et år med lav indtjening for landbruget, fx på grund af tørke eller meget nedbør), da dækningsbidragstabet er beregnet for perioden 2014-18, jf. kapitel 3.

Af kortet i figur 14 ses variationen i dækningsbidrag på markniveau; søoplandene er indikeret på kortet med lilla afgrænsninger. Dette kort viser ikke resultater, men kortet er medtaget for at forklare de resultater vi ser. De sorte områder har et dækningsbidrag på nul eller lavere, mens farveskalaen fra grøn mod rød viser lave dækningsbidrag (grønne) og høje (røde). De højeste

dækningsbidrag er for højt værdiafgrøder. De hvide områder på kortet er arealer uden landbrugsdrift, og der implementeres derfor ikke landbrugsvirkemidler på disse arealer. Men træer langs vandløb, P-vådområder, minivådområder og spildevandsrensning kan alle implementeres i disse områder. Det ses, at mange søplande i Midt- og Vestjylland er i områder med lave dækningsbidrag og også med områder uden landbrugsdrift (hvide), mens søplandene i Østjylland, på Fyn, Sjælland og Lolland-Falster er præget af højere dækningsbidrag.



Figur 14 Kort over variationen i dækningsbidrag II, med angivelse af søplande. Sorte områder er marker med dækningsbidrag på nul eller lavere. Indtjening fra husdyrproduktion er ikke indregnet i dækningsbidragstabet, jf. kapitel 3.



Figur 15 Kort over søplande, manglende målopfyldelse og indikation af nedstrømssøplande.

Vi har undersøgt om manglende målopfyldelse er mere udbredt for opstrøms- end nedstrømssøer, idet sidstnævnte modtager reduktionseffekter fra opstrømssøer. Nedstrømssøer er markeret med en blå omkredslinje på kortet i figur 15. I en del tilfælde ser det ud til, at nedstrømssøer er tættere på målet, men det er en meget grov vurdering.

Tabel 11 præsenterer resultaterne fra Scenarie 2, hvor udtagning af højbund og brak ikke er med i virkemiddelporteføljen.

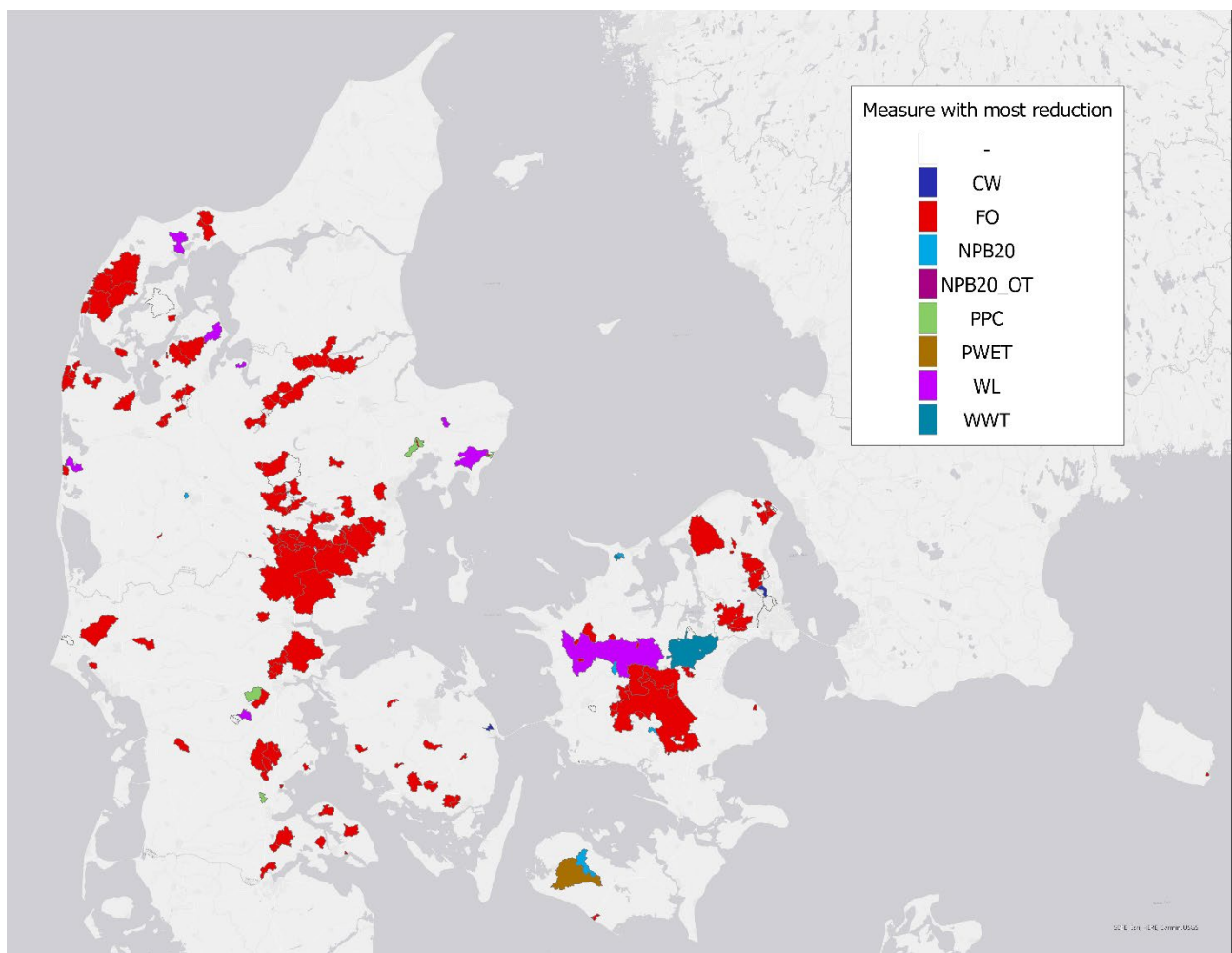
Tabel 11 Scenarie 2, løsning uden udtagning og brak.

Virkemiddel	Omkostning, kr.	Reduceret P (kg)	Anvendt areal	Kr./kg P (uden retention. Også med retention i sidste række).	Kg P/ha "Reduced P/Area (KgP/ha)"
Skovrejsning	241.486.450	6.352	99.794	38.017	
Vådområde	17.619.521	13.160	3.025	1.339	
Permanent Plantedække – negative fosforbalance 10	-	-	-	-	0,06
Permanent plantedække _negativ fosforbalance20	621.599	70	1.792	8.880	4,35
Negativ fosforbalance10_ optimeret jordbearbejdning	-	-	-	-	-
Negativ fosforbalance20_ optimeret jordbearbejdning	1.166.738	99	3.889	11.785	0,04
Negativ fosforbalance10_ randzone 10	-	-	-	-	-
Negativ fosforbalance10_ randzone 20	-	-	-	-	0,03
N Negativ fosforbalance20_ randzone 10	-	-	-	-	-
Negativ fosforbalance20_ randzone 20	-	-	-	-	-
Randzone 10	-	-	-	-	-
Randzone 20	-	-	-	-	-
Permanent plantedække	29.034	37	124	785	
Negativ fosforbalance 10	-	-	-	-	-
Negativ fosforbalance 20	906.201	204	9.062	4.442	0,30
Optimeret jordbearbejdning	734	1	4	734	-
P-vådområder	3.053.820	3.962	264	771	0,02
Minivådområder	83.006.852	8.202	144.070	10.120	0,25
Spildevandsrensning	7.254.724	1.202		6.036	15,01
Træer langs vandløb (meter træer)	4.899.966	8.785	1.684.995	558	0,06
Total	360.045.639	42.074 (82.000 med retention)	262.024	8557/4391	

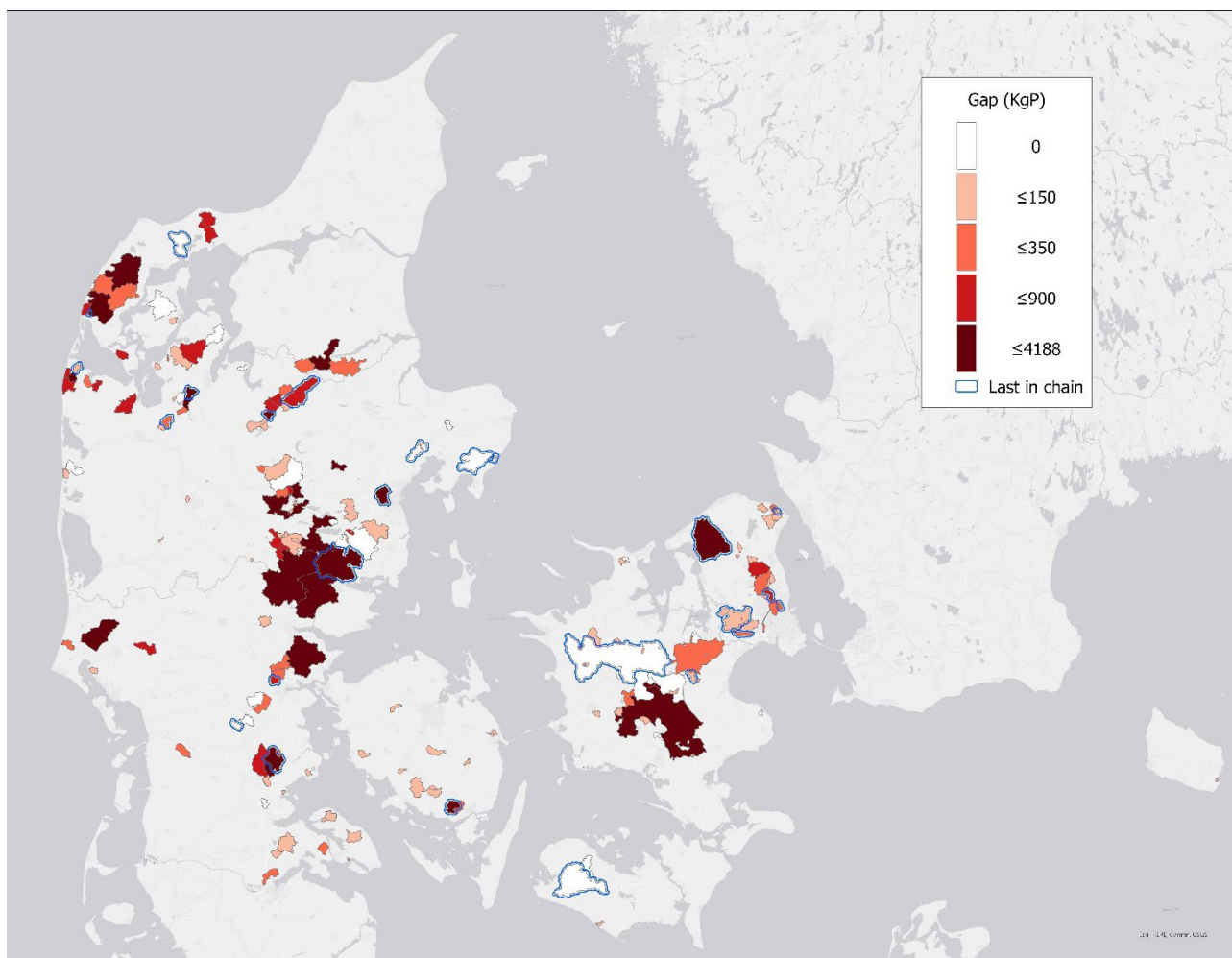
Omkostningen ved dette scenarie er lavere (360 millioner kroner), men det er effekten også, som er 42 tons uden retention og 82 tons med retention. Effekten er således meget lavere end i scenarie 2, og det er reduktionsomkostningerne også – hhv. 4.391 kr./kgP (med retention) og 8.557 kr./kg P (uden retention) i gennemsnit (rækken total i tabellen).

Andre virkemidler kan ikke modvirke den manglende effekt som følge af at udtagning ikke tillades, og konklusionen på dette følsomhedsscenarie er derfor, at udtagning på højbund kan være et vigtigt virkemiddel for at reducere fosfortabet.

Af figur 15 fremgår det, at i dette følsomhedsscenarie bliver skovrejsning det mest dominerende virkemiddel i en stor andel af søoplandene.



Figur 16 Dominerene virkemidler i scenarie 2, søoplande.



Figur 18 Manko i forhold til målopfyldelse, indikation af nedstrømsøer (blå konturlinje).

Kortlægningen af manko i forhold til målet for nedstrøms- og opstrømsøer viser det samme billede som for scenarie 1 i figur 17.

5.2 5.2. Scenarie 3: Fosforreduktioner beregnet som sideeffekt af N-reduktionsscenarioer for VP3 (13075 tons N)

I forbindelse med opsætningen af TargetEconN_P, er der som beskrevet tidligere sikret, at der kan ske en samtidig og individuel optimering af N- og P-indsatskrav, men også at P-sideeffekter kan beregnes i optimeringen af N. Dette er gjort muligt ved at P-effekterne af N-virkemidlerne modelleres via P-kortlægningen, og at tabsvejene for effekter på P af N-virkemidlerne, er inde i modellen, jf. kapitel 3. Dette er gjort i søoplande, men også for arealer uden for disse oplande, således at effekten på P kan beregnes til fjord og kyst, som sideeffekt af N-virkemidlerne.

Effekterne af N-indsatsen på reduktionen af P-tabene er beregnet for N-indsatsen samlet for den omkostningseffektive opfyldelse af indsatskravene (scenarie1 i Hasler et al., 2022). Denne N-indsats er i alt sat til 13.075 tons i TargetEconN-beregningerne i Hasler et al. 2022. De 13.075 tons er fordelt på i alt 108 kystvandoplande, i henhold til at opnå målsætningerne for Vandplan 3 (2021-2027). Resultater er beregnet for sideeffekterne for både kystoplande (108)- og søoplandene.

For kystoplandene, beregnes P-effekten af virkemidlet til den nærmeste vandløbskant og beregnes uden retention til kyst, mens den for søoplande beregnes med søretention som beskrevet for P-virkemidlerne (kapitel 2 og afsnit 5.1).

I tabel 12, er den samlede reduktion af P-tabene til kyst på i alt 88 tons, fordelt på N-virkemidlerne med P-effekt. Effekterne på N er gennemgået og analyseret i Hasler et al. (2022) og der henvises dertil for en detaljeret gennemgang af scenarieforudsætningerne.

Tabel 12 P-reduktion til kyst, som sideeffekt af N-indsats til kyst fordelt på virkemidler.

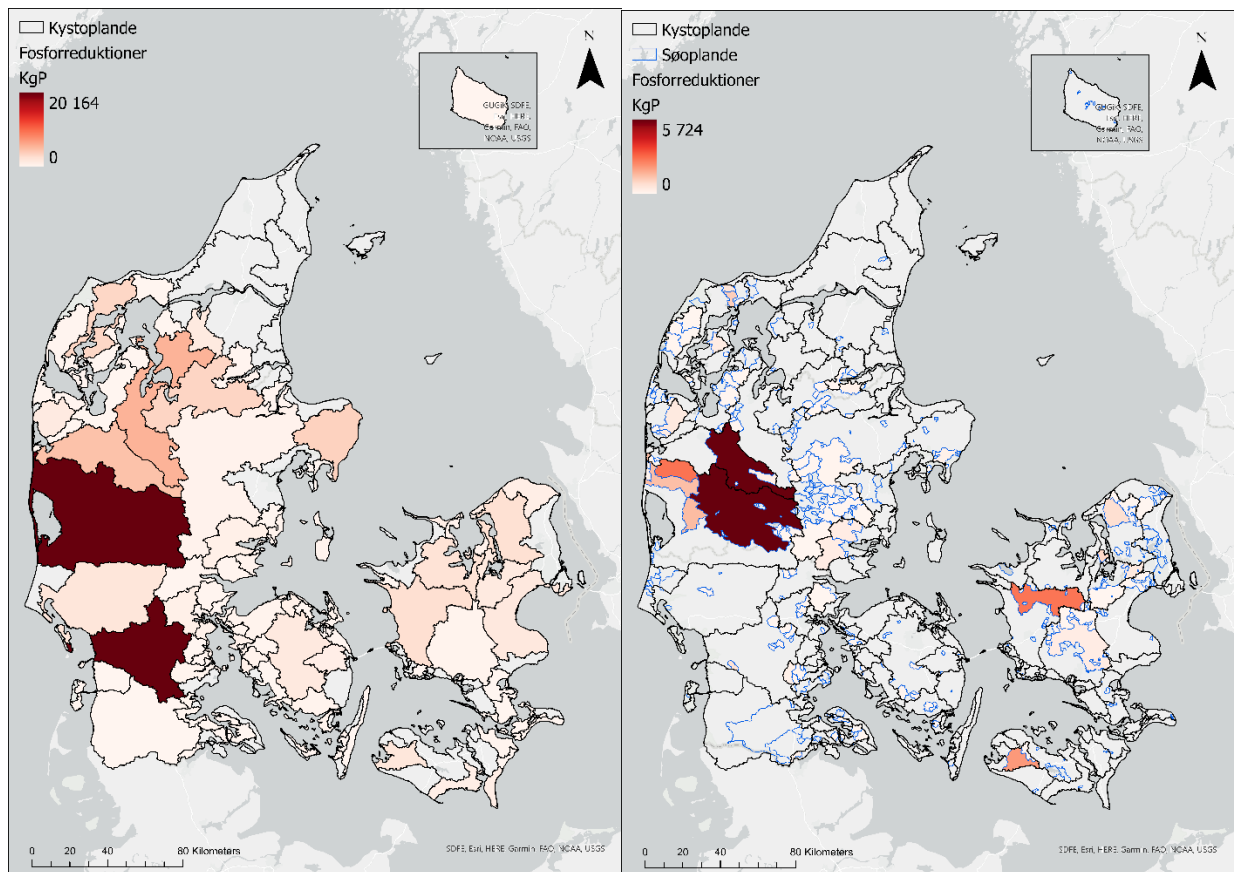
Virkemiddel	P effekt (Kg)	Areal (ha)
Brak	0	0
Skovrejsning	3806	174776
Udtag lavbund	0	1380
Udtag højbund	2888	108748
Vådområder	77582	17835
Randzone 10m	0	7
Randzone 20m	859	12684
Minivådområder	2661	85810
Rensning	352	
Total	88.149	401.240

Mens den samlede reduktion af P-tabene er 88 tons for kystvandoplandene, er den mindre til søerne; samlet 26 tons inkl. retention, og 22 tons uden retention (se Tabel 13).

Tabel 13 P-reduktion til søer, som sideeffekt af N-indsats til kyst, med og uden søkæde-retention for P.

P-effekt med retention(Kg) til søer	P-effekt uden retention (kg), til søer
26.222	22.219

I kortene 19 a og b, er effekterne af N-virkemiddelindsatsen vist for kystoplandene (a) samt for søoplande (b). Der ses, at fosforsideeffekterne er størst i de vestjyske kystvandoplande, Midtjylland og Vestsjælland, da det er her de største N-reduktioner er. Der er ikke mange søer med P-indsatsbehov i disse områder og det er en forklaring på, at sideeffekten på P til søerne fra N-virkemidler er så begrænset som den er.



Figur 19 Sideeffekterne på P af N-virkemiddelindsatsen.

Til venstre: fordelt på kystoplandene. Til højre; Fordelt på søoplande. Bemærk forskellig farveskala på de to kort.

6 Konklusion og diskussion

Denne tekniske rapport dokumenterer anvendelsen af datagrundlag og modelbaggrund til udviklingen af modellen TargetEconN til TargetEconN_P, med indarbejdelse af P-virkemidler, søoplande og indsatskrav til søer samt forbindelseskæder mellem søerne. Denne indarbejdelse af P i den økonomiske model TargetEconN_P har været et udviklingsarbejde, idet denne type detaljeret modellering ikke er foretaget tidligere. Der er modeller der er udviklet i andre lande med et større fokus på P, fx Finland, Sverige og Norge, og især i Finland er der udviklet oplandsmodeller (fx Hjerpe og Vaisanen 2015), men detaljeringsniveauet er ikke så stort som i nærværende modeludvikling. Datagrundlaget i Danmark til denne type modeludvikling er unikt fordi der er tilgang til oplysninger om både afgrøder, gødskning og jordtyper på markniveau, og samtidigt er mange biofysiske og hydrologiske sammenhænge både overvåget, modelleret og opgjort geografisk med højt detaljeringsniveau, hvilket også bidrager til det solide analysegrundlag. Det detaljerede fosforisikokort har således leveret et meget betydningsfuldt bidrag til den integrerede modellering i P-opsætningen i TargetEconN_P.

Modellen er blevet anvendt til beregninger af omkostningseffektiv implementering af indsatskrav for at begrænse P-tabene til målsatte søer, hvor det er anvendt indsatskrav fra VP2. Modelgrundlaget er også anvendt til beregninger af sideeffekterne af N-indsats på P-reduktioner til kyst og til søoplande. Resultaterne viser, at både skovrejsning og udtagning af højbund er vigtige virkemidler for fosforreduktionerne i mange af søoplandene. Den omfattende udtagning skyldes at modellen finder frem til marker, hvor dækningsbidraget er lavt, og alternativomkostningen ved tiltag derfor er lav, mens den samtidigt finder de marker, hvor der er potentiale for at reducere de tre tabsveje med P (makropore, matrice og erosion, samt brinkerrosion). Den udbredte udtagning kan derfor skyldes, at omkostningerne ved dette virkemiddel er relativt lave i forhold til de øvrige virkemidler. Den relativt lave omkostning kan være urealistisk, idet der er ikke foretaget en detaljeret analyse af evt. konsekvenser for husdyrproduktionen ved udtagning, ud over at der er indregnet en ekstra omkostning til transport af husdyrgødning over større afstande. Inddragelse af omkostningerne ved en evt. reduktion i husdyrproduktionen eller ændringer i foderpriser, ville potentielt forhøje omkostningen ved virkemidlet.

Der er derfor også regnet på et scenarie hvor udtagning ikke er med i løsningen, og i dette scenarie reduceres målopfyldelsen meget. Det gør omkostningerne også.

Scenariet for P-reduktion som sideeffekt til N-virkemidlerne viser, at der især er effekt på P-reduktionen i Vest- og Midtjylland, samt Vestsjælland.

Resultaterne indikerer, at der er stort behov for at udrede yderligere virkemidler som supplerer de eksisterende P-virkemidler, og med viden om fosforeffekt, omkostninger og potentiale for at implementere virkemidlerne. Da kædebetragtingerne (kapitel 2 i denne rapport) er væsentlige for resultaterne, er der også behov for nærmere at analysere effekterne af disse kædebetragtinger og konsolidere dem. Der er derfor, i 2022 og 2023, igangsat nye projekter der udvikler og tester metodegrundlaget for at kunne foretage robuste beregninger af et omkostningseffektivt indsatsprogram til hver af de

målsatte søer med indsatsbehov. Da det ikke er alle virkemidler som er beskrevet med sikkerhed, er der også lagt op til at lave følsomhedsanalyser på nogle af forudsætningerne bag effekt og omkostningsberegningerne. Nye virkemidler i modellen omfatter tre nye virkemidler mod brinkerosion: slyngning af vandløb, hævning af vandløbsbund, etablering af sandfang i vandløb og ændret brinkhældning (Kronvang og Larsen, 2022). Potentialer for anvendelsen skal udredes og kortlægges, og der skal beregnes omkostninger for disse virkemidler. Derudover udarbejdes der potentialekort for integrerede bufferzoner og potentialet for P-vådområder genbesøges. Derudover skal der udføres beregninger for den tredje vandplansperiode. Der er således mange muligheder for at forbedre dette integrerede modelgrundlag.

Referencer

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.

Andersen, H.E. & Heckrath, G. (redaktører), 2020: Fosforkortlægning af dyrkningsjord og vandområder i Danmark. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 340 s. - Videnskabelig rapport nr. 397.

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.

AU Agrosience og 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 AU Ecoscience i maj 2021.

Blicher-Mathiesen, G., Petersen, R.J., Holm, H., Houlborg, T., Rolighed, J., Andersen, H.E., Carstensen, M.V., Jensen, P.G., Wienke, J., Hansen, B. & Thorling, L., 2021: Landovervågningsoplande 2019. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 256 s. - Videnskabelig rapport nr. 451. Tilgængelig via: <http://dce2.au.dk/pub/SR451.pdf>

ConTerra, 2019: Notat – Udvikling af GIS-kort over estimeret fosfortal i landbrugsjord. 28 s.

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>

Folketinget, 2015: Sammenligning af miljøregnskabet bag Fødevarer- og landbrugspakken og bag vandområdeplanerne, 2015-2021. Tilgængelig via: <https://www.ft.dk/samling/20151/almddl/mof/spm/1015/svar/1338779/1657903.pdf>

Geodanmark, 2018a: Kort over vandløbsstrækninger 2018. Hentet på <https://download.kortforsyningen.dk/>

Geodanmark, 2018b: Kort over vandløbsbrinker fra 2018. Hentet på <https://download.kortforsyningen.dk/>

Geodanmark, 2021: Kort over vandløbsstrækninger 2021. Hentet på <https://download.kortforsyningen.dk/>

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>

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.

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.

Hjerppe, T. & Väisänen, S., 2015: A practical tool for selecting cost-effective combinations of phosphorus loading mitigation measures in Finnish catchments, *International Journal of River Basin Management*, 13:3, 363-376, DOI: 10.1080/15715124.2015.1012516.

Højberg, A.L., Thodsen, H., Børgesen, C.D., Tornbjerg, H., Nordstrøm, B.O., Trolborg, L., Hoffmann, C.C., Kjeldgaard, A., Holm, H., Audet, J., Ellermann, T., Christensen, J.H., Bach, E.O. & Pedersen, B.F. 2021: National kvælstofmodel – version 2020, Metoderapport. De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland. GEUS Specialrapport.

Jacobsen, B.H., 2016: Analyse af omkostningerne ved scenarier for en reduktion af N-tabet i relation til Fødevarer- og Landbrugspakke 2015, 34 s., apr. 09, 2016. IFRO Udredning, Nr. 2016/09.

Jacobsen, B.H., 2017: Beregning af kvælstofskyggepris med udgangspunkt i Fødevarer- og Landbrugspakken, 27 s., apr. 24, 2017. IFRO Udredning, Nr. 2017/08.

Jacobsen, B.H., & Ørum, J.E., 2016: Erhvervsøkonomisk analyse af reduktioner af kvælstofnormer i landbruget, 13 s., feb. 22, 2016. IFRO Udredning, Nr. 2016/10.

Konrad, M.T., 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*, 193, [107278]. Tilgængelig via: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107278>

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

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

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

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.

Miljø- og Fødevareministeriet, 2012-2017: Field parcel maps 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/>

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

MST 2016: Kystvandoplande, modtaget fra Miljøstyrelsen i 2016.

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

MST 2021a: Kystvandoplande, modtaget fra Miljøstyrelsen i august 2021.

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

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

Termansen, M., Hasler, B., Levin, G., Filippelli, R., Lundhede, T.H., Strange, N., Nainggolan, D., Bladt, J. & Zandersen, M., 2023: National Arealforvaltningsmodel for vand, klima og biodiversitet. IFRO Udredning (in press).

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 produktionsøkonomisk analyse af Landsforsøgene med kvælstoftildeling til vinterhvede og vårbyg samt kvalitetssikring af Normudvalgets indstillinger. Institut for Fødevare- og Ressourceøkonomi, Københavns Universitet. IFRO Rapport, Nr. 281.

Bilag 1. Modelformulering og beskrivelse

Modelvariable

Variable:

Beslutningsvariabel	
C	Totale omkostninger ved at implementere virkemidler i søopland m .
Kontrolvariable	
x_{ij}	Binær variabel for virkemiddel j implementeret på mark i .
y_{rlc}	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 oerløbsvirkemiddel v anvendt på beliggenhed o .*
g_m	Længde for implementering af træer, brinker langs vandløb, opland m .
$REDBt_u$	P reduktion, inden transport beregninger i søopland u .

Modelparametre:

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 *
$TAScost$	Omkostningen ved at implementere træer langs vandløb, per længdeenhed
$EFFarea_{ij}$	P reduktion, per arealenhed, virkemiddel j på mark i .
$EFFfield_{ij}$	P reduktion per mark, virkemiddel j per mark i .
$CWeff_{ij}$	P reduktion, minivådområder, i ID opland l .
$WWTeff_{pw}$	P reduktion, per anlæg p , teknologi w ..
$OFeff_o^*$	P reduktion, per overløbstiltag, placering o o.
$TASeff$	P reduktion per meter vandløb
POT_{ij}	Potentiale areal for virkemiddel j , mark i .
T_m	P reduktion, indsatskrav for søopland m .
$TASPot_m$	Totalt potentiale for TAS virkemiddel i søopland m
$Ptransp_{um}$	Totalt potentiale for TAS virkemiddel i søopland m

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

Ligninger: Forklaringer for indeks i ligningerne

$i \in \{1, 2, \dots, I\}$, i er marker (8)

$m \in \{1, 2, \dots, M\}$, m er søoplande (9)

$i_m \subseteq I \mid i_m \in \{i_m, \dots, I_m\}$, i_k er marker i opland m (10)

$u \in \{1, 2, \dots, U\}$ søoplande. Anvendes i søkædeberegning (11)

$u \equiv m$ søoplande u er identiske til søoplande m , de to set er nødvendige af hensyn til søkædeberegning (12)

$u_m \subseteq U \mid u_m \in \{u_m, \dots, U_m\}$ søer der indeholder oplande opstrøms, søoplande m og opland m selv. (13)

$r \in \{1, 2, \dots, R\}$, r er N -retentionsoplande (ID15) (14)

$r_m \subseteq R \mid \llbracket r \rrbracket_m \in \{r_m, \dots, R_m\}$, r_m er retentionsoplande i opland m (15)

$l \in \{1, 2, \dots, L\}$, l er lokationer for minivådområder (16)

$l_r \subseteq L \mid l_r \in \{l_r, \dots, L_r\}$. l_r er lokationer for minivådområder i retentionsopland r (17)

$p \in \{1, 2, \dots, P\}$, p er lokationer for vådområder (18)
 $p_m \subseteq P \mid p_m \in \{p_m, \dots, P_m\}$ p_m er lokationer for vådområder i opland m (19)
 $o \in \{1, 2, \dots, O\}$ -lokationer med potentiale for overløb (20)
 $o_m \subseteq O \mid o_m \in \{o_m, \dots, O_m\}$ Lokationer med potentiale for overløb i opland m (21)
 $j \in \{1, 2, \dots, J\}$, j er virkemidler (22)
 $j_q \in J$ -virkemidler implementeret på mark i for at reducere matricetab.
 $j_h \in J$ -virkemidler implementeret på mark j for at reducere erosions og makroporetab.
 $j_c \in J$ -minivådområder som virkemiddel. 3 størrelser med oplande (0,2; 0,5 og 1 ha)
 $j_w \in J$ -spildevands virkemidler (opgraderinger af anlæg)

Optimeringsproblemet beskrives som minimering af de samlede omkostninger, C , i søoplande:

$$\begin{aligned}
 \min C_{x_{ij}, y_{lj}, z_{pj}, v_o, g_m} = & \sum_{i_m}^{I_m} \sum_j^J COST_{ij} * x_{ij} + \sum_{r_m}^{R_m} \sum_{l_r}^{L_r} \sum_{j_c}^{J_c} CWCost_{lj} * y_{lj} \\
 & + \sum_{p_m}^{P_m} \sum_{j_w}^{J_w} WWTCost_{pj} * z_{pj} + \sum_{o_m}^{O_m} OFCost * v_o + TASCost * g_m \quad \forall m
 \end{aligned} \tag{1}$$

Under bibetingelserne

$$\begin{aligned}
 \sum_{i_u}^{I_u} \sum_{j_q}^{J_q} EFFarea_{ij} * POT_{ij} * x_{ij} + \sum_{i_u}^{I_u} \sum_{j_h}^{J_h} EFFfield_{ij} * x_{ij} \\
 + \sum_{r_u}^{R_u} \sum_{l_r}^{L_r} \sum_{j_c}^{J_c} CWeff_{lj} * y_{lj} + \sum_{p_u}^{P_u} \sum_{j_w}^{J_w} WWTEff_{pj} * z_{pj} \\
 + \sum_{o_u}^{O_u} OFeff_o * v_o + TASEff * g_u = REDbt_u \quad \forall u
 \end{aligned} \tag{2}$$

$$\sum_{u_m}^{U_m} REDbt_u * Ptransp_{um} \geq T_m \quad \forall m$$

hvor $u \equiv m$

(3)

$$\sum_j^J x_{ij} \leq 1 \quad \forall i$$

(4)

$$\sum_{j_c}^{J_c} y_{lj} \leq 1 \quad \forall l$$

(5)

$$\sum_{j_w}^{J_w} z_{pj} \leq 1 \quad \forall p$$

(6)

$$g_m \leq TASPot_m$$

(7)

Hvor

De samlede omkostninger (1) er udtrykt som summen af omkostningerne, $COST_{ij}$, ved at implementere virkemidler på markniveau. j repræsenterer virkemidlerne, $j \in \{1, 2, \dots, J\}$ og i repræsenterer markerne. Kontrolvariablen x_{ik} er binær og repræsenterer valget af virkemiddel k på mark i , $i \in \{1, 2, \dots, I\}$. Kontrolvariablene y , z og v er også binære. Bibetingelserne i (2) og (3) beskriver modelleringen af søerne i kæde og den retention der er mellem søerne. For yderligere detaljer, se det sidste afsnit i dette kapitel. (7) beskriver, at der kun kan placeres ét virkemiddel med én given arealstørrelse per mark (for x), per retentionsopland (for y) eller per anlæg (for z). Implementeringen svarer til det fulde potentiale for det givne virkemiddel på den givne enhed (mark, retentionsopland, anlæg).

Løsningen er begrænset af, at reduktionen af P-tilførslen til en sø skal være lig med eller større end parameteren T_m (2), hvor T_m er indsatskravet (målsætningen) for den samlede reduktion af P-tilførslen til søerne i søopland m .

Effekterne af virkemidlerne på tab af P via de tre tabsveje er beregnet per areal og på markniveau, og det er indarbejdet i ligningerne.

I modellen er hver mark koblet til et ID15-opland (Højberg et al., 2020), og minivådområderne er modelleret inden for disse ID15-oplande. Dette er repræsenteret ved ligningerne 12-15.

Bilag 2. Indsatskrav for søer

Tabel bilag 2.1 Indsatskrav for søer i VP2.

Søer	Indsatskrav, kg TP
34	19,59929
43	220,3398
50	45,67588
51	31,57956
52	102,3812
53	727,2537
63	46,54506
65	702,8237
85	450,7548
89	2950,612
101	347,4835
102	468,5264
105	233,4316
110	126,1536
111	103,5308
115	3543,085
119	1905,947
121	13,72717
123	214,1288
137	59,72687
139	58,76903
140	24,19669
141	2952,972
143	249,6717
148	703,7736
149	1302,372
157	127,3567
159	13,33476
169	81,45126
187	42,08666
189	73,40972
195	56,85073
196	166,3093
197	47,48335
202	11,52992
213	48,61746
215	103,4163
226	347,2667
232	1033,076
252	27,30661
255	97,40958
258	239,3113
265	986,2197

268	406,6269
269	2861,055
270	2402,776
274	336,6055
294	272,9979
295	201,9738
296	1123,964
297	368,2833
299	304,2782
301	464,4859
307	319,4048
308	688,8859
309	952,279
310	274,4254
317	44,14158
319	139,4774
320	638,5921
323	691,4106
327	1393,658
329	1137,237
330	337,4435
338	498,4447
339	3003,177
343	3373,395
348	6944,737
351	173,305
354	768,9828
357	60,60724
370	252,3094
392	1687,674
397	724,6167
404	127,5177
411	57,05675
412	5411,255
413	381,1488
418	1111,448
428	31,19791
435	107,4471
446	301,851
450	13,57137
453	3445,762
456	6147,928
458	299,6433
461	20,84705
469	5219,956
471	626,8404
473	641,1892
474	35,76046

480	20,09563
486	163,9243
487	200,7682
490	604,9616
496	163,3724
497	21,77115
506	23,07387
512	735,9105
513	2877,026
515	451,7238
516	1214,697
520	120,9095
522	675,1121
526	1408,611
534	228,4026
538	61,66924
543	489,2167
544	16,11559
545	3766,766
546	792,6702
547	1716,015
548	106,7675
550	735,9847
553	987,3905
569	14,05064
570	15,2239
574	109,1095
578	33,58483
582	4842,048
587	672,3873
595	42,9535
601	10,99156
607	73,80594
650	3677,204
655	2239,976
656	10,59544
659	20,74646
662	25,9277
666	217,7537
669	11,52972
673	17,28786
676	74,74608
682	2917,563
684	3218,072
687	1147,831
695	39,86896
696	112,5814
699	610,7218

709	1549,488
712	223,9835
726	11,1828
729	680,8993
732	37,50245
739	52,6543
742	134,6268
744	148,4383
748	49,35337
749	193,1567
754	206,7073
757	95,96863
758	78,37454
763	19,29336
766	452,0714
777	492,7446
779	207,8028
786	63,96727
788	196,1123
789	109,5736
794	41,3883
805	13,02804
813	62,68991
826	110,1723
828	292,5054
832	11,71596
843	45,04673
846	83,85552
847	136,9139
849	139,004
850	570,5582
851	1626,207
861	45,93447
871	1031,97
873	24,55597
874	48,19845
882	40,12123
899	49,84864
907	286,9504
908	6893,693
913	148,7887
928	24,90788
941	13,54154
963	449,2793
965	576,7005
972	21,2901
985	402,1706
1000	330,4768

Bilag 3. Indhold i data, markkort

Tabel bilag 3.1 Indhold i data og kilder.

Kolonne navn	Beskrivelse	Enhed	Kilde
AGR_Object_ID	Individuelt ID for hvert mark ID i 2018	ID nummer	Basemap03
AGR_Data_Source_Code	Kode for datakilde. 60 = Markblok kort, specifik afgrødekode 61 = Markblokkort, overordnet afgrødetype kode 70 = Markkort	Kode nummer	Basemap03
AGR_Data_Source_Name	Navn på datakilde (<i>Field parcel map</i> , hvis marken er inkluderet i 2018 markkortet; <i>Field block map</i> , <i>specific crop code</i> eller <i>Field block map</i> , <i>aggregated crop code</i> , hvis data stammer fra markblokkort)	Tekst	Basemap03
AGR_Field_Parcel_ID	Mark ID	ID nummer	Basemap03
AGR_Field_Block_ID	Markblok ID	ID nummer	Basemap03
AGR_Original_Object_Code	Oprindelig objekt kode fra datakilde	Kode nummer	Basemap03
AGR_SN_Number	Sagsnummer for ansøger	ID nummer	Basemap03
AGR_CVR_Number	Ansøgers CVR nummer	ID nummer	Basemap03
AGR_Field_Block_Number	Markblok nummer	Nummer	Basemap03
AGR_Basemap_Object_Code	Basemap objekt kode	Kode nummer	Basemap03
AGR_Basemap_Object_Name_DK	Basemap objekt kode, dansk	Tekst	Basemap03
AGR_Basemap_Object_Name_EN	Basemap objekt kode, engelsk	Tekst	Basemap03
AGR_AGG_Code	Overordnet Basemap objekt kode	Kode nummer	Basemap03
AGR_AGG_Name_DK	Overordnet Basemap objekt navn, dansk	Tekst	Basemap03
AGR_AGG_Name_EN	Overordnet Basemap objekt navn, engelsk	Tekst	Basemap03
ID_15_new	ID nummer for det dominerende retentionsområde inden for marken baseret på 2020 ID15-kort	ID nummer	Højbjerg et al., 2021
ID_15_new_split	Angiver om et ID15-opland er opdelt mellem søoplande	Nummer	
ID_15_new_02	ID for kombination af ID15 og søoplande. Hvis et ID15-opland overlapper med 2 eller flere søoplande opdeles det, og det sidste tal i strengen specificerer opdelingen. Strengen for ID15, der ikke er opdelt, slutter med "0"	ID streng	
KYSTOMR_NEW	ID-nummer for det dominerende kystopland inden for marken (dvs. det kystopland, der udgør den største andel af marken) baseret på nye kystvandomlande fra juni 2021	ID nummer	MST, 2021a

P_LAVBUND_6_12	Andel af marken, hvor jordens organiske indhold er 6-12 %	Andel	Tekstur 2014 (Adhikari et al., 2014)
P_LAVBUND_O_12	Andel af marken, hvor jordens organiske indhold er over 12 %	Andel	Tekstur 2014 (Adhikari et al., 2014)
P_MINIVAAD_Potential_Class1	Andel af marken som er beliggende i område klassificeret som "Ler > 12%" i Kort over minivådområder	Andel	Kort over potentiale for minivådområder, (AU Agroscience og Ecoscience 2021)
P_MINIVAAD_Potential_Class2	Andel af marken som er beliggende i område klassificeret som "Ler >12% og opland til lavbund i ådal" i Kort over minivådområder	Andel	Kort over potentiale for minivådområder, (AU Agroscience og Ecoscience 2021)
P_MINIVAAD_Potential_Class3	Andel af marken som er beliggende i område klassificeret som "Ler <12%" i Kort over minivådområder	Andel	Kort over potentiale for minivådområder, (AU Agroscience og Ecoscience 2021)
P_MINIVAAD_Potential_Class4	Andel af marken som er beliggende i område klassificeret som "Ler < 12% og opland til lavbund i ådal" i Kort over minivådområder	Andel	Kort over potentiale for minivådområder, (AU Agroscience og Ecoscience 2021)
P_MINIVAAD_Potential_Class5	Andel af marken som er beliggende i område klassificeret som "Lavbund i ådal" i Kort over minivådområder	Andel	Kort over potentiale for minivådområder, (AU Agroscience og Ecoscience 2021)
P_MINIVAAD_Potential_Class6	Andel af marken som er beliggende i område klassificeret som "Tørlagt inddæmmet areal" i Kort over minivådområder	Andel	Kort over potentiale for minivådområder, (AU Agroscience og Ecoscience 2021)
P_MINIVAAD_Potential_Class7	Andel af marken som er beliggende i område klassificeret som "Drænet, ler < 12%" i Kort over minivådområder	Andel	Kort over potentiale for minivådområder, (AU Agroscience og Ecoscience 2021)
P_MINIVAAD_Potential_Class8	Andel af marken som er beliggende i område klassificeret som "Drænet, ler < 12% og opland til lavbund i ådal" i Kort over minivådområder	Andel	Kort over potentiale for minivådområder, (AU Agroscience og Ecoscience 2021)
P_SKOVREJSNING_2017	Andel af marken beliggende i område designeret som skovrejsningsområde i 2017	Andel	Kommunernes kort over skovrejsningsområder
P_SKOVREJSNING_2018	Andel af marken beliggende i område designeret som skovrejsningsområde i 2018	Andel	Kommunernes kort over skovrejsningsområder
P_SKOVREJSNING_2019	Andel af marken beliggende i område designeret som skovrejsningsområde i 2019	Andel	Kommunernes kort over skovrejsningsområder
P_BUFFERZONE	Andel af marken beliggende i område designeret som 2 m dyrkningsfri bræmme langs vandløb og søer	Andel	Kort over 2 meter dyrkningsfrie bræmmer (Landbrugsstyrelsen, 2019)
OEKO	Binær kode for økologisk drift, 1=økologisk; 2=konventionel	Binær	Kort over økologiske marker for 2018

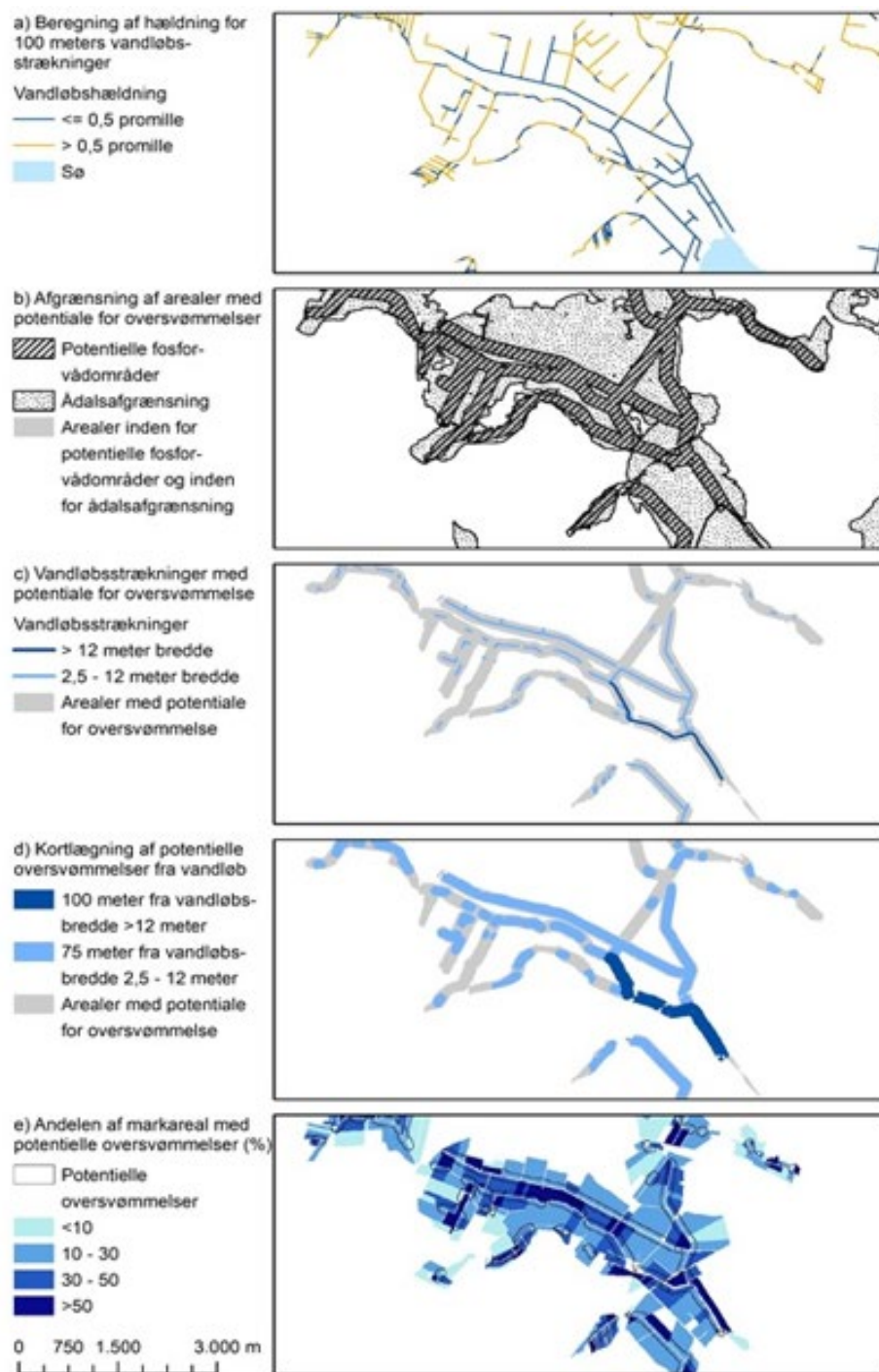
JB_NR	Dominerende jordtype (JB nummer) inden for marken (dvs. den jordtype, der udgør den største andel af marken).	Kode nummer	Jordbundskort og kort over jordes kulstofindhold (Adhikari et al. 2015, Gyldenkerne og Greve 2015)
udv_kgN	Udvasket kvælstof	Kg	NLES4-beregning (AU Ecoscience)
Nudbind_kgN	Kvælstoftilførsel ved udbinding	Kg	NLES4-beregning (AU Ecoscience, 2018)
Nfix_kgN	Atmosfærisk kvælstoffiksering	Kg	NLES4-beregning (AU Ecoscience 2018)
Nhan_kgN	Kvælstoftilførsel med handelsgødning	Kg	NLES4-beregning (AU, Ecoscience 2018)
Nhus_kgN	Kvælstoftilførsel med husdyrgødning	Kg	NLES4-beregning (AU, Ecoscience 2018)
udv_kgN_Ha	Udvasket kvælstof	Kg / Ha	NLES4-beregning (AU Ecoscience, 2018)
Nudbind_kgN_Ha	Kvælstoftilførsel ved udbinding	Kg / Ha	NLES4-beregning (AU Ecoscience, 2018)
Nfix_kgN_Ha	Atmosfærisk kvælstoffiksering	Kg / Ha	NLES4-beregning (, AU Ecoscience, 2018)
Nhan_kgN_Ha	Kvælstoftilførsel med handelsgødning	Kg / Ha	NLES4-beregning (AU Ecoscience, 2018)
Nhus_kgN_Ha	Kvælstoftilførsel med husdyrgødning	Kg / Ha	NLES4-beregning (AU Ecoscience, 2018)
F_SOE_OPL	ID for søopland. Baseret på link mellem ID15_2 og søopland	ID nummer	MST [input_soe_netw_5.shp]
F_SOE_OPL_INKL	Binær kode, hvis sø er inkluderet i P-målsætning	Binær: 1=inkluderet; 0=ikke inkluderet	MST [indsatsbehov_10kg.xlsx]
F_P_KG	Totalt P-tab fra brinkeroseion beregnet som summen af tab fra vandløbsstrækninger i søopland	Kg	Tabel opgjort af AU Ecoscience på grundlag af P-risikokortet (Andersen og Heckrath, 2020) [soe_BE_data_2]
F_LENGTH_M	Total længde af vandløbsstrækninger med brinkeroseion hvor der er potentiale for træplantning. Strækninger, hvor der allerede eksisterer vedagtig vegetation, er fratrullet	Meter	Tabel opgjort af AU Ecoscience på grundlag af P-risikokortet (Andersen og Heckrath, 2020) [soe_BE_data_2]
F_KG_HA_MT_DR	P-tab fra matrixudvaskning; baseret på markkort fra 2019. Værdier tilskrevet marker i 2018 baseret på det største overlap mellem de to kort	Kg / Ha	Kort opgjort af AU Ecoscience på grundlag af P-risikokortet (Andersen og Heckrath, 2020) [Marker2019_po4_transport_matrix.shp]
F_P_TAB	P-tab via makroporer. Baseret på markdata for 2018	Kg	Kort fra AU Agro [Mark_2018_w_ptab.shp]
F_P_TAB_ERO	P-tab fra erosion og makroporetab. Baseret på markdata for 2018	Kg	Kort fra AU Agro [Mark_2018_w_ptab.shp]
P_Potential_buffer_10m	Andel af marken, der potentielt kan anvendes til 10 m buffer zoner langs vandløb	Andel	Baseret på vandløbskort fra GeoDanmark 2018 (kun vandløb som har et udløb) og kort over vandløbsbrinker fra GeoDanmark 2018

P_Potential_buffer_20m	Andel af marken, der potentielt kan anvendes til 20 m buffer zoner langs vandløb	Andel	Baseret på vandløbskort fra GeoDanmark (GeoDanmark, 2018a) (kun vandløb som har et udløb) og kort over vandløbsbrinker fra GeoDanmark (GeoDanmark, 2018b)
P_Fosfor_aadale	Andel af marken beliggende i område udpeget som "fosfor ådale"	Andel	Kort over udpegninger af fosforådale (MST 2021b)
P_Fosfor_aadale_new	Andel af marken beliggende i område udpeget som "fosfor ådale". Baseret på områder beliggende i ådale, og udelukkende områder med en maksimal hældning på 0,5 promille. Der anvendes en afstand på 75 m fra vandløb med en bredde på 2,5-12 m, og en afstand på 100 m fra vandløb med en bredde på mere end 12 m	Andel	Kort over udpegninger af fosforådale (MST 2021b); Vandløbsstækninger (GeoDanmark 2021) kort over ådalsafgrænsninger (AU Agro og Ecoscience 2021) samt digital terræn model fra (SDFE 2021)
Field_parcel_area_ha	Areal af mark I 2028	Hektar	Basemap03
Crop_Code_2018	Afgrødekode for 2018	Kode nummer	Basemap03
Crop_Code_02_2018	Dominerende, overordnet afgrødekode 2018	Nummer	Basemap03
Crop_Code_02_2017	Dominerende, overordnet afgrødekode 2017	Nummer	Markkort for 2017 (Landbrugsstyrelsen 2014-2017)
Crop_Code_02_2016	Dominerende, overordnet afgrødekode 2016	Nummer	Markkort for 2016 (Landbrugsstyrelsen 2014-2017)
Crop_Code_02_2015	Dominerende, overordnet afgrødekode 2015	Nummer	Markkort for 2015 (Landbrugsstyrelsen 2014-2017)
Crop_Code_02_2014	Dominerende, overordnet afgrødekode 2014	Nummer	Markkort for 2014 (Landbrugsstyrelsen 2014-2017)

Bilag 4. Estimering af potentiale for P-vådområder (fosforådale)

Figur bilag 3.1 illustrerer den anvendte metode i et kortudsnit. Fra kortet over vandløbsstrækninger (GeoDanmark, 2021) blev alle vandløbsstrækninger splittet op i strækninger på ca. 100 meters længde. For hver 100 meters strækning, blev vandløbets højde ved startpunktet og ved endepunktet trukket ud fra Danmarks digitale terrænmodel (SDFE 2021). For at tage højde for evt. uoverensstemmelser mellem kortet over vandløbsstrækninger og terrænmodellen, blev den laveste højde inden for en søgeradius på 20 meter valgt. For hver 100 meters-strækning blev hældningen i promille beregnet ved at dividere højdedifferencen i meter mellem start- og slutpunkt (i meter) med vandløbets strækning (i meter) og gange dette med 1000. Alle vandløbsstrækninger blev efterfølgende inddelt i strækninger med en hældning under eller lig med 0,5 promille og strækninger med en hældning på over 0,5 promille (a). Til afgrænsning af arealer med potentiale for oversvømmelse, blev overlap mellem udpegninger af potentielle P-ådale (MST, 2021) og ådalsafgrænsningen (AU Agrosience og Ecoscience 2021) kortlagt (b). Inden for disse arealer blev vandløbsstrækninger med en hældning på under eller lig med 0,5 promille og med bredder på 2,5 – 12 meter og over 12 meter registreret (c). For strækninger med en bredde på 2,5 til 12 meter, blev arealer inden for 75 meter fra vandløbet og inden for arealer med potentiale for oversvømmelser udpeget. For strækninger med en bredde på over 12 meter, blev arealer inden for 100 meter fra vandløbet og inden for arealer med potentiale for oversvømmelser udpeget (d). Det samlede areal med potentielle oversvømmelser er på omkring 4.000 ha eller 16.000 ha mindre end arealet for udpegninger af P-ådale. Til modelberegninger i TargetEcon, blev arealprocenten af dette potentialekort beregnet for hver mark.

Det skal bemærkes, at etablering af P-ådale i praksis sker ved genslyngning af kanaliserede vandløb og hævnning af vandløbsbunden, hvorved der sker en ændring af faldforholdene. Det er derfor ikke muligt uden en egentlig dimensionering og modelberegning at forudsige den fremtidige oversvømmelse. Ovenstående er et forsøg på ud fra et teoretisk grundlag at indkredse det reelle potentiale for P-ådale, som derfor er behæftet med stor usikkerhed.



Figur bilag 3.1 Illustration af metode til udarbejdelse af kortgrundlag til beregning af potentiale fra P-ådale.

OMKOSTNINGSEFFEKTIV PLACERING AF FOSFORVIRKEMIDLER I FOR- HOLD TIL SØER

Indarbejdelse af fosfor i TargetEconN_P samt eksempler
på resultater

Rapporten præsenterer datagrundlag og funktionalitet i TargetEconN_P-modellen, som er udviklet til omkostningseffektive valg af virkemidler for at opfylde fosfor- og kvælstofindsatskrav for sø- og kystvandoplande i hele Danmark. Rapporten omfatter også eksempler på resultater for scenarier, dels for omkostningseffektiv opfyldelse af fosforindsatskrav, og dels et scenarie hvor sideeffekterne for fosfor opgøres som følge af virkemidler til reduktion af kvælstoftab til kystvandene