

Second opinion fase III: Styrket modelgrundlag

Styrket modelgrundlag, scenarier og fortolkninger
Arbejdspakke 4

Teknisk Rapport
Projektnr. 11827024

Maj 2024

Udarbejdet for Miljøstyrelsen

Second opinion fase III: Styrket modelgrundlag

Styrket modelgrundlag, scenarier og fortolkninger

Arbejdspakke 4

Teknisk Rapport
Projektnr. 11827014

Udarbejdet for: Miljøstyrelsen
Repræsenteret ved: Lidde Bagge Jensen, Kontorchef

Kontaktperson: Trine Cecilie Larsen, trcl@dhigroup.com
Projektleder: Trine Cecilie Larsen
Kvalitetsansvarlig: Mads Joakim Birkeland (DHI) og Anja Skjoldborg Hansen (DCE)
Forfattere: Anders Chr. Erichsen, Trine Cecilie Larsen, Jesper P.A. Christensen og Karen Timmermann
Projektnr.: 11827024
Godkendt af: Anders Chr. Erichsen
Godkendelsesdato: 3/5-2024
Revision: Final 1.0
Filnavn: Styrket modelgrundlag scenarier og fortolkninger_v4

Forord

Denne rapport er udarbejdet som en del af projektet 'Second opinion fase III (Styrket modelgrundlag)'. Projektet er igangsat og finansieret af Miljøstyrelsen (MST) som en del af evalueringen af det faglige grundlag for kvælstofindsatsen i vandområdeplanerne ("Second opinion"), som blev igangsat på baggrund af Landbrugsaftalen fra oktober 2021.

MST forestår med bistand fra forskningsinstitutioner gennemførelsen af Second opinion fase III, som består af tre elementer;

- (1) opdatering af statusbelastning og baseline 2027,
- (2) gennemførelsen af projektet 'Second opinion fase III, Styrket modelgrundlag' hvor modelgrundlaget opdateres under inddragelse af input fra 'Second opinion fase I (redegørelse for det nuværende juridiske og naturfaglige grundlag og handlerum inden for vandrammedirektivet) og fase II (evaluering af resultaterne fra fase I gennemført af et hold uvildige internationale forskere)' og der gennemføres analyser af muligheden for anvendelse af supplerende virkemidler (fosforvirkemidler og virkemidler med særlig effekt i algernes vækstsæson).
- (3) revideret opgørelse af det resterende indsatsbehov for kvælstof fordelt på deloplande og tilhørende virkemidler. Projektet 'Second opinion fase III, Styrket modelgrundlag' er ledet af DHI og udført i samarbejde med Aarhus Universitet (DCE og DCA), COWI, GEUS, DTU Aqua og KU.

Denne rapport 'Second opinion fase III: Styrket modelgrundlag. Styrket modelgrundlag, scenarier og fortolkninger. Arbejdspakke 4' er en af 7 leverancer fra projektet 'Second opinion fase III, Styrket modelgrundlag', og bør ses i sammenhæng med de øvrige hovedrapporter fra projektet, som er:

- Thodsen H & Tornbjerg H (2023). Næringsstofbelastning, kildeopsplitning og kvælstofretention - AP1 i "Second opinion" fase III (Vandplan 3 genbesøg).
- Salomonsen SD & Ottosen TW (2023). Second Opinion Fase III. Styrket Modelgrundlag. Punktkilder.
- Højberg AL, Børgesen CD & Andersen HE (2024). Second opinion, fase III, Styrket modelgrundlag. Delrapport 3: Diffuse bidrag og virkemidler.
- Jacobsen BH (2024). Vurderinger af omkostninger ved at nå indsatskrav for kvælstof i Vandrammedirektivet i relation til Second Opinion analysen.
- Hasler B & Filippelli R (2024): Økonomiske analyser af fosfor- og kvælstofreduktioner beregnet med TargetEconN_P. Second opinion, fase III, Styrket modelgrundlag. Arbejdspakke 5.
- Erichsen AC (ed). Second opinion fase III: Styrket modelgrundlag. Synteserapport.

Miljøstyrelsen har kommenteret på tidligere versioner af denne rapport, men valg af metoder og konklusioner er alene projektgruppens ansvar. Rapporten er fagfællebedømt af videnskabeligt personale på DHI, AU og DTU Aqua, som ikke har deltaget i projektgruppens arbejde.

Indholdsfortegnelse

Forord

.....
.....	3	
1	Baggrund.....	8
1.1	Formål og forudsætninger.....	9
2	Introduktion	11
3	Metode.....	12
3.1	Vandområder med potentiale for supplerende P-indsats og reduktioner målrettet vækstsæsonen	12
3.2	Næringsstofftilførsler fra punktkilder	14
3.3	Diffuse tilførsler til kystvande - scenarier	16
3.4	Ændringer i diffust næringsstofbidrag baseret på drænvirkemidler og markvirkemidler	18
3.4.1	Drænvirkemidler	18
3.4.2	Markvirkemidler	19
3.5	Generelle usikkerheder	21
3.6	Modellering af miljøeffekter	25
3.7	Modelscenarier	26
4	Metodebeskrivelse	29
4.1	Effekter af reduktionsscenarier	29
4.2	Årsækvivalenter.....	30
4.2.1	Punktkilder og drænvirkemidler	30
4.2.2	Årsækvivalenter for TP-reduktioner	32
4.2.3	Markvirkemidler	33
4.3	Antagelser og forbehold	33
5	Resultater	37
5.1	Modelresultater.....	37
5.2	Ækvivalenter – punktkilder og drænvirkemidler.....	38
5.3	Ækvivalenter – markvirkemidler	41
5.4	Ækvivalenter – resultater	43
6	Regneeksempler.....	47
6.1	Odense Fjord.....	47
6.1.1	Odense Fjord, Seden Strand	48
6.1.1.1	Effekter af reduktioner i helårs-TP-tilførsel	48
6.1.1.2	Reduktioner i punktkilder.....	49
6.1.1.3	Reduktioner ved brug af drænvirkemidler.....	49
6.1.2	Odense Fjord, ydre.....	50
6.1.2.1	Effekter af reduktioner i helårs-TP-tilførsel	51
6.1.2.2	Reduktioner i punktkilder.....	51
6.1.2.3	Reduktioner ved brug af drænvirkemidler.....	51
6.1.3	Århus Bugt, syd, Samsø og Nordlige Bælthav	52
6.1.4	Opsamling	52
6.2	Karrebæk Fjord	53
6.2.1.1	Reduktioner i helårs-TP-tilførsel	54
6.2.1.2	Reduktioner i punktkilder.....	54
6.2.1.3	Reduktioner ved brug af drænvirkemidler.....	54
6.2.2	Smålandsfarvandet, åbne del	55
6.2.3	Opsamling	55
7	Konklusion.....	56
8	Referencer.....	59

Bilag A	Årsækvivalent: Helårs ton P til helårs ton N	61
Bilag B	Opdaterede årsfordelinger – punktkilder	65

Figurer

Figur 3-1	Kystvande med fosfor- og sæsonfølsomhed.....	14
Figur 3-2	Akkumuleret relativ fordeling af TN-tilførsel (øverst) og TP-tilførsel (nederst) over et år til Odense Fjord (vandområde 92 og 93). Månedsværdier er baseret på gennemsnit for årene 2012-2016. Forskel mellem 'Status VOP3' og 'Ny Status' viser forskellen mellem tilførsler benyttet under vandområdeplanerne 2021-2027 og tilførslerne med de reviderede punktkildefordelinger. De fire andre kurver viser akkumulerede relative tilførsler ved 70% af den nuværende punktkildetilførsel eller implementering af drænvirkemidler på 50% af det samlede potentiale for drænvirkemidler i oplandet til Odense Fjord. Det relative bidrag fra punktkilder fremgår af Tabel 3-2.	17
Figur 3-3	Ændring i N-tilførsel til de enkelte marine vandområder efter implementering af drænvirkemidler på 100% af det egnede areal i hvert af de enkelte vandområders opland (se Tabel 3-1 for at oversætte vandområdenumre til vandområdenavne). Ved 100% er der ingen effekt af drænvirkemidlet, mens en relativ samlet TN-transport på 85% betyder en samlet reduktion i TN-tilførslen til det vandområde i den måned på 15%.....	19
Figur 3-4	Akkumuleret relativ næringsstofftilførsel til vandområde 157 (øverst) og 235 (nederst) sammenlignet med den akkumulerede næringsstofftilførsel ved implementering af drænvirkemidler på 50% af det potentielle areal, efterafgrøder på 50% af det supplerende areal og en reduktion i handelsgødning på 20%. Værdien 1.0 på y-aksen efter måned 12 svarer til 100% sammenfald med de gennemsnitlige næringsstofftilførsler fra 2012-2016.	19
Figur 3-5	Ændring i N-tilførsel til de enkelte marine vandområder efter en reduktion i handelsgødning på 20% (se Tabel 3-1 for at oversætte vandområdenumre til vandområdenavne). Ved 100% er der ingen effekt af den reducerede tilførsel, mens en relativ samlet TN-transport på 94% betyder en samlet reduktion i TN-tilførslen til det vandområde i den måned på 6%.	20
Figur 3-6	Ændring i N-tilførsel til de enkelte marine vandområder efter implementering af efterafgrøder på 50% af det potentielle supplerende areal i hvert af de enkelte vandområders opland (se Tabel 3-1 for at oversætte vandområdenumre til vandområdenavne). Ved 100% er der ingen effekt af den reducerede tilførsel, mens en relativ samlet TN-transport på 90% betyder en samlet reduktion i TN-tilførslen til det vandområde i den måned på 10%.	21
Figur 3-7	Overblik over de ni modeller, som er anvendt til at undersøge miljøeffekter af supplerende TP-indsatser eller indsatser, som er målrettet TN- og TP-reduktioner i vækstsæsonen.....	26
Figur 4-1	Skematisk illustration af beregning af dosis-respons. Bemærk, at figuren alene beskriver relative forskelle, således at nutidig tilførsel og indikatorstand udgør 100%, mens reduktioner beregnes som relative i forhold til dagens tilførsler og tilstand. Derfor har dosis-respons enheden %-ændring i sommer-klorofyl-a koncentration per %-ændring i TN-tilførsel i figureksemplet.	29
Figur 4-2	Skematisk illustration af beregning af dosis-respons. Bemærk, at figuren beskriver relative forskelle på indikatoren, mens tilførsler opgøres i absolutte tilførsler. Derfor har dosis-respons enheden %-ændring i sommer-klorofyl-a koncentration per tons ændring i TN-tilførsel i figureksemplet.....	30
Figur 4-3	Skematisk illustration af beregning af dosis-respons. Bemærk, at figuren beskriver relative forskelle på indikatoren, mens tilførsler opgøres i absolutte	

	tilførsler. Derfor har dosis-respons enheden %-ændring i sommer-klorofyl-a koncentration per tons ændring i TP-tilførsel i figureksemplet.	31
Figur 4-4	Skematisk illustration af beregning af dosis-respons baseret på helårsreduktioner og reduktioner i tilførsler fra renseanlæg i figureksemplet. Helårsækvivalenten beregnes, som vist på figuren, som forholdet mellem dosis-respons fra renseanlægsreduktioner med dosis-respons fra helårsreduktioner.	31
Figur 4-5	Sammenhæng (dosis-respons) mellem TN-tilførsel til vandområde 157 (Bjørnsholm Bugt, Risgaard Bredning, Skive Fjord og Lovns Bredning) og sommer-klorofyl-a. Kopi fra Erichsen & Timmermann (2017). Prikker udgør modelresultater mens linjer er beskrevet ved en sigmoid kurve.	34
Figur 5-1	Proces for beregning af årsækvivalenter.	38
Figur 5-2	Skematisk model for beregning af efterafgrødeækvivalenten for Odense Fjord, Seden Strand (vandområde 93). Sommer beskriver her perioden maj til september, mens vinter beskriver perioden januar til april.	42

Tabeller

Tabel 3-1	Oversigt over vandområder, der blev udvalgt til nærmere analyse i SO fase III, på baggrund af resultater fra VP3. Tabellen inkluderer vandområder, som vurderes at være særligt P-følsomme, eller er følsomme over for sæsonreduktioner (dvs. reduktioner af fosfor og/eller kvælstof i vækstsæsonen).	12
Tabel 3-2	Opsummering af belastningsfordeling mellem de forskellige punktkilder som er undersøgt i denne arbejdsopgave. TN- og TP-status er de samlede gennemsnitlige årstilførsler fra perioden 2014-2018. I kolonnen 'Sammenlagt med vandområde nr.' er opstrøms vandområder, der er inkluderet i de samlede årlige tilførsler, noteret. I de resterende kolonner er den %-vise andel (gennemsnit 2014-2018) af punktkilderne RBU'er (RBU), renseanlæg (REN), industri (IND), ferskvandsdambrug (DAM) og havbrug (HAV) foruden det diffuse bidrag fra dræn (DRN) opgjort for TN- henholdsvis TP-tilførslerne. Tomme celler betyder, at de respektive punktkilder ikke er til stede i vandområdet.	23
Tabel 3-3	Simulerede virkemiddelscenarier for de udvalgte vandområder.	27
Tabel 5-1	Tilførsler og modelresultater for Odense Fjord, Seden strand ved reduktion i tilførsel fra renseanlæg. Bemærk: I regneeksemplet benyttes sigtddybde (SD) i stedet for K_d . Det har ingen betydning for resultaterne. En stigning i SD betyder en forbedring i lysindikatoren i modsætning til klorofyl, hvor et fald er en forbedring.	39
Tabel 5-2	Tilførsler og modelresultater for Odense Fjord, Seden strand ved reduktion i tilførsel fra RBU. Bemærk: I regneeksemplet benyttes sigtddybde (SD) i stedet for K_d . Det har ingen betydning for resultaterne. En stigning i SD betyder en forbedring i lysindikatoren i modsætning til klorofyl, hvor et fald er en forbedring.	40
Tabel 5-3	Beregning af fællesækvivalent for RBU, regneeksempel.	41
Tabel 5-4	Regneeksempel for ækvivalentberegning af efterafgrøder i Odense Fjord, Seden Strand (93).	42
Tabel 5-5	Årsækvivalenter: Årsækvivalenter svarer til, hvor mange gange mere effektivt det er at reducere 1 kg TN og/eller TP sammenlignet med at reducere 1 kg TN på årsbasis (%-vis jævnt fordelt over året). En negativ værdi betyder, at effekten er modsat (dvs. modsatrettet effekt, mens en værdi mellem 0-1 betyder, at reduktionen er mindre effektiv end en jævnt fordelt helårsreduktion. Når andelen fra de enkelte bidrag er ubetydelig eller ikke-eksisterende, angives ingen værdi.	

	Andelen anses som ubetydelig, når en 30% reduktion i punktkilden udgør mindre end 0,5% af den samlede TN-tilførsel til vandområdet.	45
Tabel 6-1	Tilførsler, målbelastninger og reduktionspotentialer på punktkilder for Odense Fjord, Seden Strand (vandområde 93) jf. Salomonsen & Ottosen (2023).	48
Tabel 6-2	Estimering af nyt reduktionsbehov efter introduktion af P-virkemidler for Odense Fjord, Seden Strand.	48
Tabel 6-3	Estimering af nyt reduktionsbehov efter introduktion af punktkilde-virkemidler for Odense Fjord, Seden Strand.	49
Tabel 6-4	Estimering af nyt reduktionsbehov efter introduktion af drænvirkemidler for Odense Fjord, Seden Strand.	50
Tabel 6-5	Tilførsler, målbelastninger og reduktionspotentialer på punktkilder i Odense Fjord, ydre (Salomonsen & Ottosen 2023).	50
Tabel 6-6	Estimering af nyt reduktionsbehov efter introduktion af P-virkemidler for Odense Fjord, ydre.	51
Tabel 6-7	Estimering af nyt reduktionsbehov efter introduktion af punktkilde-virkemidler for Odense Fjord, ydre.	51
Tabel 6-8	Estimering af nyt reduktionsbehov efter introduktion af dræn-virkemidler for Odense Fjord, ydre.	51
Tabel 6-9	Optimering af reduktionsbehov til Odense Fjord, Seden Strand. Tabellen viser ændringer i det samlede kvælstofreduktions-behov baseret på specifikke P-indsatser, indsatser i forhold til punktkilder og implementering af drænvirkemidler.	53
Tabel 6-10	Tilførsler, målbelastninger og reduktionspotentialer på punktkilder (Salomonsen & Ottosen 2023).	53
Tabel 6-11	Estimering af nyt reduktionsbehov efter introduktion af P-virkemidler for Karrebæk Fjord.	54
Tabel 6-12	Estimering af nyt reduktionsbehov efter introduktion af punktkilde-virkemidler for Karrebæk Fjord.	54
Tabel 6-13	Estimering af nyt reduktionsbehov efter introduktion af drænvirkemidler for Karrebæk Fjord.	54
Tabel 6-14	Optimering af reduktionsbehov til Karrebæk Fjord. Tabellen viser ændringer i det samlede kvælstofreduktions-behov baseret på specifikke P-indsatser, indsatser i forhold til punktkilder og implementering af drænvirkemidler.	55

1 Baggrund

Den 22. december 2021 sendte Miljøministeriet udkast til Vandområdeplaner 2021-2027 (VP3) i høring. VP3 blev vedtaget i juni 2023.

Det er, med aftale om en grøn omstilling af dansk landbrug fra 4. oktober 2021 ('Landbrugsaftalen'), politisk besluttet at gennemføre en "Second Opinion" (SO), der skal gennemgå det faglige grundlag for opgørelsen af kvælstofindsatsbehovet, som det fremgår af VP3. SO er organiseret af en taskforce med deltagelse af Finansministeriet (FM) (formand), Miljøministeriet (MIM) og Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri (FVM).

Som det fremgår af FM og MIMs kommissorium for SO af 8. februar 2022, skal resultaterne foreligge, så de vil kunne indgå ved det foreslåede genbesøg i 2023/2024 som del af grundlaget for beslutning om håndtering af den resterende kvælstofindsats frem mod 2027. I 'Landbrugsaftalen' beskrives opgaven således:

"Aftaleparterne er enige om, at der skal gennemføres en evaluering af det faglige grundlag for kvælstofindsatsen ("second opinion"), bl.a. under inddragelse af internationale forskere. En second opinion vil omfatte en evaluering af det faglige grundlag for kvælstofindsatsen mhp. at afdække, om der er foretaget antagelser, forudsætninger eller valg, som vil kunne lede til en justeret opgørelse af et resterende kvælstofindsatsbehov inden for de juridiske og naturvidenskabelige rammer for vandrammedirektivet.

En second opinion skal også omfatte en opdateret vurdering af effekten af kvælstofbaselinen og betydningen af opgørelser af kvælstofudledningen på baggrund af senest tilgængelige data. Aftaleparterne drøfter kommissorium på baggrund af et oplæg fra regeringen. Der afsættes 29 mio. kr. til indsatsen. Der nedsættes en task-force, der ledes af Finansministeriet. Gennemgangen skal være afsluttet mhp. at kunne indgå i genbesøget i 2023/2024."

En SO skal således gennemgå det faglige grundlag for opgørelsen af kvælstofindsatsbehovet, som det fremgår af VP3.

SO gennemføres i tre faser. Fase I og II forestås af FM/MIM og omfatter en redegørelse for det nuværende juridiske og naturfaglige grundlag og handlerum inden for Vandrammedirektivet, herunder fokus på mindst seks forskellige elementer i vandplansarbejdet under inddragelse af uvildige internationale forskere.

Fase III forestås af MST med bistand fra forskningsinstitutioner til gennemførelsen af det praktiske arbejde, der omfatter en opdatering af statusbelastning og baseline 2027, et styrket modelgrundlag under inddragelse af input fra fase I og II samt en revideret opgørelse af det resterende indsatsbehov for kvælstof fordelt på deloplande og tilhørende virkemidler.

Fase III arbejdet kan opdeles i 3 aktivitetsspor:

Aktivitetsspor "Second Opinion" Fase III

1. Opdatering af statusbelastning og baseline 2027
2. Styrket modelgrundlag:
 - a. Fosfor: Identifikation af muligheder for supplerende fosforindsats.
 - b. Sæsonfokuseret indsats: Identifikation af muligheder for yderligere anvendelse af kvælstofvirkemidler med særlig effekt i sommerhalvåret.
 - c. Inddragelse af input fra fase I og II.
 - d. Inddragelse af resultaterne fra "lokale analyser"
3. Opdatering af et revideret resterende indsatsbehov fordelt på oplande og tilhørende virkemidler.

Nærværende rapport omhandler alene delelementerne a og b under aktivitetsspor 2 i 'Styrket modelgrundlag', og indgår dermed som en af flere tekniske rapporter, som samlet set udgør rapporteringen af aktivitetsspor 2. De resterende tekniske rapporter udgøres af Thodsen & Tornbjerg (2023), Salomonsen & Ottosen (2023), Højberg et al. (2023), Jacobsen (2024) og Hasler & Filippelli (2024), foruden en sammenfattende rapportering, Erichsen et al. (2024).

De to delelementer c og d rapporteres særskilt. Aktivitetsspor 1 "Opdatering af statusbelastning og baseline 2027" gennemføres i et særskilt projektspor uafhængigt af aktivitetsspor 2. Aktivitetsspor 3 gennemføres ligeledes i et særskilt projektspor, men baseret på input fra aktivitetsspor 1 og 2.

1.1 Formål og forudsætninger

I forbindelse med forarbejdet til VP3 blev effekter af en mere fokuseret fosforregulering vurderet på et foreløbigt grundlag, blandt andet på grundlag af kystvandenes specifikke fosforfølsomheder beregnet i VP3-modelprojektet (se f.eks. Erichsen et al. (2021a)). På baggrund heraf blev der i første omgang udpeget kystvande med tilhørende oplande, hvor en supplerende fosforindsats potentielt ville kunne supplere og/eller erstatte dele af en kvælstofindsats, men det reelle oplandsspecifikke potentiale for en sådan supplerende fosforindsats var på daværende tidspunkt ikke kendt i detaljer. Af Erichsen et al. 2021a fremgår alle vandområders overordnede fosforfølsomhed baseret på modellering, og i nærværende rapport er fosforfølsomheden for alle relevante vandområder beregnet i detaljer.

Tilsvarende blev der igennem en screening af alle danske marine vandområder identificeret 18 vandområder (Erichsen et al. 2021b), hvor målrettet reduktion af kvælstofudledning i vækstsæsonen¹ potentielt kan reducere det beregnede reduktionsbehov af kvælstof på årnsniveau.

Formålet med projektet omkring 'Styrket Modelgrundlag, aktivitetsspor a og b' er at kvantificere effekterne af reduktioner i fosfortilførsler henholdsvis reduktion af kvælstofudledning fokuseret på vækstsæsonen, og afslutningsvis bidrage med viden, der kan indgå i opdateringen af indsatsbehov i forbindelse med genbesøget.

¹ Vækstsæson defineres her som perioden maj-september for sommer-klorofyl-a og marts til september for bundvegetation, og dermed lysforholdene i samme periode.

Det samlede projekt ('Styrket Modelgrundlag, aktivitetsspor a og b') er organiseret i 7 arbejds-pakker (AP'er), som bidrager til projektets samlede formål med henblik på at analysere poten-tialer for anvendelse af de supplerende virkemidler (fosfor, reduktioner målrettet vækstsæsonen), samt miljøeffekter og omkostningseffektivitet af forskellige kombinationer af disse indsats-muligheder i forhold til at adressere et resterende indsatsbehov ved genbesøget af VP3 i 2023/2024.

- AP1: Belastning og kildefordeling af kvælstof og fosfortilførsler
- AP2: Punktkildebidrag / virkemidler (inkl. økonomi)
- AP3: Diffust bidrag / virkemidler
- AP4: Styrket modelgrundlag – beregning virkemiddeleffekter (scenarier, fortolkning)
- AP5: Økonomi / omkostningseffektivitet
- AP6: Opdateringer af modelgrundlaget (input fra fase 1+2 og lokalanalyser)
- AP7: Projektledelse og -koordinering

Som nævnt ovenfor, indeholder denne rapport en teknisk gennemgang af arbejdet udført under Arbejdspakke 4 (AP4) i projektet omkring 'Styrket Modelgrundlag (fase III), og indeholder derud-over en opsamling af afhængighed til andre arbejds-pakker, metode og resultater.

2 Introduktion

Formålet med AP4 er at kvantificere de miljømæssige konsekvenser af forskellige scenarier for supplerende næringsstofreduktions-strategier (fosfor, kvælstof og reduktioner målrettet vækstsæsonen) til opfyldelse af et resterende VP3 indsatsbehov frem mod 2027, herunder betydningen af forskellige supplerende fosfor og kvælstofvirkemidler til at reducere udledninger af såvel kvælstof som fosfor fra hhv. diffuse kilder og punktkilder.

AP4 bygger derfor videre på de reduktionspotentialer og tilhørende virkemidler for supplerende fosforindsats samt potentialet for reduktioner målrettet vækstsæsonen, som er blevet identificeret i AP1-3 (Thodsen & Tornbjerg (2023), Højberg et al. (2023) og Salomonsen & Ottosen (2023)).

Mens AP1-3 identificerer og kvantificerer de enkelte kilders andel af næringsstoffbelastningen i de enkelte vandområder og fordeling over året, samt reduktionspotentialer for anvendelse af specifikke virkemidler, benyttes AP4 til at kvantificere responsen på miljøtilstanden, det vil sige reduktioner i sommerklorofyl- a og K_d i vækstsæsonen, på forskellige niveauer af reduktioner af punktkilder og diffuse bidrag, samt efterfølgende identifikation af forskellige kombinationer af indsatser, som kan adressere et resterende indsatsbehov.

I udgangspunktet er der i baggrundsmaterialet til VP3 allerede identificeret en række vandområder, hvor supplerende reduktioner i fosfortilførslen vil have en positiv effekt på miljøtilstanden og kan reducere kvælstofindsatsbehovet (Erichsen et al 2021a). Tilsvarende er det vist, at kvælstofreduktioner som specifikt påvirker kvælstoftilførsler i vækstsæsonen ligeledes har en forhøjet effekt på miljøtilstanden i nogle vandområder (Erichsen et al. 2021b).

Mens det tidligere arbejde identificerede vandområder med potentiale for anvendelse af enten supplerende fosforindsats og/eller virkemidler med målrettet reduktion i vækstsæsonen, er det imidlertid ikke analyseret, hvor stort potentialet er i de enkelte oplande for en sådan supplerende anvendelse af disse virkemidler.

I AP4 er de mulige miljøeffekter af at anvende sådanne supplerende indsatser mere præcist kvantificeret, og resultaterne af disse miljøeffektanalyser er omsat til forskellige kombinationer af kvælstof- og fosfor-reduktioner (scenarier), der kan bidrage til målopfyldelse inklusive et potentielt resterende kvælstof og/eller fosforindsatsbehov.

Resultaterne af AP4 indgår efterfølgende – sammen med resultaterne af AP1-3 – i AP5 (Jacobsen 2024 og Hasler & Filippelli 2024), hvor den økonomiske optimering beskrives.

3 Metode

AP4 bygger på modelarbejdet udarbejdet som baggrund for VP3. I dette arbejde indgik næringsstofftilførsler baseret på data leveret af Århus Universitet (Thodsen et al. 2019). Som baggrund for disse tilførsler indgik en række punktkilder, som det er tilfældet i alle tidligere opgørelser af næringsstofftilførsler, men med en ligelig fordeling over året (svarende til 1/12 eller 8,3% per måned af de enkelte punktkildebidrag).

Som en central del af SO projektet er sæsonfordelingerne af en række punktkilder blevet opdateret, hvorfor næringsstofftilførslerne fra punktkilder i nærværende projekt har en anden fordeling over året, men det samlede årlige punktkildebidrag svarer til tilførslerne anvendt til VP3. Fordelingen af de enkelte punktkilder er beskrevet nærmere i AP1, Thodsen & Tornbjerg (2023).

Udover opdaterede sæsonfordelinger af næringsstofftilførsler, er der foretaget enkelte opdateringer i de samlede næringsstofftilførsler, sammenlignet med det tidligere arbejde under VP3, herunder fx næringsstofftilførsler til Nakskov Fjord (se Thodsen & Tornbjerg (2023) for detaljer).

I AP3 er potentialet for specifikke dræn- og markvirkemidler analyseret. Hertil er der opstillet forskellige scenarier for implementering af dræn- og markvirkemidler dækkende forskellige andele af landbrugsarealet. På baggrund af scenarierne er der beregnet effekter på næringsstoffudledningen til vandområderne, se Højberg et al. (2024) for detaljer.

I AP4 er effekterne på miljøtilstanden af opdaterede sæsonfordelinger af næringsstofftilførsler, reduktioner i specifikke punktkilder og drænvirkemidler undersøgt ved brug af mekanistiske modeller, mens effekter af markvirkemidler ikke er modelleret specifikt, men bliver inddraget kvalitativt igennem beregninger baseret på fordelingerne mellem tilførsler i og udenfor vækstsæsonen (se afsnit 4.2.2 for detaljer).

3.1 Vandområder med potentiale for supplerende P-indsats og reduktioner målrettet vækstsæsonen

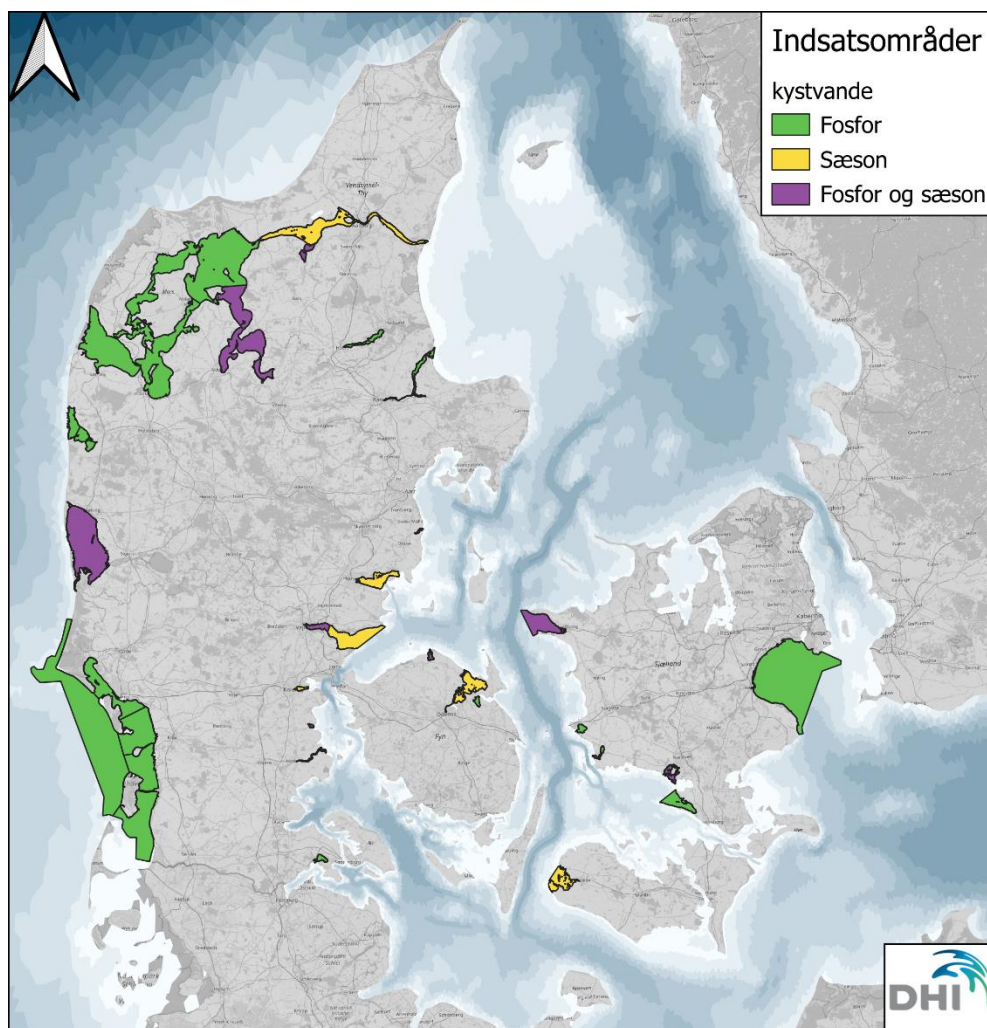
Baseret på modelresultaterne præsenteret i Erichsen et al. (2021a) og Erichsen et al. (2021b), er der identificeret en række vandområder, hvor miljøindikatoren sommer-klorofyl-a og/eller lysdæmpningskoefficienten (K_d) over vækstperioden udviser følsomhed overfor reduktioner i TN-tilførsler i vækstperioden (marts til september) for K_d og sommerperioden (maj til september) for klorofyl-a og P-reduktioner jævnt fordelt over hele året og/eller specifikt over vækstsæsonen. Sommer-klorofyl-a og K_d over vækstperioden er benyttet i beregningerne af kystvandenes målbelastninger, og dermed indgår netop de to indikatorer direkte i fastlæggelse af indsatsbehov i vandområdeplanerne 2021-2027.

De vandområder, som er identificeret som relevante i denne sammenhæng, er listet i Tabel 3-1 og vist i Figur 3-1. Randers Fjord er udpeget som særligt P-følsom, baseret på data fra de statistiske modeller. Der er imidlertid ikke opsat en mekanistisk model for Randers Fjord, hvorfor der ikke analyseres på Randers Fjord i AP4.

Tabel 3-1 Oversigt over vandområder, der blev udvalgt til nærmere analyse i SO fase III, på baggrund af resultater fra VP3. Tabellen inkluderer vandområder, som vurderes at være særligt P-følsomme, eller er følsomme over for sæsonreduktioner (dvs. reduktioner af fosfor og/eller kvælstof i vækstsæsonen).

ID	Vandområde	P	Sæson
16	Korsør Nor	X	
25	Skælskør Fjord og Nor	X	
29	Kalundborg Fjord	X	X

ID	Vandområde	P	Sæson
35	Karrebæk Fjord	X	X
37	Avnø Fjord	X	
59	Nærrå Strand	X	X
85	Kertinge Nor	X	
92	Odense Fjord, ydre		X
93	Odense Fjord, Seden Strand		X
106	Haderslev Fjord		X
107	Juvre Dyb	X	
109	Hejlsminde Nor	X	X
110	Nybøl Nor	X	
111	Lister Dyb	X	
119	Vesterhavet, syd	X	
120	Knudedyb	X	
121	Grådyb	X	
122	Vejle Fjord, ydre		X
123	Vejle Fjord, indre	X	X
124	Kolding Fjord, indre		X
128	Horsens Fjord, indre		X
129	Nissum Fjord, ydre	X	
130	Nissum Fjord, mellem	X	
131	Nissum Fjord, Fjelsted Kog	X	
132	Ringkøbing Fjord	X	X
136	Randers Fjord, indre	X	
137	Randers Fjord, ydre	X	
146	Norsminde Fjord	X	X
157	Bjørnholms Bugt, Riisgaarde Bredning, Skive Fjord og Lovns Bredning	X	X
158	Hjarbæk Fjord	X	X
159	Mariager Fjord, indre	X	
201	Køge Bugt	X	
207	Nakskov Fjord		X
232	Nissum Bredning	X	
233	Kås Bredning og Venø Bugt	X	
234	Løgstør Bredning	X	
235	Nibe Bredning og Langerak		X
236	Thisted Bredning	X	
238	Halkær Bredning	X	X



Figur 3-1 Kystvande med fosfor- og sæsonfølsomhed.

3.2 Næringsstofftilførsler fra punktkilder

Som beskrevet ovenfor indgår der en række punktkilder i nærværende projekt, hvor fordelingen over året er blevet opdateret i AP1 (Thodsen & Tornbjerg (2023)). De punktkilder, som indgår i analysen er:

- Renseanlæg
- Industri
- Regnbetingede udledninger (RBU)
- Havbrug (Saltvandbaseret Fiskeopdræt)
- Dambrug (Ferskvandsdambrug)

Fra alle punktkilder indgår der et TN- og et TP-bidrag. De enkelte punktkildedata, som benyttes i AP1, og som AP4 bygger videre på, er indhentet fra Danmarks officielle punktkildedatabase (PunktUdLedningsSystem, PULS) for de respektive oplande, der indgår i nærværende analyse. Som en del af næringsstofftilførslerne til kystvande indgår den retention, der er i oplandet, men i opgørelsen af punktkildebidraget i de enkelte kystvande er retention af punktkilderne ikke inkluderet, hvorfor punktkildebidraget fra AP1 kan være overestimeret (se Thodsen & Tornbjerg (2023) for detaljer). Det kan have betydning for konklusionerne i denne rapport, da effekter af at

reducere punktkilder og de afledte effekter for punktkilder (årsækvivalenter²), dermed også kan være overestimerede. Det er imidlertid det bedst tilgængelige datasæt, men bør adresseres ved brug af resultaterne i denne rapport. Dette vil blive yderligere udfoldet i afsnit 3.5.

Renseanlæg

Den største punktkilde i et vandområde er typisk udledninger fra renseanlæg, enten indirekte via udledninger til vandløb eller direkte til kystvand. I specifikke vandområder kan fordelingen naturligvis være anderledes, men i udgangspunktet er renseanlæg den største punktkilde på landsplan.

Fra PULS databasen kan rensningen på renseanlæg inddeles i tre kategorier: Avanceret rensning, mellem rensning eller mekanisk rensning. Derudover er der enkelte renseanlæg, som er kategoriseret som 'ukendt', og den del dækker typisk industriudledninger.

Baseret på data fra PULS databasen er der en klar sæsonfordeling i udledninger fra rensningsanlæg med avanceret rensning og mellem rensning, og disse har større relative udledninger i vintermånederne (oktober til april) (~10% af TN-helårstilførslerne og 9% af TP-helårstilførslerne) sammenlignet med sommermånedene (maj til september) (~6% af TN helårstilførslerne og 7% af TP-helårstilførslerne) (Salomonsen & Ottosen 2023). Som det fremgår af Salomonsen & Ottosen (2023), er der variation på estimerne på omkring $\pm 3-4\%$ ($2 \times \text{StDev}$), men på baggrund af et stort datasæt må de overordnede resultater anses for at være relativt robuste. Der vil imidlertid være forskel mellem de enkelte renseanlæg, hvilket ikke er inddraget i nærværende analyse.

Industriudledninger

Industriudledninger renses også i forskellige grader, men det har ikke været muligt at fastlægge en robust sæsonfordeling, hvorfor industriudledninger er fordelt med 1/12 per måned, svarende til 8,33%.

Havbrug

Sæsonfordelingen for N- og P-udledninger fra havbrug er vurderet til at følge foderforbruget. Denne metode har også været brugt af fx (Birkeland et al. 2021). Der er anvendt en middelmånedlig udledning af næringsstoffer fra 10 havbrug for perioden 2014-2019, som har været indhentet i forbindelse med tidligere studier af MST for DHI.

I forhold til nærværende analyse, er der ingen vandområder, hvor havbrug er relevant, på nær Kalundborg Fjord. Det skal dog bemærkes, at havbruget i Kalundborg Fjord ikke er et klassisk havbrug, men et saltvandsbaseret fiskeopdræt på land. Det er dog taget med her som havbrug, for at have konsistens med PULS databasen, hvor det er katalogiseret som et havbrug.

Dambrug

I henhold til Lassen & Frank-Gopolos (2022) er der fundet en mindre sæsonfordeling fra dambrug. Sæsonfordelingen er implementeret i nærværende analyse, men som det fremgår af (Salomonsen & Ottosen 2023) er variationen over året lille for både TN- og TP-tilførsler.

RBU'er

RBU'er dækker samlet set over overløb fra separatkloakerede og fælleskloakerede regnbetingede udledninger. Der findes i udgangspunkt få data for fordelingerne af udledninger fra RBU'er, og her har vi benyttet målte data fra DHIs badevandsvarsling ([Badevandsudsigten](#)) for perioden 2017-2021. Derfor udgør data fra de anvendte RBU'er alene udledninger fra RBU med kombineret spildevand og regnvand.

Data dækker i overvejende grad bynære områder som Øresundskysten og kyststrækningen fra Kolding til Århus. På grund af manglende baggrundsdata skelnes der ikke imellem forskellige

² Begrebet årsækvivalenter introduceres senere i nærværende rapport, men er et mål for, hvor effektivt virkemidlet er set i forhold til en helårsreduktion

typer af RBU'er. Baseret på målte data tilføres en større andel af den samlede årstilførsel i juli, august og september.

RBU'er fungerer typisk i pulser, og derfor må det forventes, at tilførslerne er større i aktuelle tilførsler, men aktive i væsentlig kortere perioder, hvorfor der må forventes en relativt større usikkerhed på estimerne fra RBU'erne end fra de andre punktkilder.

3.3 Diffuse tilførsler til kystvande - scenarier

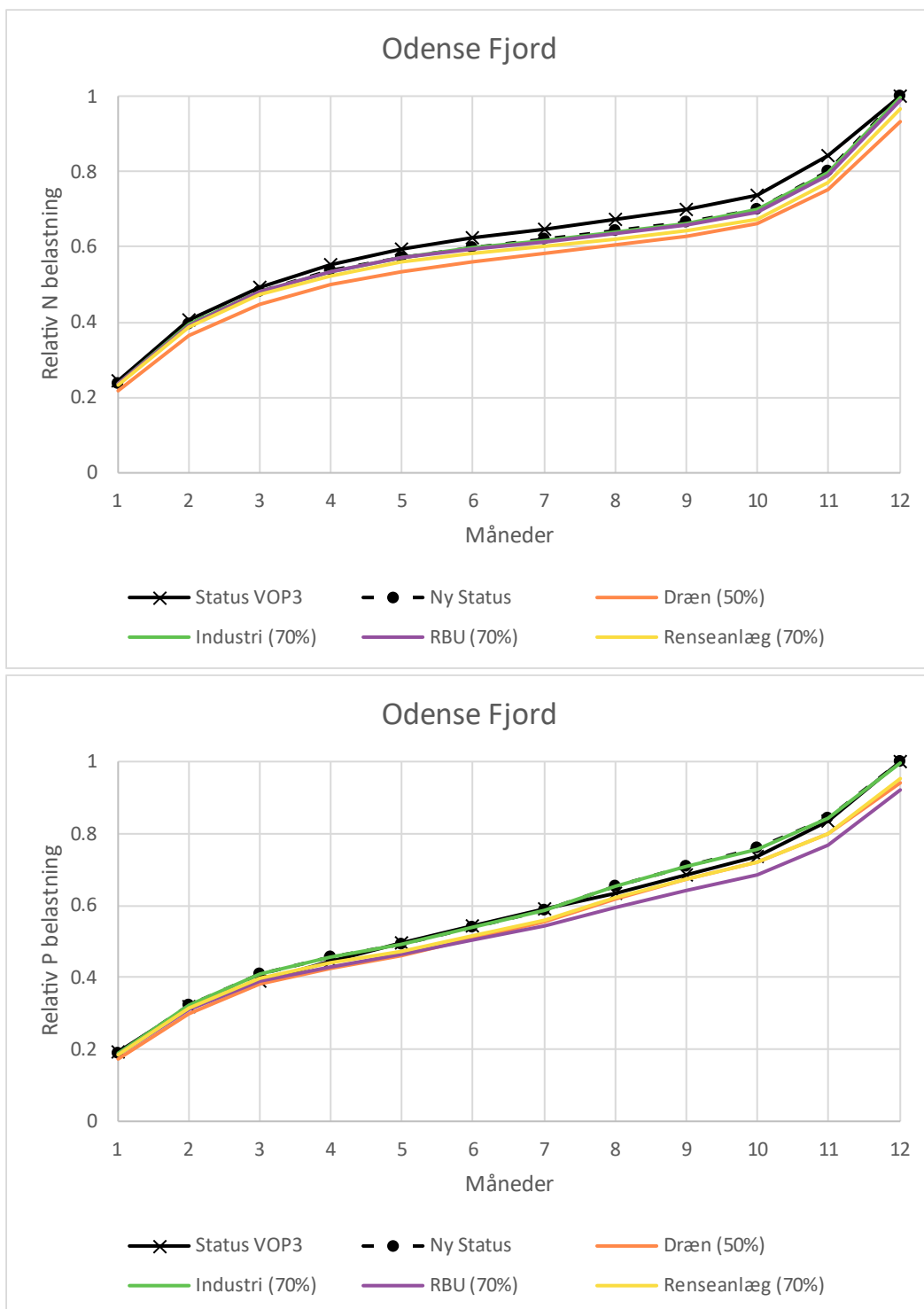
Udover at levere opdaterede statustilførsler på daglig basis i henhold til de nye punktkildefordelinger har AP1 leveret datasæt med effekten på næringsstofftilførsler til kystvande af en 30% reduktion af de enkelte punktkilde-grupper, hvorfor det har været muligt at vurdere det samlede bidrag fra de enkelte punktkilde-grupper til de samlede næringsstofftilførsler i de enkelte kystvande. Som eksempel viser Figur 3-2 henholdsvis den månedsvise akkumulerede TN-tilførsel og TP-tilførsel over et år. Data for de enkelte måneder er baseret på gennemsnit for årene 2012-2016 til Odense Fjord. Tilsvarende data er vist for alle projektrelevante vandområder i Bilag A.

Statustilførslerne, der blev benyttet som baggrund for VP3, sammenlignes med de opdaterede statustilførsler med reviderede punktkildefordelinger. Som det fremgår af Figur 3-2, så drejer opdateringen af tilførslerne for Odense Fjord sig kun om mindre forskelle, eftersom 'status VOP3' og 'ny status'-tilførslerne er nærmest sammenfaldende.

Derudover er vist ændringer i henholdsvis den samlede TN-tilførsel og TP-tilførsel ved en reduktion på 30% i punktkildegrupperne Industri, renseanlæg og RBU, foruden ændringer i tilførsler ved implementering af drænvirkemidler på 50% af det samlede potentiale for drænvirkemidler i oplandet til Odense Fjord (se afsnit 3.4 for flere detaljer). De to punktkilder, havbrug og dambrug er ikke relevante for Odense Fjord.

'Ny status (VOP3)' og 'industri (70%)' er nærmest sammenfaldende, hvilket viser, at der ikke er betydelige tilførsler af industrispildevand fra oplandet til Odense Fjord. Derimod er en 30% reduktion i tilførsler af både N og P fra renseanlæg og RBU'er synlig, hvorfor mængderne er betydelige og potentielt kan resultere i ændret miljøtilstand. De forskellige punktkilders andel af den totale tilførsel er vist i Tabel 3-2.

Data fra AP1 er udarbejdet på landsplan og dækker samtlige marine vandområder, og i Tabel 3-2 er data fra AP1 vist for de vandområder der fremgår af Tabel 3-1. Tabellen viser årsopgørelser af den samlede TN- og TP-tilførsel til det enkelte kystvand, samt en opgørelse af den enkelte punktkildes relative bidrag ved kysten.



Figur 3-2 Akkumuleret relativ fordeling af TN-tilførsel (øverst) og TP-tilførsel (nederst) over et år til Odense Fjord (vandområde 92 og 93). Månedsværdier er baseret på gennemsnit for årene 2012-2016. Forskel mellem 'Status VOP3' og 'Ny Status' viser forskellen mellem tilførsler benyttet under vandområdeplanerne 2021-2027 og tilførslerne med de reviderede punktkildefordelinger. De fire andre kurver viser akkumulerede relative tilførsler ved 70% af den nuværende punktkilde-tilførsel eller implementering af drænvirkemidler på 50% af det samlede potentiale for drænvirkemidler i oplandet til Odense Fjord. Det relative bidrag fra punktkilder fremgår af Tabel 3-2.

3.4 Ændringer i diffust næringsstofbidrag baseret på drænvirkemidler og markvirkemidler

Udover ændringer i de samlede næringsstofftilførsler beregnet ved reduktioner i punktkilder er der også undersøgt, om drænvirkemidler (inklusiv intelligente buffer zoner, IBZ'er) og markvirkemidlerne 'ændret N-tilførsel' og 'efterafgrøder' bidrager med en reduktion af især TN-tilførsler, som varierer over årstider, og som potentielt kan bidrage med målrettede reduktioner i vækstsæsonen i relevante oplande, jvf. Tabel 3-1. For en nærmere beskrivelse af denne metode, data og resultater, henvises til Højberg et al. (2024), mens brugen af resultaterne fra AP3 opsummeres i dette afsnit.

I Højberg et al. (2024) er rapporteret en lang række af scenarier, med forskellige udnyttelsesgrader af drænvirkemidler, efterafgrøder henholdsvis ændret N-tilførsel, og der har i AP3 været fokus på at beregne det maksimale potentiale for drænvirkemidler og markvirkemidler. Baseret på potentialerne er effekterne efterfølgende omsat til ændringer i den samlede TN- og TP-tilførsel til de respektive marine vandområder.

3.4.1 Drænvirkemidler

I AP4 er udvalgt ét scenario fra AP3, som dækker drænvirkemidler. Der er forskel mellem de forskellige dræns-scenarier (D1-D5) i AP3, men forløbet over året følger i stor udstrækning den samme fordeling mellem månederne, men med større potentiale ved større udnyttelse af potentiale. De effekter, som de enkelte virkemidler har på miljøindikatorerne, beregnes i AP4 og omsættes til en uniform faktor (en årsækvivalent, se afsnit 4.2), og derfor er der ikke behov for at beregne alle dræns-scenarierne D1-D5, men alene et scenario, som derefter kan indgå i arbejdet med implementering af virkemidler med henblik på at opnå god økologisk tilstand (GØT) med varierende udnyttelse af drænvirkemiddel inklusive eller eksklusive målretning.

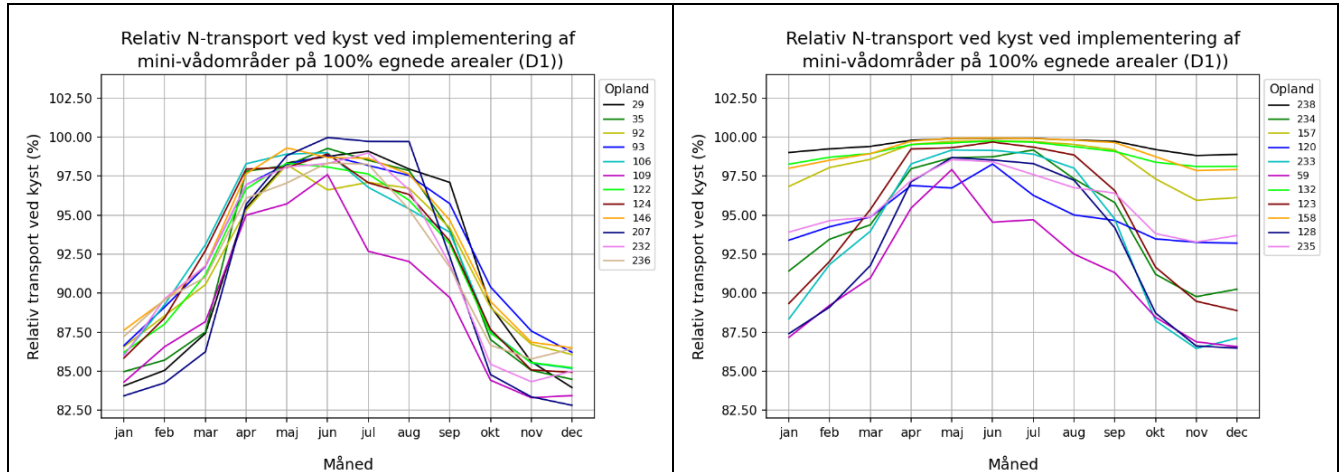
I AP3 er det samlede potentielle areal for drænvirkemidler fundet, og der skelnes i AP3 mellem potentialearealer for minivådområder og Intelligente Buffer Zoner (IBZ). Hvordan det samlede potentialeareal er fundet, beskrives i Højberg et al. (2024).

I AP4 har vi valgt at benytte 50% af effekten fra scenario D1 fra AP3, svarende til 50% udnyttelse af det potentielle areal for drænvirkemidler, baseret på en gennemsnitlig reduktion fra drænvirkemidlerne (ikke målrettet), og baseret på ændringer i TN- og TP-tilførsler er der beregnet en responskurve, som efterfølgende kan benyttes til at skalere i forhold til andre fraktioner af det maksimale potentiale. Dette beskrives mere uddybende i afsnit 4.2.

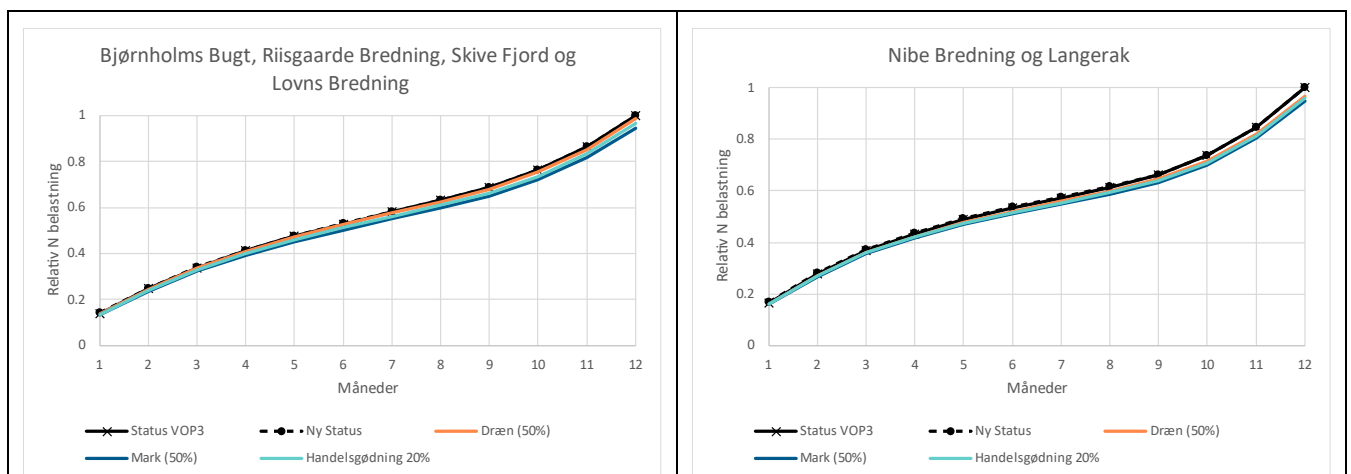
Den præcise metode og resultater til beregning af effekter til kystvandet fremgår som nævnt af Højberg et al. (2024), mens et eksempel på reduktioner ved implementering af 100% af potentialet er vist i Figur 3-3 som månedsmidler. I AP4 har vi imidlertid alene implementeret effekterne fra D1 på 50% af det egnede areal, hvilket svarer til at halvere effekterne, og de akkumulerede effekter for 50% af D1 er vist i Figur 3-4.

Data fra AP3, som vist i Figur 3-3 er benyttet i AP4 til at vurdere effekterne på de to indikatorer sommer-klorofyl-a og K_d i vækstperioden, med henblik på at vurdere den samlede potentielle effekt af drænvirkemidler. Som det fremgår af Figur 3-3, findes de største relative reduktioner fra drænvirkemidler i månederne januar til marts og oktober til december hvor afstrømningen er størst. I de seks måneder bidrager drænvirkemidler med en reduktion på mellem 7-12% af TN-tilførslerne i de samme måneder, hvor tilførslen samtidig er størst, mens hovedparten af de aktuelle vandområder opnår en reduktion på maksimalt 2% i månederne fra april til august, hvor afstrømningen er lav. Enkelte vandområder, som 132 (Ringkøbing Fjord), 157 (Bjørnshold Bugt, Riisgaard Bredning, Skive Fjord og Lovns Bredning), 158 (Hjarbæk Fjord) og 238 (Halkær Bredning), opnår reduktioner i vintermånederne, som i gennemsnit er under 2% i 50% scenariet.

Da drænvirkemidlers effekt på fosforudvaskning ikke er kendt i detaljer, anvendes samme månedlige fordeling af reduktion for TN og TP i dette studie efter anbefaling fra AP3, og i Figur 3-4 er vist den samlede relative akkumulerede TN--tilførsel til vandområde 157 (Bjørnshold Bugt, Riisgaarde Bredning, Skive Fjord og Lovns Bredning), og vandområde 235 (Nibe Bredning og Langerak) baseret på effekten af at inddrage drænvirkemidler i 50% af det potentielle areal.



Figur 3-3 Ændring i N-tilførsel til de enkelte marine vandområder efter implementering af drænvirkemidler på 100% af det egnede areal i hvert af de enkelte vandområders opland (se Tabel 3-1 for at oversætte vandområdenumre til vandområdenavne). Ved 100% er der ingen effekt af drænvirkemidlet, mens en relativ samlet TN-transport på 85% betyder en samlet reduktion i TN-tilførslen til det vandområde i den måned på 15%.



Figur 3-4 Akkumuleret relativ næringsstofftilførsel til vandområde 157 (øverst) og 235 (nederst) sammenlignet med den akkumulerede næringsstofftilførsel ved implementering af drænvirkemidler på 50% af det potentielle areal, efterafgrøder på 50% af det supplerende areal og en reduktion i handelsgødning på 20%. Værdien 1.0 på y-aksen efter måned 12 svarer til 100% sammenfald med de gennemsnitlige næringsstofftilførsler fra 2012-2016.

3.4.2 Markvirkemidler

Som en del af analysen i AP3 (Højberg et al. 2024) blev effekter af enkeltstående markvirkemidler inddraget undervejs i projektet. To markvirkemidler blev gennemregnet:

- Reduceret tilførsel med handelsgødning, og
- Ændret efterafgrødeareal

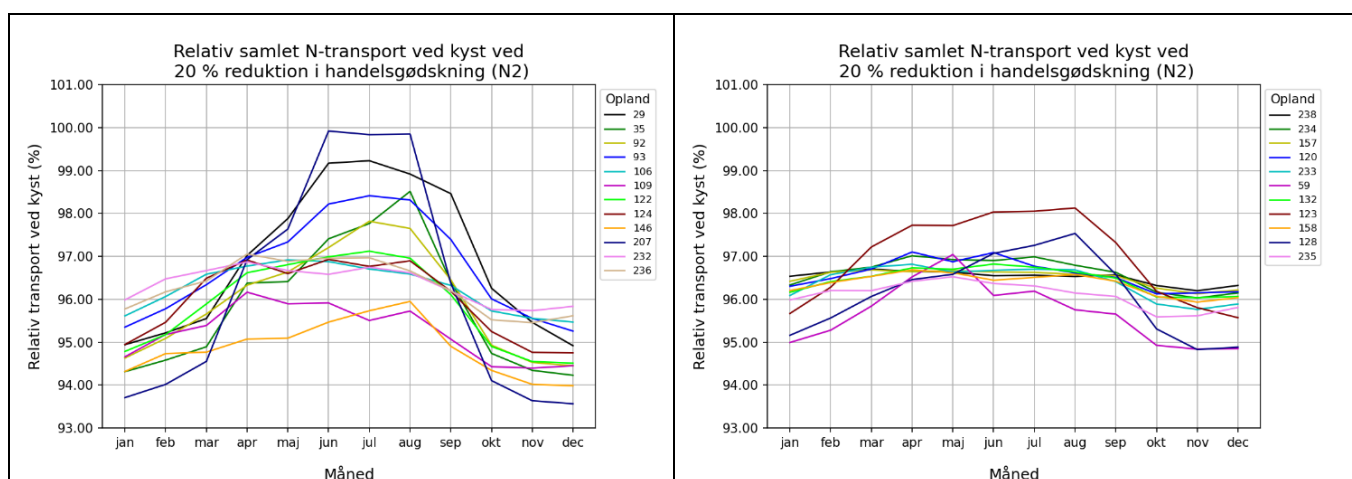
I scenarierne med reduceret handelsgødningsforbrug blev forbruget reduceret med henholdsvis 10% og 20% i forhold til forbruget i 2017. Til effektberegningerne anvendes der alene handelsgødning på konventionelle bedrifter, hvilket gør, at effekten på nitratudvaskningen kun ændres her.

I forhold til efterafgrøder bygger scenarierne på en række antagelser, der er gjort for at få et realistisk areal med etablerede efterafgrøder. Disse antagelser omhandler fx afgrødevalg, dyrkning og høst, og indgår dermed i vurderingen af, hvorvidt der er plads til flere efterafgrøder end implementeret i 2017. Analysen er baseret på aktuelle markdata fra både 2017 og 2018 samt oplysninger på bedriftsniveau fra 2017. I forhold til ændret efterafgrødeareal, bliver der altså tale om et supplerende areal udover det efterafgrøde areal implementeret i 2017/2018.

Scenarierne for markvirkemidlernes dosering tager dermed udgangspunkt i arealanvendelse og efterafgrøder i dyrkningsåret 2017/2018 med de forbehold, som er beskrevet i AP3 omkring det aktuelle areal med efterafgrøder. Den beregnede effekt kan dermed indgå i en vurdering af effekten ved implementering/dosering af flere eller færre markkvælstofvirkemidler. Det skal bemærkes, at effekten af markvirkemidlet er klimanormaliseret (Børgesen et al., 2021) og repræsenterer således ikke aktuelle års effekter, men en gennemsnitseffekt (se Højberg et al. 2024 for detaljer).

I AP3 er der dermed opstillet scenarier til reduktion af kvælstofudledningen ved havet, ved implementering af markvirkemidler dækkende en varierende andel af landbrugsarealet. Til belysning af sæsonvariationen i virkemiddelseffekterne og dermed den resulterende tilførsel til kysten er beregningerne gennemført på månedsbasis, og effekten er ført hele vejen fra virkemidlets placering på marken til de enkelte marine vandområder (Figur 3-5 og Figur 3-6 for månedsfordelinger og Figur 3-4 for akkumulerede tilførsler for eksempler i to vandområder i Limfjorden).

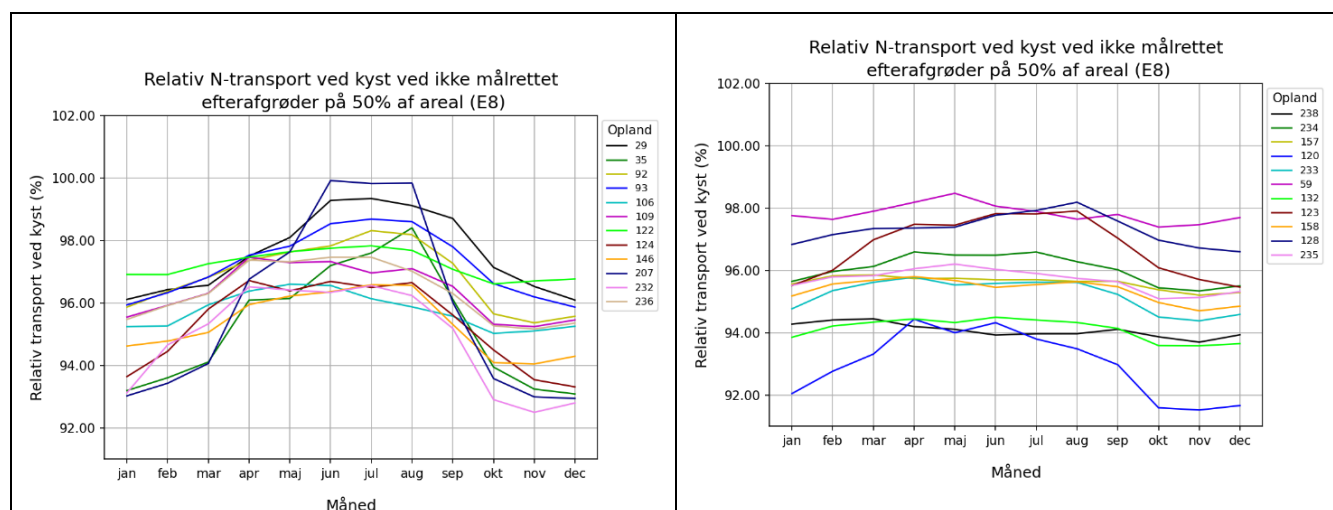
I AP4 har vi valgt at benytte scenarierne N2 og E8, svarende til 20% reduktion i handelsgødning og ikke målrettede efterafgrøder på 50% af det potentielle supplerende areal. Som for drænvirkemidler benyttes de her to valgte scenarier alene til at beregne en uniform faktor (en årsækvi-valent, se afsnit 4.2), som efterfølgende kan benyttes til at vurdere de samlede effekter af de andre scenarier, eller kombinationer af scenarier.



Figur 3-5 Ændring i N-tilførsel til de enkelte marine vandområder efter en reduktion i handelsgødning på 20% (se Tabel 3-1 for at oversætte vandområdenumre til vandområdenavne). Ved 100% er der ingen effekt af den reducerede tilførsel, mens en relativ samlet TN-transport på 94% betyder en samlet reduktion i TN-tilførslen til det vandområde i den måned på 6%.

Som det fremgår af Figur 3-5, er der nogen sæsonvariation ved reduktion af handelsgødning. For hovedparten af vandområderne ligger reduktionen mellem 3-5%, og altså en variation over året på 2% men for enkelte vandområder som vandområde 29 (Kalundborg Fjord) og 93 (Odense Fjord, Seden Strand) er variationen over året større.

På tilsvarende vis er resultaterne af målrettede efterafgrøder på 50% af det supplerende areal vist i Figur 3-6. Her er variationen i reduktionerne mellem vandområderne lidt større, men for de enkelte vandområder er variationen over året mellem 2-3%, igen med størst variation for vandområderne 29 (Kalundborg Fjord) og 93 (Odense Fjord, Seden Strand).



Figur 3-6 Ændring i N-tilførsel til de enkelte marine vandområder efter implementering af efterafgrøder på 50% af det potentielle supplerende areal i hvert af de enkelte vandområders opland (se Tabel 3-1 for at oversætte vandområdenumre til vandområdenavne). Ved 100% er der ingen effekt af den reducerede tilførsel, mens en relativ samlet TN-transport på 90% betyder en samlet reduktion i TN-tilførslen til det vandområde i den måned på 10%.

3.5 Generelle usikkerheder

I N-udvaskningsberegningerne i Højberg et al. (2024) benyttes aktuelle klimadata for årene 1990-2010, mens der anvendes 2017 dyrkningspraksis for alle år. Resultaterne fra beregningerne midles efterfølgende, hvilket betyder, at betydningen af klimavariationer mellem årene udglignes. I modelberegningerne i AP4 benyttes aktuelle næringsstofftilførsler, inklusive våde og tørre år. I våde år udgør det diffuse bidrag en relativt større andel af den samlede tilførsel til de enkelte vandområder, mens det er omvendt i tørre år.

I AP4 benytter vi data, som de er beskrevet ovenfor og vil dermed underestimere effekterne i våde år og overestimere effekterne i tørre år.

For både dræn- og markvirkemidlerne gælder i øvrigt, at de har effekt på en andel af det diffuse bidrag fra oplandet, mens den samlede transport til kysten består af flere bidrag, herunder punktkilder i oplandet. Som beskrevet i afsnit 3.2 kan andelen af punktkildebidraget for nogle oplande imidlertid overestimeret (se Thodsen & Tornbjerg (2023) for detaljer), hvorfor der samlet set er nogle usikkerheder om de faktiske fordelinger mellem diffust bidrag og punktkildebidrag, og det har betydning for de beregninger, der præsenteres i efterfølgende afsnit.

Derudover er der vigtigt at fremhæve, at ved neddeling af effekter fra forskellige kilder øges usikkerheden. I AP1 og AP3 er der generelt set benyttet solide datasæt, men når vi i AP4 begynder at neddele de enkelte tilførsler til de respektive vandområder i bidrag fra de forskellige

kilder, øges kompleksiteten og usikkerheden på de enkelte datasæt, hvilket er vigtigt at tage med i det videre arbejde og modellering.

Tabel 3-2 Opsummering af belastningsfordeling mellem de forskellige punktkilder som er undersøgt i denne arbejdsplan. TN- og TP-status er de samlede gennemsnitlige årstilførsler fra perioden 2014-2018. I kolonnen 'Sammenlagt med vandområde nr.' er opstrøms vandområder, der er inkluderet i de samlede årlige tilførsler, noteret. I de resterende kolonner er den %-vise andel (gennemsnit 2014-2018) af punktkilderne RBU'er (RBU), renseanlæg (REN), industri (IND), ferskvandsdambrug (DAM) og havbrug (HAV) foruden det diffuse bidrag fra dræn (DRN) opgjort for TN- henholdsvis TP-tilførslerne. Tomme celler betyder, at de respektive punktkilder ikke er til stede i vandområdet.

ID	Vandområde	Sammenlagt med vandområde nr.	TN status (gns 2014-2018) [T/år]	TP status (gns 2014-2018) [T/år]	TN RBU [%/år]	TP RBU [%/år]	TN REN [%/år]	TP REN [%/år]	TN IND [%/år]	TP IND [%/år]	TN DAM [%/år]	TP DAM [%/år]	TN HAV [%/år]	TP HAV [%/år]
16	Korsør Nor		37	1,0	1,9	18,0								
25	Skælskør Fjord og Nor		39	1,6	4,4	27,1	5,3	14,8	2,5	33,4				
29	Kalundborg Fjord		70	3,1	0,1	0,7	12,4	14,4	10,1	18,0			11,3 ³	30,1
35	Karrebæk Fjord		1.195	35,3	1,8	11,5	5,9	26,8	0,1	0,5				
37	Avnø Fjord		202	2,9	0,8	13,3	0,2	1,7						
59	Nærrå Strand		112	1,8	0,6	8,7								
85	Kertinge Nor		23	0,6	3,9	30,2								
92	Odense Fjord, ydre	93	1.439	44,6	3,2	25,8	10,5	15,7	0,8	0,3				
93	Odense Fjord, Seden Strand		1.367	42,6	3,2	25,8	10,9	16,1	0,8	0,3				
106	Haderslev Fjord		239	13,0	2,2	8,9	9,2	28,6						
107	Juvre Dyb		338	13,0	0,2	1,3	0,8	4,3						
109	Hejlsminde Nor		147	4,7	0,4	3,5	2,4	22,9						
110	Nybøl Nor		63	2,9	1,7	9,3	1,1	1,6						
111	Lister Dyb		2.186	104,6	0,5	2,5	1,7	3,4	0,0	0,0	0,5	1,1		
119	Vesterhavet, syd	107, 111, 120, 121	8.500	317,7	0,7	4,5	2,6	7,5	0,0	0,1	2,5	5,5		
120	Knudedyb		2.840	86,1	0,3	2,7	1,7	7,8			3,2	8,9		
121	Grådyb		2.936	101,6	1,4	8,9	4,4	12,6	0,0	0,1	3,7	8,4		
122	Vejle Fjord, ydre	123	972	46,9	2,0	9,6	8,8	13,2	0,1	0,1	6,3	12,8		
123	Vejle Fjord, indre		574	31,9	2,1	8,8	11,6	12,8			9,7	17,3		
124	Kolding Fjord, indre		492	18,3	2,2	15,3	3,2	14,2	0,0	0,0	0,3	1,0		
128	Horsens Fjord, indre		750	24,0	2,8	20,5	7,1	7,4			0,1	0,2		
129	Nissum Fjord, ydre	130, 131	2.522	71,8	1,2	9,4	4,6	11,2	0,0	0,0	3,6	8,4		
130	Nissum Fjord, mellem	131	2.160	60,5	1,4	10,8	5,3	13,2	0,0	0,0	4,1	9,4		
131	Nissum Fjord, Felsted Kog		2.013	56,7	1,5	11,4	5,6	13,9	0,0	0,0	4,2	9,7		
132	Ringkøbing Fjord		4.929	129,6	0,8	6,7	1,2	4,4	0,2	0,7	2,9	10,1		
146	Norsminde Fjord		127	3,0	1,8	18,4	2,2	4,6						
157	Bjørnsholm Bugt, Risgaard Bredning, Skive Fjord og Lovns Bredning	158	3.527	103,2	0,6	5,4	1,5	4,5			2,6	7,6		
158	Hjarbæk Fjord		1.731	43,5	0,6	5,6	0,9	3,5			1,4	5,2		

³ I PULS databasen er der registreret et havbrug i Kalundborg Fjord. Det er imidlertid ikke et klassisk havbrug, men et saltvandsbaseret fiskeopdræt på land, som derfor ret beset er en industriudledning. Her har vi imidlertid valgt at fastholde det som et havbrug for konsistens med PULS databasen.

ID	Vandområde	Sammenlagt med vandområde nr.	TN status (gns 2014-2018) [T/år]	TP status (gns 2014-2018) [T/år]	TN RBU [%/år]	TP RBU [%/år]	TN REN [%/år]	TP REN [%/år]	TN IND [%/år]	TP IND [%/år]	TN DAM [%/år]	TP DAM [%/år]	TN HAV [%/år]	TP HAV [%/år]
159	Mariager Fjord, indre		487	9,5	0,6	5,6	2,5	4,6	0,0	0,0				
201	Køge Bugt		1.012	50,6	6,0	26,7	19,9	47,0	1,6	2,7				
207	Nakskov Fjord		331	6,3	0,8	8,6	3,3	22,2						
232	Nissum Bredning		896	36,1	0,5	2,9	1,7	6,1			0,3	0,9		
233	Kås Bredning og Venø Bugt	232	1.983	80,5	0,7	4,2	1,5	5,0	0,2	1,0	0,5	1,2		
234	Løgstør Bredning	157, 158, 233, 236	6.386	217,5	0,8	5,5	1,8	4,5	0,1	0,4	1,6	4,0		
235	Nibe Bredning og Langerak	157, 158, 233, 234, 236, 238	10.618	375,7	0,9	6,4	3,0	8,5	0,1	0,5	1,2	3,0		
236	Thisted Bredning		1.098	44,0	1,1	7,0	2,6	3,1			0,2	0,5		
238	Halkær Bredning		584	12,7	0,4	4,4	1,2	2,2			0,4	2,0		

3.6 Modelling af miljøeffekter

Som en del af modeludviklingen under arbejdet med fastsættelse af målbelastninger som fundament for vandområdeplanerne 2021-2027 blev der udviklet 11 mekanistiske hydrodynamiske og biogeokemiske modeller (DHI 2020a-i). Disse modeller blev blandt andet benyttet til at beregne dosis-respons kurver, som viser, hvor meget en indikator som fx sommer-klorofyl-a ændrer sig i %, når TN- eller TP-tilførslerne til det specifikke vandområde ændres med 1% (Erichsen et al. 2021c).

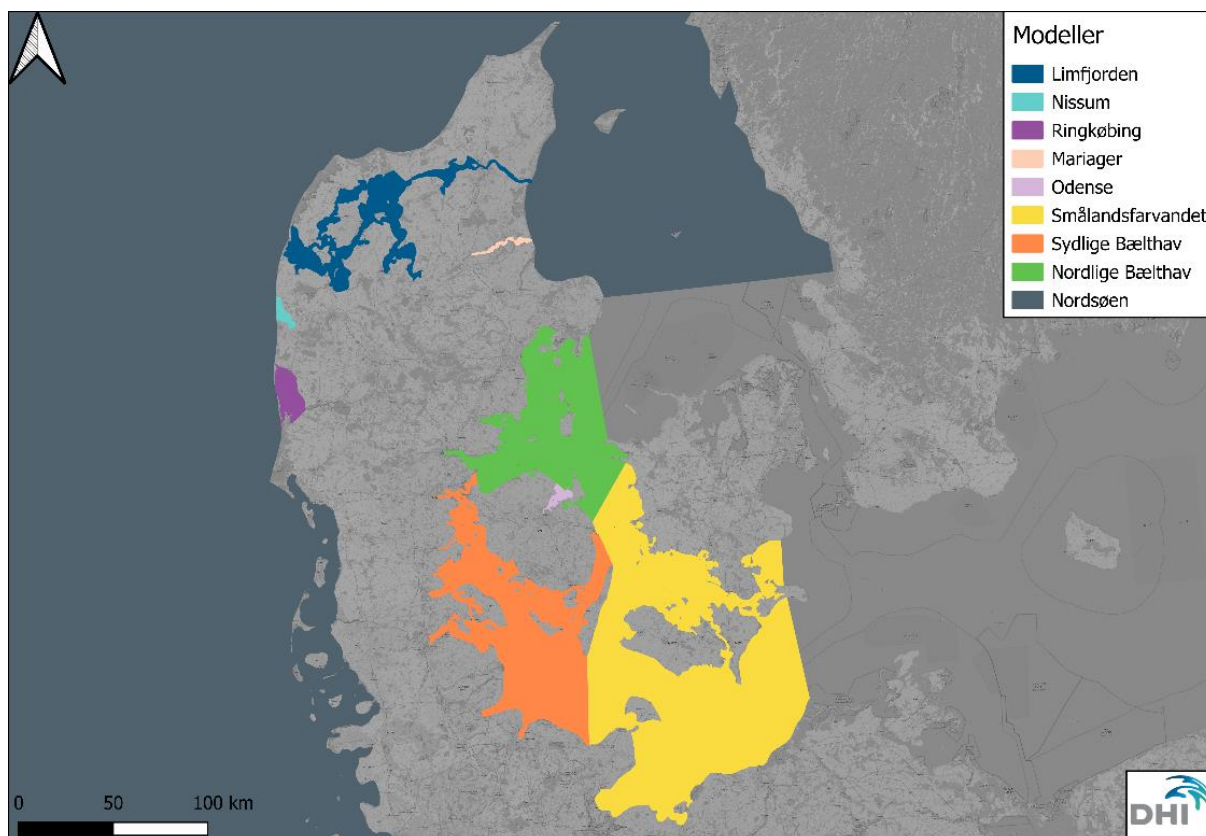
Dette arbejde resulterede dermed i individuelle dosis-respons kurver for stort set alle Danmarks 109 marine vandområder og alle vandområder, som indgår i nærværende analyse, for både ændringer i danske landbaserede TN-tilførsler, danske landbaserede TP-tilførsler, udenlandske landbaserede TN-tilførsler, udenlandske landbaserede TP-tilførsler og ændringer i den samlede atmosfæriske TN-deposition.

Disse dosis-responskurver blev beregnet på baggrund af ændringer i den samlede næringsstofftilførsel under antagelse af, at næringsstoffkilden blev reduceret %-vis jævnt over hele året.

I nærværende projekt benyttes de samme mekanistiske modeller, dog med den undtagelse, at modellerne er blevet opdateret med de reviderede punktkildfordelinger beskrevet i afsnit 3.2, og modelscenarier efterfølgende afviklet som del af nærværende projekt. Derudover er ikke alle 11 mekanistiske modeller blevet afviklet, men alene modellerne for Limfjorden (DHI 2020a), Nissum Fjord (DHI 2020b), Ringkøbing Fjord (DHI 2020c), Mariager Fjord (DHI 2020d), Odense Fjord (DHI 2020e), Smålandsfarvandet (DHI 2020f), Sydlige Bælthav (DHI 2020g), Nordlige Bælthav (DHI 2020h), og Nordsøen (DHI 2020i) (se Figur 3-7 for et overblik over de anvendte modeller).

Modellen for Roskilde Fjord og modellen dækkende de indre danske farvande er ikke anvendt i dette studie, da der ud over Køge Bugt ikke er identificeret relevante vandområder i Roskilde Fjord eller de mere åbne dele af de indre danske farvande, som er udpegede som særligt P-følsomme eller følsomme overfor reduktioner i vækstsæsonen. I henhold til Tabel 3-1 er alene Køge Bugt identificeret som delvist P-følsom, og det vil blive håndteret separat i nærværende rapport.

Derudover er Kalundborg Fjord ikke inkluderet i analyserne i denne rapport. Kalundborg Fjord er placeret meget tæt på randværdier i de anvendte lokalmodeller, hvorfor resultaterne herfra er randstyret og dermed ikke kan bruges direkte i analyserne. I VP3 er Kalundborg Fjord blevet adresseret ved hjælp af modellen for de indre danske farvande, som ikke er opdateret og afviklet i nærværende projekt.



Figur 3-7 Overblik over de ni modeller, som er anvendt til at undersøge miljøeffekter af supplerende TP-indsatser eller indsatser, som er målrettet TN- og TP-reduktioner i vækstsæsonen.

3.7 Modelscenarier

Det er ikke alle vandområder (og dermed mekanistiske modeller), der er afviklet for alle typer af potentielle reduktioner i punktkilder og/eller implementering af drænvirkemidler. F.eks. er det kun i Horsens Fjord, at punktkilden 'havbrug' er relevant i forhold til tilførsler i vækstsæsonen. Der findes havbrug i andre marine vandområder, men ikke blandt de vandområder, som er udpeget som særligt følsomme for P-indsatser og/eller reduktioner målrettet vækstsæsonen. Derudover er der Kalundborg Fjord, hvor der er tale om saltvandsbaseret fiskeopdræt på land, som derfor ret beset er en industriudledning.

I Tabel 3-3 vises, hvilke reduktionsscenarier der har været anvendt i vandområderne omfattet i dette studie. For de enkelte indsats-scenarier er der afviklet både et TN- og et TP-scenarie. Et scenarie udgøres i dette projekt af en reduktion i TN- eller TP-tilførslerne svarende til en 30% reduktion i de respektive punktkildegrupper, RBU'er, renseanlæg, industri, dambrug eller havbrug eller en reduktion i TN- og TP-tilførslerne baseret på implementering af drænvirkemidler på 50% af det potentielle areal. For nogle vandområder er der afviklet scenarier for punktkilder, der ikke findes i det specifikke vandområde. Det skyldes, at der er flere af modellerne, der dækker over flere vandområder, og der er derfor kørt scenarier for alle virkemidler med potentiale i modelområdet (se Figur 3-7 for overblik over de forskellige modeldomæner).

Tabel 3-3 Simulerede virkemiddelscenarier for de udvalgte vandområder.

ID	Vandområde	Scenarier
16	Korsør Nor	Industri, dræn, RBU, renseanlæg
25	Skælskør Fjord og Nor	Industri, dræn, RBU, renseanlæg
29	Kalundborg Fjord	Dambrug, havbrug, industri, dræn, RBU, renseanlæg
35	Karrebæk Fjord	Industri, dræn, RBU, renseanlæg
37	Avnø Fjord	Industri, dræn, RBU, renseanlæg
59	Nærrå Strand	Dambrug, havbrug, industri, dræn, RBU, renseanlæg
85	Kertinge Nor	Dambrug, havbrug, industri, dræn, RBU, renseanlæg
92	Odense Fjord, ydre	Industri, dræn, RBU, renseanlæg
93	Odense Fjord, Seden Strand	Industri, dræn, RBU, renseanlæg
106	Haderslev Fjord	Industri, dræn, RBU, renseanlæg
107	Juvre Dyb	Dambrug, industri, dræn, RBU, renseanlæg
109	Hejlsminde Nor	Industri, dræn, RBU, renseanlæg
110	Nybøl Nor	Industri, dræn, RBU, renseanlæg
111	Lister Dyb	Dambrug, industri, dræn, RBU, renseanlæg
119	Vesterhavet, syd	Dambrug, industri, dræn, RBU, renseanlæg
120	Knudedyb	Dambrug, industri, dræn, RBU, renseanlæg
121	Grådyb	Dambrug, industri, dræn, RBU, renseanlæg
122	Vejle Fjord, ydre	Dambrug, industri, dræn, RBU, renseanlæg
123	Vejle Fjord, indre	Dambrug, industri, dræn, RBU, renseanlæg
124	Kolding Fjord, indre	Dambrug, industri, dræn, RBU, renseanlæg
128	Horsens Fjord, indre	Dambrug, havbrug, industri, dræn, RBU, renseanlæg
129	Nissum Fjord, ydre	Dambrug, industri, dræn, RBU, renseanlæg
130	Nissum Fjord, mellem	Dambrug, industri, dræn, RBU, renseanlæg
131	Nissum Fjord, Fjelsted Kog	Dambrug, industri, dræn, RBU, renseanlæg
132	Ringkøbing Fjord	Dambrug, industri, dræn, RBU, renseanlæg
146	Norsminde Fjord	Dambrug, industri, dræn, RBU, renseanlæg
157	Bjørnholms Bugt, Riisgaarde Bredning, Skive Fjord og Lovns Bredning	Dambrug, industri, dræn, RBU, renseanlæg

ID	Vandområde	Scenarier
158	Hjarbæk Fjord	Dambrug, industri, dræn, RBU, renseanlæg
159	Mariager Fjord, indre	industri, RBU, renseanlæg
207	Nakskov Fjord	Industri, dræn, RBU, renseanlæg
232	Nissum Bredning	Dambrug, industri, dræn, RBU, renseanlæg
233	Kås Bredning og Venø Bugt	Dambrug, industri, dræn, RBU, renseanlæg
234	Løgstør Bredning	Dambrug, industri, dræn, RBU, renseanlæg
235	Nibe Bredning og Langerak	Dambrug, industri, dræn, RBU, renseanlæg
236	Thisted Bredning	Dambrug, industri, dræn, RBU, renseanlæg
238	Halkær Bredning	Dambrug, industri, dræn, RBU, renseanlæg

4 Metodebeskrivelse

4.1 Effekter af reduktionsscenarier

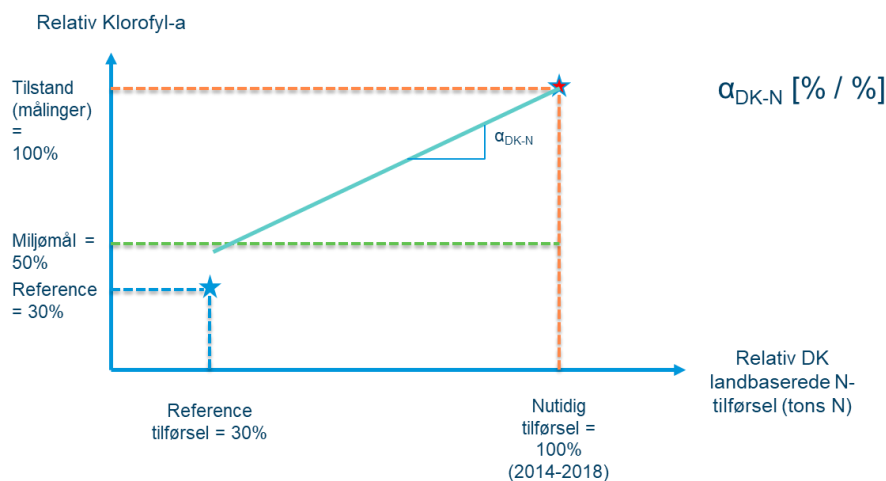
Som beskrevet i Thodsen & Tornbjerg (2023) er TN- og TP-tilførsler opdateret til dette projekt, sammenholdt med tilførslerne benyttet til beregninger af målbelastninger i VP3, ved at fordele punktkildebidrag fra PULS-databasen ud fra de i Tabel 3-2 beskrevne månedsfordelinger over året.

Baseret på de opdaterede TN- og TP-tilførsler med reviderede punktkildefordelinger og en antagelse om reduktioner i de respektive punktkilder på 30% eller ændringer i TN- og TP-tilførsler under antagelse af implementering af drænvirkemidler på 50% af potentialet i de respektive oplande analyseret i AP3, er der afviklet henholdsvis TN- og TP-scenarier.

Der er ikke afviklet mekanistiske modelscenarier for markvirkemidlerne, men baseret på modelresultater fra punktkilde og drænvirkemidler er effekterne af markvirkemidler estimeret. Metoden til dette er beskrevet nærmere sidst i dette afsnit.

Efterfølgende er modelresultater oparbejdet og effekter på sommer-klorofyl-a og K_d i vækstsæsonen beregnet på tilsvarende måde, som det er beskrevet i Erichsen et al. (2021c).

Som beskrevet i Erichsen et al. (2021c) benyttes modelscenarier i udgangspunktet til at beregne en dosis-respons på de to indikatorer sommer-klorofyl-a og K_d i vækstsæsonen. I Erichsen et al. (2021c) beregnes dosis-respons i forhold til ændringer i årstilførslerne af TN og TP ud fra en forudsætning om, at en reduktion i årstilførslen fordeles %-vis jævnt over året. Det betyder, at en årsreduktion på 10% i TN-tilførslen fordeles med en 10% reduktion i januar-tilførslen, 10% i februar-tilførslen osv. Dosis-respons og tilhørende sammenhænge mellem tilførsel og sommer-klorofyl-a er vist i Figur 4-1.



Figur 4-1 Skematisk illustration af beregning af dosis-respons. Bemærk, at figuren alene beskriver relative forskelle, således at nutidig tilførsel og indikator tilstand udgør 100%, mens reduktioner beregnes som relative i forhold til dagens tilførsler og tilstand. Derfor har dosis-respons enheden %-ændring i sommer-klorofyl-a koncentration per %-ændring i TN-tilførsel i figureksempel.

Beskrivelsen i Erichsen et al. (2021c) forholder sig til ændringer i TN- og TP-årstilførsler og indgår i den overordnede fastsættelse af målbelastninger til de danske marine vandområder.

I AP4 benyttes en tilsvarende metode-logik, men hvor reduktionerne i TN- henholdsvis TP-tilførsler i Erichsen et al. (2021c) blev foretaget som %-vise ensartede reduktioner i årsreduktionerne,

er næringsstofreduktionerne i AP4 alene påtrykt de respektive punktkilder eller ændringer i de diffuse bidrag baseret på antagelser om drænvirkemidler eller relevante markvirkemidler.

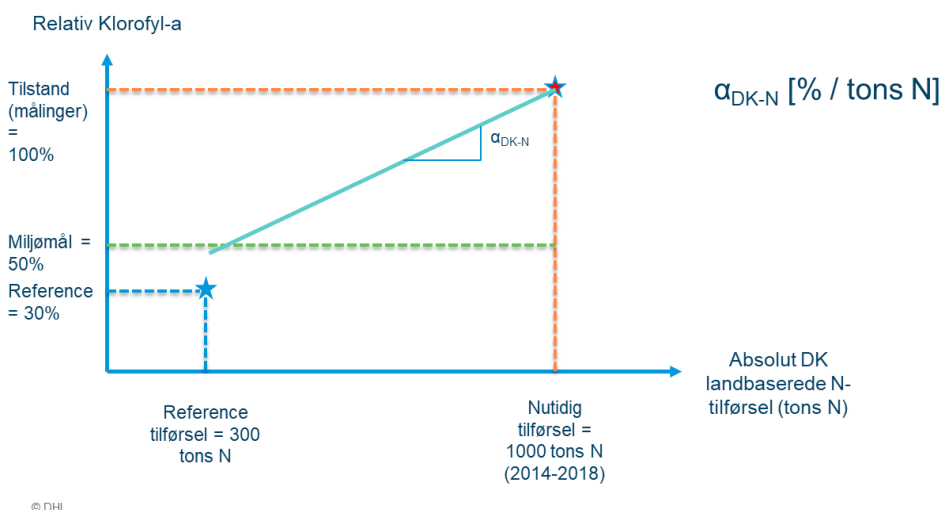
4.2 Årsækvivalenter

4.2.1 Punktkilder og drænvirkemidler

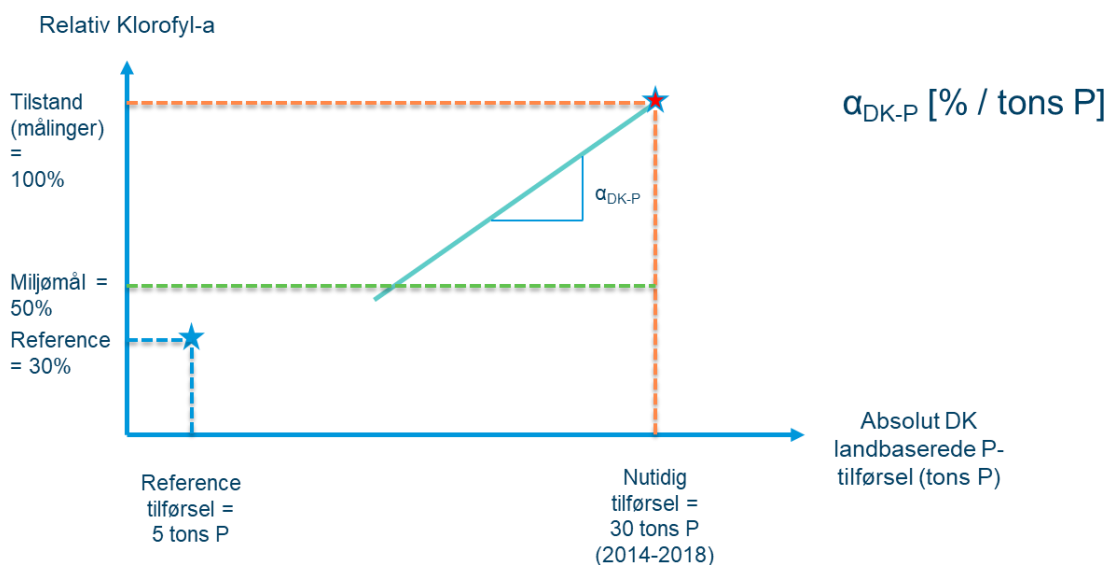
I Erichsen et al. (2021c) blev der alene regnet på relative ændringer i både næringsstofftilførsler og i effekter på indikatorerne. I AP4 justeres denne metode, så der stadigvæk beregnes relativt i forhold til indikatorerne, mens ændringerne i tilførslerne nu opgøres i absolutte reduktioner, se Figur 4-2 og Figur 4-3. Tilførslerne beregnes som den samlede mængde TN og TP til det enkelte vandområde, inklusive tilførsel fra opstrøms vandområder.

I første omgang omsættes modelresultater til en sommer-klorofyl-a koncentration fra et basis-scenario, svarende til aktuelle TN- og TP- tilførsler. Koncentrationen af sommer-klorofyl-a fra dette scenario definerer tilstanden i vandområdet, og værdien sættes til 100% (Figur 4-2). Efterfølgende laves en tilsvarende beregning, men baseret på modelresultater fra fx en reduktion på 30% i TN-tilførslen fra renseanlæg i oplandet. Har reduktionen i fx TN-tilførslen fra renseanlæg medført en reduceret sommer-klorofyl-a koncentration i vandområdet, beregnes den relative ændring. Dette samme gøres for en reduktion på 30% i TP-tilførslen fra renseanlæg, og tilsvarende fra de andre punktkilder og drænvirkemidler.

Som beskrevet i forrige afsnit kan ændringen i sommer-klorofyl-a udtrykkes som en dosis-respons, hvor der tages udgangspunkt i nutidstilførsel udtrykt som 100% i Erichsen et al. (2021c). Her ændres metoden dog således, at det ikke er udtrykt som % men i tons N eller tons P. Dermed beregnes en kilde-specifik dosis-respons, som angiver den %-vise ændring i indikatoren (lys i vækstsæsonen eller sommer-klorofyl-a) pr. tons ændring i TN- eller TP-tilførslen fra den enkelte kilde, og enheden på dosis-responskurven til % ændring i sommer-klorofyl-a koncentration per tons ændring i TN-tilførsel henholdsvis % ændring i sommer-klorofyl-a koncentration per tons ændring i TP-tilførsel, afhængigt af, om der reduceres i TN- eller TP-tilførslerne.



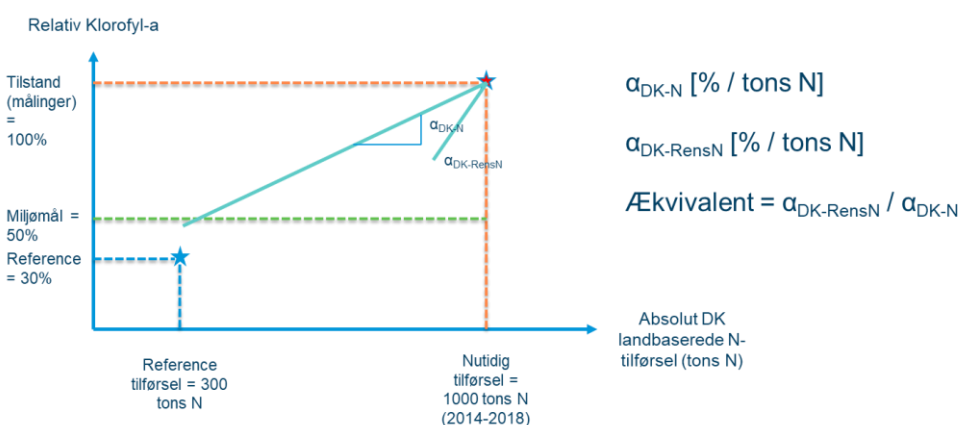
Figur 4-2 Skematisk illustration af beregning af dosis-respons. Bemærk, at figuren beskriver relative forskelle på indikatoren, mens tilførsler opgøres i absolutte tilførsler. Derfor har dosis-respons enheden %-ændring i sommer-klorofyl-a koncentration per tons ændring i TN-tilførsel i figureksempel.



Figur 4-3 Skematisk illustration af beregning af dosis-respons. Bemærk, at figuren beskriver relative forskelle på indikatoren, mens tilførsler opgøres i absolutte tilførsler. Derfor har dosis-respons enheden %-ændring i sommer-klorofyl-a koncentration per tons ændring i TP-tilførsel i figureksempel.

Som kort beskrevet i afsnit 4.1 blev der under modeludvikling bag VP3 afviklet to scenarier for reduktion af næringsstoffer fra landbaserede danske kilder: Et scenarie med en 30% reduktion af TN, og et andet med 30% reduktion af TP, og under antagelse af en 30% reduktion jævnt fordelt over året.

I dette studie er der ligeledes afviklet 30% reduktionsscenarier, men her i specifikke punktkilder foruden et scenario med drænvirkemidler på 50% af det potentielle areal. Reduktionerne i punktkilderne påtrykkes jævnt over året, men den resulterende effekt i de samlede tilførsler bliver dermed ikke jævnt fordelt over året (da tilførslerne ikke er jævnt fordelt over året), og det er netop den forskel, vi benytter i scenarieafviklingen beskrevet i forrige afsnit. Dermed opnås nye dosis-respons afhængigt af den absolutte reduktion i TN- eller TP-tilførslerne fra reduktioner i fx tilførsler fra renseanlæg, og den direkte effekt på indikatorerne, se Figur 4-4.



Figur 4-4 Skematisk illustration af beregning af dosis-respons baseret på helårsreduktioner og reduktioner i tilførsler fra renseanlæg i figureksempel. Helårsækvivalenten beregnes, som vist på figuren, som forholdet mellem dosis-respons fra renseanlægsreduktioner med dosis-respons fra helårsreduktioner.

Ved at sammenholde de relative ændringer i fx sommer-klorofyl-a koncentrationer fra helårsreduktioner med tilsvarende relative ændringer i sommer-klorofyl-a koncentrationer med reduktioner på fx renseanlæg (som eksemplet vist i Figur 4-4) kan specifikke punktkilderreduktioner omsættes til en effekt, der modsvarer en helårsreduktion, hvilket vi her kalder helårsækvivalenter. En helårsækvivalent (TN) modsvarer altså, hvad det betyder, at en reduktion af 1 kg TN eller TP fra en given punktkilde (eller ændring i tilførsel på grund af drænvirkemiddel eller markvirkemidler) har på effekten af miljøtilstanden, sammenlignet med en jævnt fordelt helårsreduktion på X kg TN, som giver samme miljøtilstandseffekt. På den måde kan man se, om et givent virkemiddel er mere eller mindre effektivt end en helårsreduktion i TN-tilførslen.

Ved brug af tilsvarende metode kan der udregnes helårsækvivalent (TN) i forhold til reduktioner i TP-tilførslen, altså hvor meget en reduktion på 1 ton P modsvarer i reduktioner i TN-tilførslerne (i tons N).

Årsækvivalenterne regnes dermed ud som forholdet mellem den dosis-responskurve, der beregnes på baggrund reduktion i en enkelt punktkilde og den dosis-responskurve, der beregnes ud fra reduktion i helårs TN.

Disse årsækvivalenter beregnes for både sommer-klorofyl-a og K_d i vækstsæsonen, samt vandområdets afhængighed af opstrøms tilførsler (for eksempel behandles Odense Fjord, ydre sammen med Odense Fjord, Seden Strand, jf. metodik beskrevet i fx Erichsen et al. 2021d).

For visse punktkilder i enkelte vandområder er andelen af punktkilden så lille sammenlignet med den totale tilførsel til vandområdet, at der er set bort fra disse punktkilder i disse vandområder i beregninger af ækvivalenter (de anses for at være uden betydning). Her har vi antaget, at dette gør sig gældende, når en 30% reduktion i punktkilden udgør mindre end 0,5% af den samlede TN-tilførsel til vandområdet.

For renseanlæg og industribidrag (som også dækker over renseanlæg), gælder det, at der kan reduceres for TN eller TP uafhængigt af hinanden, hvorfor der er beregnet to årsækvivalenter: én for TN-reduktion og én for TP-reduktion.

For reduktioner som kan tilskrives implementering af drænvirkemidler, eller næringsstofreduktioner, som skyldes indsatser mod RBU'er, dambrug og havbrug, reduceres i både TN- og TP-bidrag samtidigt. Det betyder reelt, at hvis der i scenariet fjernes fx 50% af TN-tilførslen fra den punktkilde, så fjernes tilsvarende 50% af TP-tilførslen fra samme punktkilde. Derfor er der alene oplyst én ækvivalent for disse reduktioner, som tager højde for både effekten af N og P reduktionen. Alle ækvivalenter forholder sig til en helårsreduktion af TN.

4.2.2 Årsækvivalenter for TP-reduktioner

I arbejdet med målbelastningerne i VP3 blev der identificeret en række vandområder, som var særligt følsomme overfor TP-reduktioner. Den viden blev inkluderet i fastlæggelse af de endelige målbelastninger, men i forhold til egentlige P-virkemidler med henblik på opnåelse af GØT blev ikke yderligere analyseret.

I AP3 (Højberg et al 2024) er der arbejdet med beskrivelse og vurdering af en række TP-reducerende virkemidler. Viden om, hvordan disse virkemidler påvirker TP-transporten til kystvandene er ikke fyldestgørende, og i AP3 vurderes det, at en årsreduktion kan distribueres ligeligt over hele året, svarende til at en 10% reduktion over året kan fordeles med 10% per måned.

Som indikeret i Figur 4-3, kan reduktioner i TP-tilførsler på tilsvarende måde som reduktioner i punktkilder og dræntilførsler, ligeledes omregnes til en årsækvivalent for TN, så N-reduktionsbehov i nogle tilfælde kan reduceres ved implementering af P-virkemidler.

4.2.3 Markvirkemidler

Som beskrevet i afsnit 3.4.2 indgår der i AP3 reduktioner fra to markvirkemidler: Reduceret brug af handelsgødning med 20% og efterafgrøder på 50% af det supplerende areal (udover de obligatoriske efterafgrøder).

I AP4 er reduktionerne fra disse markvirkemidler ikke blevet undersøgt direkte med de mekanistiske modeller (Figur 3-7), som ellers indgår i AP4. Derimod er effekter af drænvirkemidlerne blevet estimeret ved at inddrage resultater fra drænvirkemidler.

Forløbet af reduktionerne i de enkelte oplande baseret på drænvirkemidler (Figur 3-3), og markvirkemidler (Figur 3-5 og Figur 3-6) følger i nogen udstrækning hinanden, dog med en væsentlig mindre sæsonvariation for markvirkemidlerne, der har en relativt større effekt i vækstsæsonen end drænvirkemidler.

Ved brug af markvirkemidler reduceres både den del af udvaskningen, som sidenhen løber i grundvandet, men også den del som løber i dræne, og afhængigt af, hvor stort en andel af oplandet der er drænet, følger reduktionerne hinanden.

I afsnit 5 beskrives metoden mere præcist.

At der ikke er foretaget specifikke modelberegninger af effekterne af reduktioner fra markvirkemidler, udgør en usikkerhed sammen med de usikkerheder, der er tilknyttet reduktionsberegningerne, men vi vurderer, at usikkerheden er begrænset.

4.3 Antagelser og forbehold

I AP4 er fokus på at undersøge, om og hvorvidt reduktioner i TP-tilførsler over året, eller om TN- og TP-reduktioner i perioderne maj-september (sommer-klorofyl-a) og marts-september (K_d) har en relativt større betydning sammenlignet med reduktioner i årstilførsler.

Under modeludviklingen bag VP3 har der været afviklet en række modelscenarier med overordnede reduktioner på 30% for henholdsvis danske landbaserede TN- og TP-tilførsler, foruden tilsvarende reduktioner i udenlandske TN- og TP-tilførsler og reduktioner i atmosfæriske depositioner (Erichsen et al. 2021a). Disse beregninger indgår i beregningerne af målbelastninger for alle danske marine vandområder. Både metoder og modeller er blevet evalueret som del af Second Opinion af både COWI/NIRAS (COWI 2023) og et panel af internationale eksperter (Herman et al. 2023).

Konklusionerne i de to evalueringer er, at de modeller, som indgår i dette projekt og de målbelastninger, som er beregnet med både mekanistiske og statistiske modeller, er *fit-for-purpose*. Målbelastningerne bygger dermed på dosis-respons kurver baseret på reduktioner på 30% fordelt jævnt over året og anses for at være robuste estimater.

Analyserne i AP4 viser, at der er vandområder, hvor reduktioner i fx specifikke punktkilder vil have en relativ større effekt på de to indikatorer sommer klorofyl-a (maj til september) og K_d i vækstsæsonen (marts til september) sammenlignet med reduktioner i årstilførslerne. Analyserne viser også, at reduktioner i drænvirkemidler i de specifikke undersøgte vandområder resulterer i relativt mindre effekter på indikatorerne, se næste afsnit. Denne viden kan indarbejdes i prioriteringen af indsatser fremadrettet. Der er imidlertid en række antagelser og forbehold indbygget, hvorfor det ikke er muligt at benytte resultaterne til at generalisere for alle vandområder.

Neddeling af kildebidrag

I nærværende projekt neddelers vi næringsstofftilførslerne i individuelle kilder (renseanlæg, industriudledninger, dambrug, havbrug og RBUer) foruden dosis-respons fra specifikke diffuse virkemidler (drænvirkemidler, efterafgrøder og reduceret brug af handelsgødning). Dermed får vi

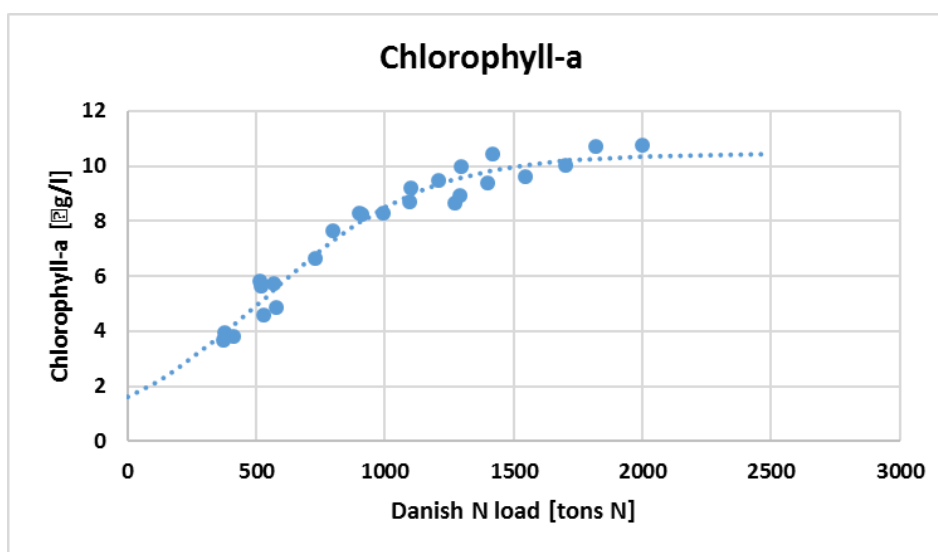
et grundlag for at prioritere mellem virkemidler til opnåelse af GØT set ud fra et naturvidenskabeligt synspunkt – dertil kommer efterfølgende et økonomisk synspunkt, som behandles i AP5 (Jakobsen 2024 og Hasler & Filippelli 2024).

De data, der ligger til grund for neddelingerne, er robuste og udgør et forbedret datasæt på landsplan, men øger ikke nødvendigvis sikkerheden på de individuelle indsatser i de enkelte vandområder. Sikkerheden på målbelastningerne anses for stor, mens effekterne af de enkelte virkemidler i individuelle vandområder er mere usikre.

Næringsstoffbegrænsning

I Erichsen et al (2021a) antager vi, at dosis-respons er lineær. Dette er en udmærket approksimation i hovedparten af de danske marine vandområder i forhold til dagens næringstofftilførsler og økologiske tilstand. Dosis-respons følger i virkeligheden nærmere en sigmoid kurve (Figur 4-5), og især ved høje næringstofftilførsler er primærproduktionen ikke næringsstoffbegrænset men lysbegrænset. I disse tilfælde vil en relativ lille ændring i næringstofftilførsel ikke resultere i en ændring i fx sommer-klorofyl-a, hvorfor en ækvivalent vil blive mindre end 1, selvom den efter reduktioner i den samlede tilførsel på et senere tidspunkt ville være 1 eller >1.

I modeludviklingen bag VP3 blev næringsstoffkilderne reduceret betragteligt (30%) med henblik på at beregne dosis-respons (se afsnit 4.1), hvilket kan påvirke ækvivalenterne i et specifikt vandområde. Vi har ikke analyseret, hvilke vandområder der potentielt er mere lysbegrænset end næringsstoffbegrænset, men i henhold til Herman et al. (2023) må det forventes at der findes sådanne vandområder, herunder vandområde 157 (Bjørnsholm Bugt, Risgaarde Bredning, Skive Fjord og Lovns Bredning).



Figur 4-5 Sammenhæng (dosis-respons) mellem TN-tilførsel til vandområde 157 (Bjørnsholm Bugt, Risgaarde Bredning, Skive Fjord og Lovns Bredning) og sommer-klorofyl-a. Kopi fra Erichsen & Timmermann (2017). Prikker udgør modelresultater mens linjer er beskrevet ved en sigmoid kurve.

Statistiske ækvivalenter

I VP3-indsatsprogrammet er indsatser fordelt i forhold til et indsatsbehov, som er beregnet med udgangspunkt i de generelle modelhædninger baseret på ændringer i årsbelastninger. I AP4 introduceres en ny dimension, hvor det ikke alene er den totale reducerede mængde, der indgår i beregningerne, men den opnåede effekt i de individuelle vandområder, baseret på den specifikke reduktion fra neddelingen af kildebidragene (se afsnit 3.2 og 3.4).

Der er beregnet ækvivalenter for enkeltstående kilder (se neddeling af kildebidrag ovenfor), og der er beregnet ækvivalenter for helårs TP-reduktioner. I Herman et al. (2023) forholder det internationale panel sig til både reduktioner fokuseret på vækstperioden og på fosfor-reduktioner. De internationale eksperter anerkender, at der kan være gevinster at hente i begge tilfælde, men fremhæver også, at potentialet for reduktioner af punktkilder i de fleste tilfælde er lille, og at fosfor-følsomheden må forventes at ændres, når kvælstofreduktionerne for alvor implementeres.

De ækvivalentresultater, der præsenteres i næste afsnit, er beregnet under nuværende forhold. Med ændret forhold mellem punktkilder og diffus tilførsel og ændrede forhold mellem TN- og TP-tilførslerne vil ækvivalenterne også ændres.

Punktkilder versus diffuse kilder

Som beskrevet i afsnit 3.2 og i Thodsen & Tornbjerg (2023) er alle punktkilder samlet og inkluderet i de respektive marine vandområder uden hensyntagen til retention. I områder med lille vandløbsretention vil det være en antagelse, som ikke resulterer i en usikkerhed i beregningerne under AP4. I oplande med stor retention, hvilket i praksis betyder oplande, hvori der er større søer, vil der være en overestimering af punktkildebidraget, hvorfor ækvivalenter relateret punktkilder vil være overestimerede. I forhold til drænvirkemidler og markvirkemidler er årsækvivalenten beregnet på de reduktioner som er leveret fra AP3, og her indgår effekterne af søer direkte hvorfor årsækvivalenten i disse områder er en gennemsnitsbetragtning mellem effekter opstrøms og nedstrøms søerne.

I Thodsen & Tornbjerg (2023) er beskrevet, hvilke vandområder, hvor dette er aktuelt, og der er beregnet retentioner for alle punktkilder i bilag til Thodsen & Tornbjerg (2023), men i de daglige opgørelser er retentionerne ikke inkluderet for det samlede punktkildebidrag i vandområdet.

Det samme gør sig gældende for reduktionspotentialerne beskrevet i Salomonsen & Ottosen (2023). Reduktionspotentialerne er beskrevet i potentialer til vandløbskant og inkluderer ikke beregninger i forhold til vandløb med betydende retention.

Afslutningsvis skal det huskes, som beskrevet ovenfor, at i vandområder, hvor punktkilder udgør en væsentlig del af de samlede tilførsler over vækstsæsonen, vil en reduktion i punktkilden ændre på månedsfordelingerne af reduktioner fra drænvirkemidler og markvirkemidler, hvorfor ækvivalenterne må forventes at ændre sig for disse.

Ækvivalenter og retention

Som beskrevet i afsnit 3.2 og i Thodsen & Tornbjerg (2023) fordeles tilførslerne af N og P fra punktkilderne efter nye månedsfordelinger. I oplande med større søer vil denne fordeling dog blive udjævnet. Dette skyldes opholdstid og de biologiske processer i søer, som har indvirkning på næringsstoffodynamikken, hvorfor de beregnede ækvivalenter alene kan benyttes på punktkilder såvel som drænvirkemidler og de undersøgte markvirkemidler nedstrøms større søer. Se Thodsen & Tornbjerg (2023) for specifikke vandområder, hvor dette er aktuelt.

Samlede N- og P-ækvivalenter

For punktkilderne havbrug, dambrug og RBU'er og for drænvirkemidler er der beregnet en samlet ækvivalent (omregnet til N-ækvivalenter), der indeholder den samlede effekt af både TN- og TP-reduktioner. Hvis forholdet i TN- og TP-tilførslerne imidlertid ændrer sig, vil det påvirke den samlede ækvivalent, som den er præsenteret i næste afsnit.

Virkemidler i forhold til diffuse tilførsler

I beregningerne af effekter af drænvirkemidler og de undersøgte markvirkemidler er resultaterne klimanormaliserede. Klimanormaliseringen er foretaget ved at samle hele tidsserien af effekt-beregninger i gennemsnitlige månedsreduktioner (i %), som vist i fx Figur 3-3. Data er derfor robuste, men afspejler en gennemsnitssituation, som ikke afspejler de relativt store år-til-år variationer i klima (dvs. nebør, afstrømning og temperatur), der forekommer. Resultaterne fra AP4 (dvs. ækvivalenter) er dermed gennemsnitstal, som ikke tager højde for variationen i klima. Det

diffuse bidrag vil ofte være relativt større i våde år sammenlignet med punktkildebidraget, og dermed vil den resulterende reduktion i nedstrøms vandområde også være større, mens det vil være omvendt i tørre år.

Derudover indgår markvirkemidlet efterafgrøder, alene på et supplerende areal udover obligatoriske arealer. Det er ikke undersøgt, om der er forskel på effekter af de samlede efterafgrøder og effekter fra efterafgrøder på de supplerende arealer.

5 Resultater

5.1 Modelresultater

I det følgende præsenteres resultaterne af modelanalyserne i AP4, og baseret på AP4 reduktionerne (30% reduktioner i de respektive punktkilder og antagelser om udnyttelse af arealpotentialet for drænvirkemidler) er effekten på henholdsvis sommer-klorofyl-a og K_d i vækstperioden beregnet for samtlige vandområder fra Tabel 3-1, bortset fra Randers Fjord, hvor der ikke er udviklet en mekanistisk model. Disse resultater benyttes alene til at beregne den dosis-respons, som efterfølgende skal indgå i beregningerne af ækvivalenter (se afsnit 4).

Bemærk, at for alle reduktionsberegninger er der reduceret henholdsvis i TN- og TP hver for sig. Dette gælder, selvom reduktioner i nogle kilder reducerer andelen ens, men for at sikre en ensartethed i metoden er der udregnet dosis-respons for TN- og TP-reduktioner separat.

Ændringer i sommer-klorofyl-a koncentrationer og ændringer i K_d over vækstsæsonen er omsat relativt til status for de forskellige scenarier. Det bemærkes, at en forbedring i miljøtilstanden for sommer-klorofyl-a og K_d kræver en reduktion i forhold til status.

Som regneeksempel kan fremhæves Odense Fjord, ydre. Her er observeret en status på 4,4 µg/l sommer-klorofyl-a, mens miljømålet er 3,4 µg/l. Ved at reducere TN fra RBU'er med 30% opnås en ny sommer-klorofyl-a koncentration, som er 95% af status, eller en reduktion i den observerede sommer-klorofyl-a koncentration på 5%. På tilsvarende vis kan beregnes reduktioner i sommer-klorofyl-a koncentrationer på 3% for en 30% reduktion i TP-tilførsel fra RBU'er.

Overordnet set findes de største effekter ved at reducere tilførsler fra renseanlæg, men der er også vandområder, hvor RBU'er spiller en rolle. Industrireduktioner har overordnet set lille effekt i de undersøgte vandområder, mens der i nogle vandområder er effekter af dambrug.

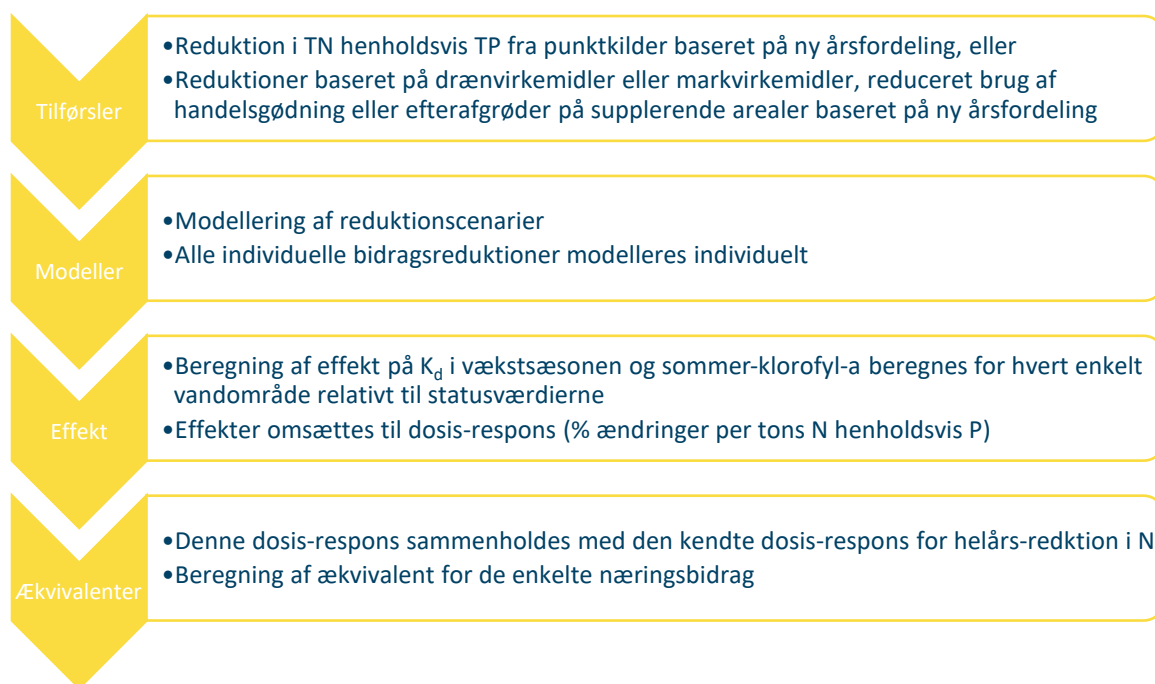
Hovedparten af vandområderne viser ingen effekt (værdier på 100%), eller små reduktioner (værdier lige under 100%). I enkelte tilfælde kan værdien af en indikator godt blive >100%, selv ved en reduktion af næringsstoffer. Dette skyldes, at en reduktion af et næringsstof i en periode kan flytte f.eks. forårsblomsten en smule, eller betyde, at der er næringsstoffer i overskud ind i vækstperioden. Fx vil en reduktion af TP i nogle få vandområder betyde, at forårsblomsten reduceres, og der derfor er mere TN tilbage i vandområdet i den periode, hvor sommer-klorofyl-a beregnes, og koncentrationen i den periode derfor øges en smule.

5.2 Ækvivalenter – punktkilder og drænvirkemidler

For at evaluere effektiviteten af at reducere i de forskellige punktkilder eller implementere drænvirkemidler og/eller markvirkemidler, sammenstiller vi modelresultaterne fra AP4 modelkørsler med tilsvarende modelresultaterne bag VP3. Som beskrevet i afsnit 4.2 foretages denne sammenstilling igennem årsækvivalenter for de enkelte punktkilder og drænvirkemidler.

De beregnede ækvivalenter er inkluderet i Tabel 5-5, og i det efterfølgende afsnit (afsnit 6) er brugen af ækvivalenter illustreret ved to regneeksempler, mens processen er beskrevet i Figur 5-1.

Figur 5-1 Proces for beregning af årsækvivalenter



Herunder vises for Odense Fjord, Seden Strand (vandområde 93) eksempler på, hvordan ækvivalenterne beregnes. Det første eksempel (Tabel 5-1) viser, hvordan ækvivalenter beregnes, når N og P kan reduceres uafhængigt af hinanden (som det er tilfældet for renseanlæg og industri), mens det andet eksempel (Tabel 5-2) viser, hvordan ækvivalenten beregnes, når N og P reduceres samlet (som det er tilfældet for havbrug, dambrug, RBU og drænvirkemidler).

I Tabel 5-1 er udarbejdet et regneeksempel, og her beskrives kort processen: Først identificeres de relevante tilførsler (trin 1 og 2). Det er den samlede TN- og TP-tilførsel for hvert af scenarierne, og reduktionen i tilførslen, er lig forskellen mellem scenariet og status. Dernæst identificeres de relative modelresultater for indikatorerne sommer klorofyl-a ("klorofyl") og sigtedybde ("SD") (trin 3 og 4), for de modellerede scenarier.

For at beregne dosis-respons for indikatorerne benyttes princippet illustreret i Figur 4-2, Figur 4-3, og Figur 4-4. I eksemplet i Tabel 5-1 ses det, ved fx beregningen af "klorofyl dosis-respons" for scenarie "Helårs N reduktion 30%", hvor forskellen mellem klorofyl-status og -scenariевærdi forholderes til forskellen mellem status TN-tilførsel og scenarie TN-tilførsel i ton. Dette giver dosis-respons i enheden [%/ton N]. I tabellen står enheden som [%/T], da der både er dosis-respons for N og P listet i Tabel 5-1. Dette er gjort i trin 5 og 6.

I trin 7 og 8 beregnes ækvivalenterne til helårs ton N. Dette gøres ved at tage forholdet mellem dosis-respons for scenarierne "Helårs P reduktion 30%", "Renseanlæg 30% reduktion N", og "Renseanlæg 30% reduktion P" og dosis-respons for "Helårs N reduktion 30%". Det giver fx en

ækvivalent for "Helårs P reduktion 30%" for klorofyl på 31,5 ton helårs N pr ton helårs P. I Tabel 5-1 skrives denne enhed som [ton helårs N / reduceret ton N eller P], da den repræsenterer alle reduktionsscenerierne.

Det sidste trin (trin 9) beregner den samlede ækvivalent ved at tage gennemsnittet af ækvivalenterne for klorofyl-a og SD jævnfør metoden anvendt i VP3.

Tabel 5-1 Tilførsler og modelresultater for Odense Fjord, Seden strand ved reduktion i tilførsel fra renseanlæg. Bemærk: I regneksemplet benyttes sigtdybde (SD) i stedet for K_d . Det har ingen betydning for resultaterne. En stigning i SD betyder en forbedring i lysindikatoren i modsætning til klorofyl, hvor et fald er en forbedring.

93	Status	Helårs N reduktion 30%	Helårs P reduktion 30%	Renseanlæg 30% reduktion N	Renseanlæg 30% reduktion P	Trin
N tilførsel [ton TN/år]	1.367	957	1.367	1322	1.367	1
P tilførsel [ton TP/år]	42,6	42,6	29,8	42,6	40,6	2
SD [%]	100	188	150	102	101	3
Klorofyl [%]	100	77	78	90	97	4
SD dosis-respons [%/ton N eller P]		$\frac{100 - 188}{1367 - 957} = -0,22$	$\frac{100 - 150}{42,6 - 29,8} = -3,90$	$\frac{100 - 102}{1367 - 1322} = -0,04$	$\frac{100 - 101}{42,6 - 40,6} = -0,39$	5
Klorofyl dosis-respons [%/ton N eller P]		$\frac{100 - 77}{1367 - 957} = 0,06$	$\frac{100 - 78}{42,6 - 29,8} = 1,74$	$\frac{100 - 90}{1367 - 1322} = 0,22$	$\frac{100 - 97}{42,6 - 40,6} = 1,7$	6
SD-ækvivalent til helårs N [ton helårs N / reduceret ton N eller P]			$\frac{-3,90}{-0,22} = 18,1$	$\frac{-0,04}{-0,22} = 0,2$	$\frac{-0,39}{-0,22} = 1,8$	7
Klorofyl ækvivalent til helårs N [ton helårs N / reduceret ton N eller P]			$\frac{1,74}{0,06} = 31,5$	$\frac{0,22}{0,06} = 4,0$	$\frac{1,7}{0,06} = 30,3$	8
Kombineret ækvivalent [ton helårs N / reduceret ton N eller P]			$\frac{18,1 + 31,5}{2} = 24,8$	$\frac{0,2 + 4,0}{2} = 2,1$	$\frac{1,8 + 30,3}{2} = 16,0$	9

For en samlet ækvivalent ser regnestykket lidt anderledes ud, da det er nødvendigt at tage højde for både effekten af at reducere TN og TP, og derfor er det nødvendigt at beregne en samlet dosis-respons ved at kombinere de TN og TP specifikke dosis-respons.

Tabel 5-2 Tilførsler og modelresultater for Odense Fjord, Seden strand ved reduktion i tilførsel fra RBU. Bemærk: I regneeksemplet benyttes sigtddybde (SD) i stedet for K_d . Det har ingen betydning for resultaterne. En stigning i SD betyder en forbedring i lysindikatoren i modsætning til klorofyl, hvor et fald er en forbedring.

93	Status	Helårs N reduktion 30%	Helårs P reduktion 30%	RBU 30% reduktion N	RBU 30% reduktion P	Trin
N tilførsel [TN/år]	1.367	957	1.367	1.354	1.367	1
P tilførsel [TP/år]	42,6	42,6	29,8	42,6	39,3	2
SD [%]	100	188	150	101	102	3
Klorofyl [%]	100	77	78	94	93	4
SD dosis-respons [%/ton N eller P]		$\frac{100 - 188}{1367 - 957} = -0,22$	$\frac{100 - 150}{42,6 - 29,8} = -3,90$	$\frac{100 - 101}{1367 - 1354} = -0,06$	$\frac{100 - 102}{42,6 - 39,3} = -0,46$	5
Klorofyl dosis-respons [%/ton N eller P]		$\frac{100 - 77}{1367 - 957} = 0,06$	$\frac{100 - 78}{42,6 - 29,8} = 1,74$	$\frac{100 - 94}{1367 - 1354} = 0,43$	$\frac{100 - 93}{42,6 - 39,3} = 2,06$	6

Beregningen af dosis-respons følger den samme metode, men for at beregne den samlede TN- og TP-effekt, beregnes en samlet dosis-respons. Denne beregning forudsætter, at når der fjernes en given andel af N-belastningen fra en kilde med både N og P effekt (for eksempel RBU'er), så fjernes en tilsvarende andel af P-belastningen. I dette eksempel bliver det:

$$1 \% N \text{ fra RBU} = \frac{1367 - 1354}{30} \cdot 100 = 43 \text{ ton } N$$

$$1 \text{ ton } N \text{ fra RBU} = \frac{1}{43} \cdot 100 = 2,3\% \text{ af RBU } N$$

Dette svarer til at fjerne:

$$2,3\% \cdot \frac{42,6 - 39,3}{30} \cdot 100 = 0,25 \text{ ton } P$$

Effekten på indikatoren af at fjerne 1 ton N er kendt fra dosis-respons direkte og kan nu lægges sammen effekten på indikatoren af at fjerne 0,25 ton P.

Tabel 5-3 Beregning af fællesækvivalent for RBU, regneeksempel.

93	
Effekt ved fjernelse af 1 ton N på SD	-0,06
Effekt ved fjernelse af 0,25 ton P på SD	$-0,46 \cdot (42,6 - (42,6 - 0,25)) = -0,12$
Samlet effekt på SD ved fjernelse af 1 ton N og 0,25 ton P	$-0,06 + (-0,12) = -0,18$
Dosis-respons for SD, ved fjernelse af 1 ton N og 0,25 ton P	$\frac{100 - (100 - (-0,18))}{1367 - (1367 - 1)} = -0,18$
Effekt ved fjernelse af 1 ton N på klorofyl	0,43
Effekt ved fjernelse af 0,25 ton P på klorofyl	$2,06 \cdot (42,6 - (42,6 - 0,25)) = 0,51$
Samlet effekt på klorofyl ved fjernelse af 1 ton N og 0,25 ton P	$0,43 + 0,51 = 0,94$
Dosis-respons for klorofyl, ved fjernelse af 1 ton N og 0,25 ton P	$\frac{100 - (100 - 0,94)}{1367 - (1367 - 1)} = 0,94$
SD-ækvivalent, til helårs N	$\frac{-0,18}{-0,22} = 0,84$
Klorofyl ækvivalent til helårs N	$\frac{0,94}{0,06} = 17,2$
Samlet RBU Ækvivalent [ton helårs N / reduceret ton N fra RBU]	$\frac{0,84 + 17,2}{2} = 9,0$

5.3 Ækvivalenter – markvirkemidler

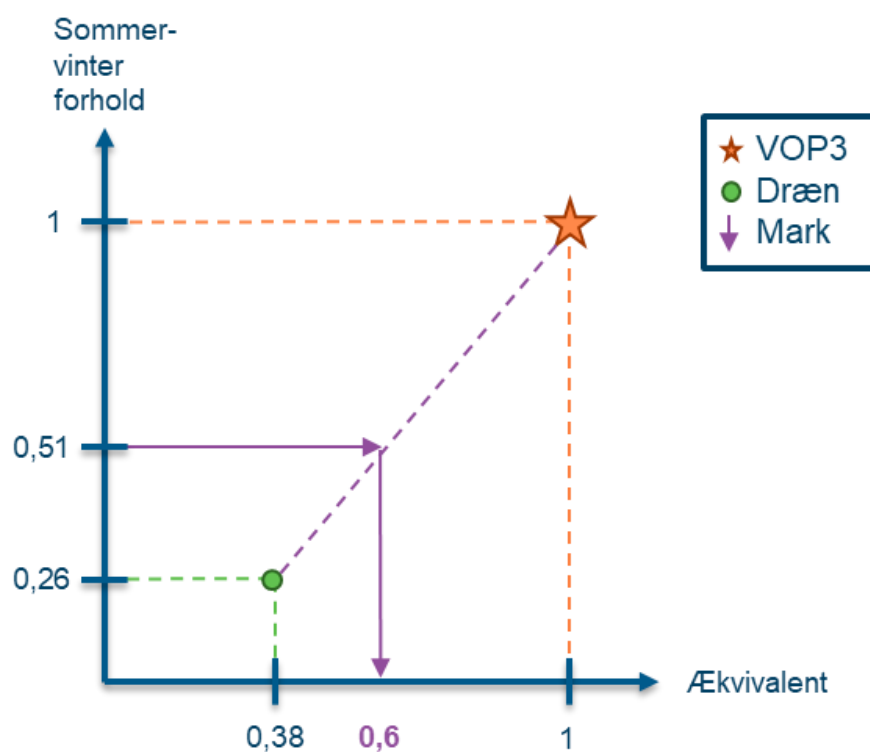
Ækvivalenter for eftergrøder på det supplerende areal samt reduceret brug af handelsgødning er beregnet ud fra ækvivalenterne for drænvirkemidler samt forholdet mellem reduktioner i perioden januar til april (herefter "vinter") og reduktioner i perioden maj til september (herefter "sommer").

I Tabel 5-4 og Figur 5-2 er vist et regneeksempel for Odense Fjord, Seden Strand (vandområde 93):

- Den samlede TN-tilførsel for vinterperioden opgøres for alle scenarier (trin 1 i Tabel 5-4), og tilsvarende for sommerperioden (trin 2).
- Dernæst beregnes forholdet mellem sommer- og vintertilførslerne (trin 3).
- Ækvivalenten for dræn findes ud fra modelresultater, jævnfør metode beskrevet i afsnit 5.2 (trin 4).
- Det antages herfra, at der er en lineær sammenhæng mellem sommer / vinter tilførsler og ækvivalenter (trin 5), og derved kan ækvivalenterne for efterafgrøder og reduceret brug af handelsgødning beregnes (trin 6).

Tabel 5-4 Regneeksempel for ækvivalentberegning af efterafgrøder i Odense Fjord, Seden Strand (93).

Vandområde 93	Helårs N 30% reduktion	Dræn – 50% egnet areal Gennemsnitlig reduktion [%]	Efterafgrøder – 50% målrettet Gennemsnitlig reduktion [%]	Trin
Januar til april	30	8,9	3,3	1
Maj-September	30	2,3	1,7	2
Forhold mellem perioderne	$\frac{30}{30} = 1$	$\frac{2,3}{8,9} = 0,26$	$\frac{1,7}{3,3} = 0,51$	3
Ækvivalent (modelberegnet)	1	0,38		4
Ækvivalent-ratio	$\frac{1 - 0,26}{1 - 0,38} = 1,2$			5
Ækvivalent (afledt)			$1 - \frac{1 - 0,51}{1,2} = 0,6$	6



Figur 5-2 Skematisk model for beregning af efterafgrødeækvivalenten for Odense Fjord, Seden Strand (vandområde 93). Sommer beskriver her perioden maj til september, mens vinter beskriver perioden januar til april.

5.4 Ækvivalenter – resultater

I Tabel 5-5 er vist alle resultaterne for de vandområder, som indgår i projektet. Fra Erichsen et al. (2021a) og Erichsen et al. (2021b) er der samlet set identificeret 39 vandområder, som er blevet analyseret nærmere i AP4 (Tabel 3-1). Af de 39 vandområder indgår Randers Fjord, indre, og Randers Fjord, ydre, men der er under modeludviklingen bag VP3 ikke udviklet en specifik mekanistisk model for de to vandområder, og derfor kan resultaterne fra dette studie hverken be- eller afkræfte den rapporterede fosforfølsomhed.

Fra Tabel 3-1 er der fra projektets begyndelse identificeret 39 vandområder som relevante for det samlede projekt, herunder de to vandområder i Randers Fjord. Af de 39 vandområder er 31 identificeret som særligt P-følsomme, mens 18 vandområder er identificeret som følsomme for N-tilførsler i perioden maj-september (Erichsen et al. 2021b). Der er et overlap mellem vandområder, og 10 af vandområderne i Tabel 3-1 er følsomme overfor både P- og N-tilførsler i vækstsæsonen.

Baseret på resultaterne i AP4 er der 33 af de undersøgte vandområder, der har en TP-følsomhed (årsbelastningen), som resulterer i en ækvivalent >1 , og dermed bekræfter en form for P-følsomhed. Her er det Odense Fjord, Seden Strand, og Odense Fjord, ydre, som er tilføjet til fosforfølsomheden, men som ikke blev identificeret i den oprindelige analyse af fosforfølsomhed jævnfør Tabel 3-1.

Der er imidlertid stor forskel på P-følsomheden mellem vandområderne (udtrykt i ækvivalenter med enheden kg N pr. kg P), og der er 13 vandområder med en ækvivalent mellem 1-10, 8 vandområder med en ækvivalent mellem 10-20 og 13 vandområder med en ækvivalent >20 . Vandområderne med høj P-følsomhed er fx Grådyb og Knudedyb, Nissum Fjord, foruden Halkær Bredning og Hjarbæk Fjord og dermed en række vandområder med store reduktionsbehov.

I nærværende projekt er der alene analyseret på de udpegede 39 vandområder, men baseret på resultater fra modeludviklingerne bag VP3 er det muligt at beregne P-ækvivalenter for alle vandområder, og disse er inkluderet i Bilag A. P-ækvivalenterne er her alene baseret på resultater fra de mekanistiske modeller, mens indsatsen beregnet under VP3 bygger på resultater fra både mekanistiske- og statistiske modeller.

I forhold til punktkildeækvivalenter er det især renseanlæg, hvor der er fundet ækvivalenter >1 . Samlet set er der 16 vandområder med ækvivalenter >1 for TN-tilførsler, men ud af de 16 vandområder er ækvivalenter <2 i halvdelen (8 vandområder) af de fundne områder. Dette betyder, at der i de 8 vandområder kun vil være en begrænset effekt af at målrette indsatsen overfor renseanlæg.

Der er også fundet ækvivalenter >1 for dambrug i 7 vandområder, og det er i stor udstrækning Ringkøbing Fjord, Nissum Fjord og Hjarbæk Fjord, foruden Grådyb og Knude Dyb.

I 10 vandområder er ækvivalenten for RBU'er >1 , men alene i Karrebæk Fjord, Odense Fjord, Seden Strand, Odense Fjord, ydre og Norsminde Fjord er ækvivalenterne >5 .

Som det fremgår af Tabel 5-5, er der mange blanke celler, hvilket indikerer, at der enten ikke eksisterer de respektive punktkilder i disse vandområder, eller at betydningen af dem anses foruden betydning, svarende til, at en 30% reduktion i punktkilden udgør mindre end 0,5% af den samlede TN-tilførsel til vandområdet.

I forhold til drænvirkemidler bemærkes det, at hovedparten af vandområderne har en ækvivalent <1 . Dette projekt har fokus på en række vandområder, hvor reduktioner i vækstperioden (maj til september) blev vurderet at have en ekstra betydning for indikatorerne sommerklorofyl-a og K_d (Erichsen et al. 2021b), som f.eks. Odense Fjord, Seden Strand. Her betyder kombinationen af større betydning af tilførsler i vækstperioden og en reduceret effekt af drænvirkemidler i oplandet til Odense Fjord, med reduktioner under 2% i månederne april til august, at effekterne på indikatorerne er små, og ækvivalenten er derfor 0,4.

I Ringkøbing Fjord er beregnet en ækvivalent på 2,5, en ækvivalent som er tæt på ækvivalenten for dambrug. Opholdstiden i Ringkøbing Fjord er væsentligt større, og at ækvivalenten af de to virkemidler er >1 skyldes, at der reduceres i både TN- og TP-bidraget for de to næringsstofkilder.

Sammenlignet med drænvirkemidler har markvirkemidler en væsentligt større ækvivalent. Den er typisk stadigvæk ≤ 1 . Den anvendte metode til beregning af ækvivalenter baseret på drænvirkemidler betyder, at markvirkemidlerne til en vis grad følger resultaterne af drænvirkemidlerne, men mens de beregnede ækvivalenter for drænvirkemidler er $\geq 0,8$ i to af de analyserede 23 vandområder, så er den tilhørende ækvivalent $\geq 0,8$ for 12 ud af de relevante 23 vandområder for reduceret brug af handelsgødning og $\geq 0,8$ for 11 ud af de relevante 23 vandområder for efterafgrøder på det supplerende areal.

Bemærk, at ækvivalenterne for markvirkemidler er baseret på en tilnærmet beregning som nævnt i afsnit 5.3.

Tabel 5-5 Årsækvivalenter: Årsækvivalenter svarer til, hvor mange gange mere effektivt det er at reducere 1 kg TN og/eller TP sammenlignet med af reducere 1 kg TN på årsbasis (%-vis jævnt fordelt over året). En negativ værdi betyder, at effekten er modsat (dvs. modsatrettet effekt, mens en værdi mellem 0-1 betyder, at reduktionen er mindre effektiv end en jævnt fordelt helårsreduktion. Når andelen fra de enkelte bidrag er ubetydelig eller ikke-eksisterende, angives ingen værdi. Andelen anses som ubetydelig, når en 30% reduktion i punktkilden udgør mindre end 0,5% af den samlede TN-tilførsel til vandområdet.

ID	Vandområde	Årsækvivalent, TP til helårs TN [ton helårs N / reduceret ton helårs P]	Årsækvivalent, Dambrug samlet [ton helårs N / reduceret ton N fra dambrug]	Årsækvivalent, Havbrug samlet [ton helårs N / reduceret ton N fra havbrug]	TN Årsækvivalent, Industri [ton helårs N / reduceret ton N fra industri]	TP Årsækvivalent, Industri [ton helårs N / reduceret ton P fra industri]	Årsækvivalent, RBU samlet [ton helårs N / reduceret ton N fra RBU]	TN Årsækvivalent, Renseanlæg [ton helårs N / reduceret ton N fra renseanlæg]	TP Årsækvivalent, Renseanlæg [ton helårs N / reduceret ton P fra renseanlæg]	Årsækvivalent, Drænvirkem. samlet [ton helårs N / reduceret ton N fra drænvirkem.]	TN Årsækvivalent, Reduceret brug af handelsgødning [ton helårs N / reduceret ton N fra handelsg.]	TN Årsækvivalent, Efterårsafgrøder på supplerende areal [ton helårs N / reduceret ton N fra efterafg.]
16	Korsør Nor	5,5					3,1					
25	Skælskør Fjord og Nor	6,1			3,3	0,2	3,8	2,9	4,2			
29	Kalundborg Fjord	0,2										
35	Karrebæk Fjord	14,1					6,8	3,4	6,9	0,3	0,6	0,5
37	Avnø Fjord	10,9										
59	Nærå Strand	72,2								0,4	0,8	0,9
85	Kertinge Nor	4,3					0,5					
92	Odense Fjord, ydre	5,8					8,4	2,0	2,6	0,7	0,8	0,8
93	Odense Fjord, Seden Strand	24,8					9,0	2,1	16,0	0,4	0,6	0,6
106	Haderslev Fjord	1,0					0,9	0,7	0,1	0,1	0,6	0,8
107	Juvre Dyb	17,2										
109	Hejlsminde Nor	23,1						2,6	8,9	0,3	0,9	0,7
110	Nybøl Nor	4,9					2,6					
111	Lister Dyb	9,3						2,4	11,7			
119	Vesterhavet, syd	33,1	5,7					1,6	33,5			
120	Knudedyb	29,4	4,0					3,1	31,5	0,5	0,9	0,8
121	Grådyb	36,9	5,2					1,0	36,7			
122	Vejle Fjord, ydre	0,2	1,0				0,9	0,7	< 0,1	0,1	0,5	0,7
123	Vejle Fjord, indre	0,3	0,9				1,2	0,7	0,1	0,1	0,6	0,6
124	Kolding Fjord, indre	5,3					2,1	1,3	1,0	0,1	0,7	0,6
128	Horsens Fjord, indre	1,5					2,1	1,4	0,3	0,1	0,6	0,7
129	Nissum Fjord, ydre	22,3	2,1					0,9	14,9			
130	Nissum Fjord, mellem	37,4	3,5					1,1	30,7			
131	Nissum Fjord, Felsted Kog	72,7	6,6					1,1	74,3			
132	Ringkøbing Fjord	20,3	3,2							2,5	1,2	1,1
146	Norsminde Fjord	72,1					11,5	7,2	14,6	0,2	0,9	0,7
157	Bjørnsholm Bugt, Risgaard Bredning, Skive Fjord og Lovns Bredning	17,6	3,3							0,4	1,0	1,0
158	Hjarbæk Fjord	22,3								0,3	1,0	1,0
159	Mariager Fjord, indre	29,8						0,9	19,6			
201	Køge Bugt	2,9										

ID	Vandområde	Årsækvivalent, TP til helårs TN [ton helårs N / reduceret ton helårs P]	Årsækvivalent, Dambrug samlet [ton helårs N / reduceret ton N fra dambrug]	Årsækvivalent, Havbrug samlet [ton helårs N / reduceret ton N fra havbrug]	TN Årsækvivalent, Industri [ton helårs N / reduceret ton N fra industri]	TP Årsækvivalent, Industri [ton helårs N / reduceret ton P fra industri]	Årsækvivalent, RBU samlet [ton helårs N / reduceret ton N fra RBU]	TN Årsækvivalent, Renseanlæg [ton helårs N / reduceret ton N fra renselanlæg]	TP Årsækvivalent, Renseanlæg [ton helårs N / reduceret ton P fra renselanlæg]	Årsækvivalent, Drænvirkem. samlet [ton helårs N / reduceret ton N fra drænvirkem]	TN Årsækvivalent, Reduceret brug af handelsgødning [ton helårs N / reduceret ton N fra handelsg]	TN Årsækvivalent, Efterårsafgrøder på supplerende areal [ton helårs N / reduceret ton N fra efterafg.]
207	Nakskov Fjord	6,1						1,5	0,4	0,1	0,2	0,2
232	Nissum Bredning	15,1						1,0	8,3	0,2	1,0	0,7
233	Kås Bredning og Venø Bugt	14,8								0,3	0,9	0,8
234	Løgstør Bredning	9,3						0,9	3,1	0,4	1,0	1,0
235	Nibe Bredning og Langerak	19,5						1,3	26,6	0,4	1,0	0,9
236	Thisted Bredning	3,8						1,4	2,5	0,3	0,8	0,7
238	Halkær Bredning	76,2								0,9	1,0	1,0

^{*)} I Kalundborg Fjord er registreret et havbrug i henhold til PULS. Dette er imidlertid en landanlæg og bør betragtes som en industriudledning.

6 Regneeksempler

I det følgende er brugen af årsækvivalenter benyttet på en række regneeksempler. Eksemplerne benyttes til at beskrive både brugen af ækvivalenter, men lige så vigtigt, hvad ændringer i TN-reduktionsbehov i et opstrøms vandområde har af betydning for reduktionsbehov i nedstrøms vandområder.

Regneeksemplerne er inkluderet her for at illustrere, hvordan ækvivalenterne kan bruges, hvis de anvendes for pålydende til at opnå GØT. Som beskrevet tidligere (afsnit 3.5) øges usikkerheden betragteligt, når næringsstofftilførslerne neddeles i de enkelte kildebidrag i individuelle vandområder. Målbekslutningerne bag VP3 er beregnet baseret på generelle reduktioner, jævnt fordelt over hele året, og dosis-respons og tilhørende målbekslutninger (årstilførsler) beregnet på denne måde anses for at være robuste estimater, hvilket er blevet bekræftet af den internationale evaluering (aktivitetsspor II under Second Opinion) (Herman et al. 2023).

Brugen af ækvivalenter for individuelle kilder bør derfor benyttes med omhu, og i forrige afsnit (afsnit 4.3) diskuterede vi en række antagelser og usikkerheder. Der er mange beregningstrin i beregningen af ækvivalenter, og hvert trin er forbundet med usikkerhed.

Ækvivalenterne viser dog tydeligt, at der kan være vandområder, hvor effekten af at reducere specifikke punktkilder potentielt vil resultere i større reduktioner i sommerklorofyl-a og lys i vækstperioden end generelle reduktioner, og den viden kan indgå i prioriteringen af indsatser i de enkelt oplande.

Prioritering kan dermed indgå, dels i henhold til ækvivalenterne, men også dels i forhold til økonomi, som adresseres i AP5 (Jakobsen 2024 og Hasler & Filippelli 2024).

I de benyttede eksempler indgår statustilførsler (afstrømningskorrigeret) fra vandområdeplanen 2021-2027 og tilhørende målbekslutninger. Forskellen mellem disse to værdier udgør det indsatsbehov, som vi benytter i eksemplerne. Som en del af 'Second opinion fase III' opdateres statustilførsler og baseline. Derfor vil der være forskel på de beregninger, der foretages i nedstående regneeksempler, de vedtagne VP3 og det genbesøg, som resultaterne af dette projekt skal indgå i.

Eksemplerne, der er inkluderet, dækker over to grupper af sammenhængende kæder af vandområder

1. Odense Fjord: Odense Fjord, Seden Strand, Odense Fjord, ydre og Århus Bugt, syd, Samsø og Nordlige Bælthav
2. Karrebæk Fjord og Smålandsfarvandet, åbne del

I afsnit 6.1.1.1 gennemgås regneeksemplerne mere detaljeret for Odense Fjord, Seden Strand, mens beregningerne efterfølgende rapporteres i tabeller.

6.1 Odense Fjord

I VP3 vandområdet Århus Bugt, syd, Samsø og Nordlige Bælthav afhænger opnåelse af god økologisk tilstand (GØT) af de indsatser, der skal implementeres, for at opstrøms vandområder kommer i god økologisk tilstand (GØT). Til dette vandområde er der flere delvandområder, der bidrager til den aktuelle miljøtilstand i området, herunder de indsatser, der forventes implementeret i Odense Fjord, Seden Strand og Odense Fjord, ydre.

6.1.1 Odense Fjord, Seden Strand

Ved at kombinere Tabel 3-2, Tabel 5-5 og potentialer for reduktioner i punktkilder fra Salomonsen & Ottosen (2023) kan Tabel 6-1 opstilles. Overordnet set fremgår det, at næringsstofftilførslen i dag (afstrømningsnormaliseret, 2016-2018) er på 1370 tons N/år og 39,3 tons P/år. For at sikre GØT i Odense Fjord, Seden Strand, skal der opnås en målbelastning på 781 tons N, hvorfor der skal findes 589 tons N i oplandet til Odense Fjord, Seden Strand.

Af relevante punktkilder til Odense Fjord, Seden Strand, indgår industri, RBU og renseanlæg, mens der hverken forefindes havbrug eller dambrug i oplandet.

Tabel 6-1 Tilførsler, målbelastninger og reduktionspotentialer på punktkilder for Odense Fjord, Seden Strand (vandområde 93) jf. Salomonsen & Ottosen (2023).

	Total, status		Dambrug		Havbrug		Industri		RBU		Renseanlæg		Dræn	
	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P
Tilførsel [T/år]	1370	39,3	-	-	-	-	8,7	0,1	30,5	5,2	137,2	7,2		
Potentiale [T/år]	-	-	-	-	-	-	3,8	0,1	9,9	2,2	29,7	0,9	133	4,0
Ækvivalent [-]		24,8							9,0		2,1	16,0		0,4
Reduktionsbehov [T/år]	589	-												

6.1.1.1 Effekter af reduktioner i helårs-TP-tilførsel

Baseret på Tabel 6-1 er følgende regneeksempel opstillet. Eksemplet illustrerer, hvordan de beregnede ækvivalenter for P kan anvendes til at beregne effekten af en indsats over for P på N-reduktionsbehovet.

- Reduktionsbehov er i dag fastsat til 589 tons N (helårstilførsler)
- Findes 10% TP-helårsreduktioner, svarer det til 3,9 tons P/år
- Effekten af disse 3,9 tons P vil dermed kunne omregnes til 3,9 tons P × 24,8 tons N/tons P (P-ækvivalent fra Tabel 6-1) = 97 tons N (helårstilførsel)
- TN-reduktionsbehovet vil herefter være 589 tons N – 97 tons N = 492 tons N/år, eller et mindre behov for reduktion svarende til 16% mindre.

I Tabel 6-2 er beregningerne opsummeret.

Tabel 6-2 Estimering af nyt reduktionsbehov efter introduktion af P-virkemidler for Odense Fjord, Seden Strand.

	Status		Ækvivalenter		Ændring
	Tons N	Tons P	Tons N	Tons P	Helårs-TN Tons N
Reduktionsbehov	589	-	-	-	-
P-virkemidler					
10% af TP-tilførsel	-	3,9	-	24,8	97
N-reduktionsbehov efter 10% reduktion af TP-tilførsel (helårs-TN)					492

6.1.1.2 Reduktioner i punktkilder

På tilsvarende vis kan Tabel 6-1 benyttes til at beregne nye TN-reduktionsbehov ved implementering af fx 30% af det samlede punktkildepotentiale i tabellen.

- Reduktionsbehovet er i dag fastsat til 589 tons N (helårstilførsler)
- Implementeres virkemidler, således at de tre punktkildebidrag reduceres med 30% af det samlede potentiale, svarer det til en reduktion på
 - 1,1 tons N og 0,03 tons P på industrianlæg
 - 3,0 tons N og 0,7 tons P på RBU'er
 - 8,9 tons N og 0,3 tons P på renseanlæg
- Effekten på helårs-TN-tilførslen kan herefter beregnes til
 - Indsatsen på industrianlæg er for lille til at omregne til en ækvivalent og en resulterende effekt
 - Effekten af indsatsen over for RBU'er beregnes som 3,0 tons N \times 9,0 tons N/tons N = 27 tons N/år
 - Effekten af indsatsen over for renseanlæg beregnes som 8,9 tons N \times 2,1 tons N/tons N + 0,3 tons P \times 16,0 tons N/tons P = 23 tons N
- TN-reduktionsbehovet vil herefter være 589 tons N – 27 tons N – 23 tons N = 539 tons N/år, eller et mindre behov for reduktion svarende til 8% mindre.

I Tabel 6-3 er beregningerne opsummeret.

Tabel 6-3 Estimering af nyt reduktionsbehov efter introduktion af punktkilde-virkemidler for Odense Fjord, Seden Strand.

	Status		Ækvivalenter		Ændring
	Tons N	Tons P	Tons N	Tons P	Helårs-TN Tons N
Reduktionsbehov	589	-	-	-	-
Virkemidler (30% af potentiale)					
Industri	1,1	0,03	-	-	-
RBU	3,0	0,7	9,0		27
Renseanlæg	8,9	0,3	2,1	16,0	23
Sum					50
N-reduktionsbehov efter 30% reduktion i punktkildepotentiale (helårs-TN)					539

6.1.1.3 Reduktioner ved brug af drænvirkemidler

Afslutningsvis kan der beregnes indsatser baseret på drænvirkemidler:

- Reduktionsbehov er i dag fastsat til 589 tons N (helårstilførsler)
- Placeres drænvirkemidler på 50% af det potentielle areal i oplandet til Odense Fjord, Seden Strand, svarer det til en reduktion i tilførsler på 133 tons N/år og 4,0 tons P/år.
- Effekten på de to indikatorer kan derved omregnes til 133 tons N \times 0,4 tons N/tons N = 53 tons N (helårstilførsel)
- Det resterende TN-reduktionsbehov vil herefter være 589 tons N – 53 tons N = 536 tons N/år.

Der er dermed lille direkte effekt af drænvirkemidler i Odense Fjord, Seden Strand, eftersom opholdstiden her er meget kort, og reduktioner i de samlede næringsstofftilførsler i vækstsæsonen fra drænvirkemidler er små. Men som det vil fremgå af næste afsnit, er effekten større i Odense Fjord, ydre, og forventeligt med fuld effekt af drænvirkemidler i vandområdet nedstrøms Odense Fjord, ydre.

I Tabel 6-4 er beregningerne opsummeret.

Tabel 6-4 Estimering af nyt reduktionsbehov efter introduktion af drænvirkemidler for Odense Fjord, Seden Strand.

	Status		Ækvivalenter		Ændring
	Tons N	Tons P	Tons N	Tons P	Helårs-TN Tons N
Reduktionsbehov	589	-	-	-	-
Drænvirkemidler					
50% af potentialet	133	4	0,4		53
N-reduktionsbehov efter implementering af drænvirkemidler på 50% af det potentielle areal (helårs-TN)					536

6.1.2 Odense Fjord, ydre

Ved at kombinere Tabel 3.2, Tabel 4.3 og indsatserne fra VP3, Bilag 1.1 ([vandomraadeplanerne-2021-2027.pdf \(mst.dk\)](#)) og potentialer fra Salomonsen & Ottosen 2023 kan Tabel 6-5 opstilles. Overordnet set fremgår det, at næringsstofftilførslen i dag (afstrømningsnormaliseret, 2016-2018) er på 1443 tons N/år og 40,9 tons P/år. For at sikre GØT i Odense Fjord, Seden Strand, skal der opnås en målbelastning på 1045 tons N, hvorfor der skal findes 398 tons N i oplandet til Odense Fjord, ydre.

Af relevante punktkilder til Odense Fjord, ydre, indgår industri, RBU og renseanlæg, mens der hverken forefindes havbrug eller dambrug i oplandet.

I det følgende beregnes effekterne på indsatsbehov for Odense Fjord, ydre, for reduktioner i helårs-TP-tilførsel, reduktioner i punktkilder og reduktioner ved brug af drænvirkemidler.

Tabel 6-5 Tilførsler, målbelastninger og reduktionspotentialer på punktkilder i Odense Fjord, ydre (Salomonsen & Ottosen 2023).

	Total, status		Dambrug		Havbrug		Industri		RBU		Renseanlæg		Dræn	
	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P
Tilførsel [T/år]	1443	40,9	-	-	-	-	8,7	0,1	32,3	5,4	139,1	7,3		
Potentiale [T/år]	-	-	-	-	-	-	3,8	0,1	9,9	2,3	30,0	1,0	141,4	4,2
Ækvivalent [-]		5,8	-		-		-	-	8,4		2,0	2,6	0,7	
Reduktionsbehov [T/år]	398	-												

6.1.2.1 Effekter af reduktioner i helårs-TP-tilførsel

Tabel 6-6 Estimering af nyt reduktionsbehov efter introduktion af P-virkemidler for Odense Fjord, ydre.

	Status		Ækvivalenter		Ændring
	Tons N	Tons P	Tons N	Tons P	Helårs-TN Tons N
Reduktionsbehov	398	-	-	-	-
P-virkemidler					
10% af TP-tilførsel	-	4,0	-	5,8	23
N-reduktionsbehov efter 10% reduktion af TP-tilførsel (helårs-TN)					375

6.1.2.2 Reduktioner i punktkilder

Tabel 6-7 Estimering af nyt reduktionsbehov efter introduktion af punktkilde-virkemidler for Odense Fjord, ydre.

	Status		Ækvivalenter		Ændring
	Tons N	Tons P	Tons N	Tons P	Helårs-TN Tons N
Reduktionsbehov	398	-	-	-	-
Virkemidler (30% af potentiale)					
Industri	1,1	0,03	-	-	-
RBU	3,0	0,7	8,4		25
Renseanlæg	9,0	0,3	2,0	2,6	19
Sum					44
N-reduktionsbehov efter 30% reduktion i punktkildepotentiale (helårs-TN)					354

6.1.2.3 Reduktioner ved brug af drænvirkemidler

Tabel 6-8 Estimering af nyt reduktionsbehov efter introduktion af dræn-virkemidler for Odense Fjord, ydre.

	Status		Ækvivalenter		Ændring
	Tons N	Tons P	Tons N	Tons P	Helårs-TN Tons N
Reduktionsbehov	398	-	-	-	-
Drænvirkemidler					
50% af potentialet	141	4	0,7		99
N-reduktionsbehov efter implementering af drænvirkemidler på 50% af det potentielle areal (helårs-TN)					299

6.1.3 Århus Bugt, syd, Samsø og Nordlige Bælthav

Nedstrøms Odense Fjord, Seden Strand, og Odense Fjord, ydre, kommer vandområdet Århus Bugt, syd, Samsø og Nordlige Bælthav. Dette vandområde modtager næringsstofbidrag fra en række fjorde foruden input fra det direkte opland til kystvandet.

I henhold til VP3, Bilag 1.1 ([vandomraadeplanerne-2021-2027.pdf \(mst.dk\)](#)) er statusbelastningen til vandområdet på 2849 tons N/år og 83,8 tons P/år. Målbeklastningen er beregnet til 1718 tons N/år, hvorfor det samlede reduktionsbehov til vandområdet udgør 1131 tons N/år.

Med en samlet tilførsel på 1443 tons N/år og 40,9 tons P/år fra Odense Fjord (se Tabel 6-5) udgør tilførslerne herfra derfor en betydelig andel af den samlede tilførsel til Århus Bugt, syd, Samsø og Nordlige Bælthav. Samlet set udgør Odense Fjord 51% af den samlede landbaserede TN-tilførsel og 49% af den samlede landbaserede TP-tilførsel fra danske oplande. Udover Odense Fjord er det især Horsens Fjord (samlet set en tilførsel på 794 tons N/år og 26,2 tons P/år), som bidrager med næringsstoffer, mens de resterende næringsstoffer tilføres fra fjordene Norsminde Fjord, Nærrå Strand, Lillestrand og Stavns Fjord.

Derfor udgør reduktioner i Odense Fjord også et vigtigt bidrag til at opnå reduktionerne på i alt 1131 tons N/år til vandområdet, og i det omfang at reduktionerne til Odense Fjord minimeres, skaber det et behov for supplerende reduktioner i hele oplandet til Århus Bugt, syd, Samsø og Nordlige Bælthav, herunder måske også i oplandet til Odense Fjord.

6.1.4 Opsamling

I regneeksemplet for Odense Fjord har vi benyttet ækvivalenterne for pålydende. Som beskrevet i afsnit 3.5 øges usikkerheden betragteligt, når næringsstofftilførslerne neddeles i de enkelte kildebidrag i individuelle vandområder. Brugen af ækvivalenter for individuelle kilder bør derfor benyttes med omhu, og i afsnit 4.3 diskuterede vi antagelser og usikkerheder.

Anvendes ækvivalenter for pålydende, fremgår det af ovenstående beskrivelse, at Odense Fjord samlet set er følsom overfor virkemidler i oplandet, hvor den samlede reduktion ikke falder %-vis ensartet over hele året, og følsom overfor virkemidler, som målrettes fosforindsatser.

Samtidigt viser ovenstående beskrivelse også, at de tre vandområder i regneeksemplet er afhængige af de indsatser, der fx foretages i oplande tilhørende nedstrøms vandområder. I Odense Fjord eksemplet, bliver helårs-TN reduktionsbehovet til Odense Fjord, Seden Strand, og Odense Fjord, ydre, mindsket, men på bekostning af øget reduktionsbehov til det nedstrøms vandområde 219 (Århus Bugt, syd, Samsø og Nordlige Bælthav).

Dette øgede reduktionsbehov til vandområde 219 kan enten hentes i det direkte opland til Århus Bugt, syd, Samsø og Nordlige Bælthav eller fordeles til nogle af de andre vandområder, som ligger opstrøms Århus Bugt, syd, Samsø og Nordlige Bælthav: Horsens Fjord, indre, Horsens Fjord, ydre, Norsminde Fjord, Nærrå Strand, Lillestrand og/eller Stavns Fjord, eller i Odense Fjord, Seden Strand, eller Odense Fjord, ydre.

Som det fremgår af Tabel 6-9, betyder specifikke P-indsatser og indsatser i forhold til punktkilder, at reduktionsbehovet til Odense Fjord, Seden Strand, reduceres, men at den reduktion modsvares af en 1:1 øgning af reduktionsbehovet til Århus Bugt, syd, Samsø og Nordlige Bælthav. Kun i forbindelse med implementering af drænvirkemidler i oplandet til Odense Fjord, Seden Strand, opnås et mindre reduktionsbehov til Århus Bugt, syd, Samsø og Nordlige Bælthav, men alene fordi der reelt skal reduceres flere tons N for at opnå den samme effektive virkning på indikatorerne i Odense Fjord, Seden Strand.

Tabel 6-9 Optimering af reduktionsbehov til Odense Fjord, Seden Strand. Tabellen viser ændringer i det samlede kvælstofreduktions-behov baseret på specifikke P-indsatser, indsatser i forhold til punktkilder og implementering af drænvirkemidler.

Vandområde	Reduktions-behov Hel-opland [tons N/år]	P-indsats [tons N/år]	Punktkilde-indsats [tons N/år]	Dræn-indsats [tons N/år]
Odense Fjord, Seden Strand	589	492 (+3,9 tons P)	539 (+12 tons N og 1 tons P)	536 (+133 tons N og 4 tons P)
Odense Fjord, ydre	398	-	-	-
Århus Bugt, syd, Samsø og Nordlige Bælthav	1131	1131+97	1131+50-12	1131+53-133

6.2 Karrebæk Fjord

Ved at kombinere Tabel 3.2, Tabel 4.3 og indsatserne fra Bilag 1.1 ([vandomraadeplanerne-2021-2027.pdf \(mst.dk\)](#)) og potentialer fra Salomonsen & Ottosen (2023) kan Tabel 6-10 opstilles for Karrebæk Fjord. Overordnet set fremgår det, at næringsstofftilførslen i dag er på 1362 tons N/år og 36,2 tons P/år. For at sikre GØT i Karrebæk Fjord skal der opnås en målbelastning på 1018 tons N, hvorfor der skal findes 344 tons N i oplandet til Karrebæk Fjord.

Af relevante punktkilder til Karrebæk Fjord indgår industri, RBU og renseanlæg, mens der hverken forefindes havbrug eller dambrug i oplandet.

I det følgende beregnes effekterne på indsatsbehov for Karrebæk Fjord for reduktioner i helårs-TP-tilførsel, reduktioner i punktkilder og reduktioner ved brug af drænvirkemidler.

Tabel 6-10 Tilførsler, målbelastninger og reduktionspotentialer på punktkilder (Salomonsen & Ottosen 2023).

	Total, status		Dambrug		Havbrug		Industri		RBU		Rense-anlæg		Dræn	
	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P
Tilførsel [TN/år]	1362	36,2	-	-	-	-	0,4	0,05	11,8	1,9	72,9	8,1		
Potentiale [TN/år]	-	-	-	-	-	-	-	-	4,7	0,9	11,4	5,8	164	4,6
Ækvivalent [-]		14,1	-		-		-		6,8		3,4	6,9	0,3	
Reduktions-behov [TN/år]	344	-												

6.2.1.1 Reduktioner i helårs-TP-tilførsel

Tabel 6-11 Estimering af nyt reduktionsbehov efter introduktion af P-virkemidler for Karrebæk Fjord.

	Status		Ækvivalenter		Ændring
	Tons N	Tons P	Tons N	Tons P	Helårs-TN Tons N
Reduktionsbehov	344	-	-	-	-
P-virkemidler					
10% af TP-tilførsel	-	3,6	-	14,1	51
N-reduktionsbehov efter 10% reduktion af TP-tilførsel (helårs-TN)					293

6.2.1.2 Reduktioner i punktkilder

Tabel 6-12 Estimering af nyt reduktionsbehov efter introduktion af punktkildevirkemidler for Karrebæk Fjord.

	Status		Ækvivalenter		Ændring
	Tons N	Tons P	Tons N	Tons P	Helårs-TN Tons N
Reduktionsbehov	344	-	-	-	-
Virkemidler (30% af potentiale)					
Industri	-	-	-	-	-
RBU	1,4	0,3	6,8		10
Renseanlæg	3,4	1,7	3,4	6,9	23
Sum					33
N-reduktionsbehov efter 30% reduktion i punktkildepotentiale (helårs-TN)					311

6.2.1.3 Reduktioner ved brug af drænvirkemidler

Tabel 6-13 Estimering af nyt reduktionsbehov efter introduktion af drænvirkemidler for Karrebæk Fjord.

	Status		Ækvivalenter		Ændring
	Tons N	Tons P	Tons N	Tons P	Helårs-TN Tons N
Reduktionsbehov	344	-	-	-	-
Drænvirkemidler					
50% af potentialet	164	4,6	0,3		49
N-reduktionsbehov efter implementering af drænvirkemidler på 50% af det potentielle areal (helårs-TN)					295

6.2.2 Smålandsfarvandet, åbne del

Nedstrøms Karrebæk Fjord kommer vandområdet Smålandsfarvandet, åbne del. Dette vandområde modtager næringsstofbidrag fra en række fjorde foruden input fra det direkte opland til kystvandet.

I henhold til Bilag 1.1 ([vandomraadeplanerne-2021-2027.pdf \(mst.dk\)](#)) er statusbelastningen til Smålandsfarvandet, åbne del, på 2090 tons N/år og 56,6 tons P/år. Målbekastningen er beregnet til 1856 tons N/år, hvorfor det samlede reduktionsbehov til vandområdet udgør 234 tons N/år.

Med en samlet tilførsel på 1362 tons N/år og 36,2 tons P/år fra Karrebæk Fjord (se Tabel 6-10) udgør tilførslerne herfra derfor en betydelig andel af den samlede tilførsel til Smålandsfarvandet, åbne del. Samlet set udgør Karrebæk Fjord 65% af den samlede landbaserede TN-tilførsel og 64% af den samlede landbaserede TP-tilførsel. Udover Karrebæk Fjord bidrager Korsør Nor, Skælskør Fjord og Nor, Basnæs Nor, Holsteinborg Nor, Dybsø Fjord og Avnø Fjord med næringsstoffer til Smålandsfarvandet, åbne del.

6.2.3 Opsamling

Som for Odense Fjord har vi benyttet ækvivalenterne for pålydende, og som nævnt tidligere øges usikkerheden betragteligt, når næringsstofftilførslerne neddeles i de enkelte kildebidrag i individuelle vandområder, hvorfor brugen af ækvivalenter for individuelle kilder bør benyttes med omhu.

Som det fremgår af ovenstående beskrivelse, er Karrebæk Fjord samlet set følsom overfor virkemidler i oplandet, hvor den samlede reduktion ikke falder %-vis ensartet over hele året, og følsom overfor virkemidler, som målrettes fosfor indsatser.

Samtidigt viser ovenstående beskrivelse også, at reduktioner til Karrebæk Fjord påvirker reduktionsbehov i nedstrøms vandområde Smålandsfarvandet, åbne del. I Tabel 6-14 er opsamlingen fra de forskellige potentielle P-indsatser, indsatser mod punktkilder og effekter af drænvirkemidler inkluderet.

Tabel 6-14 Optimering af reduktionsbehov til Karrebæk Fjord. Tabellen viser ændringer i det samlede kvælstofreduktionsbehov baseret på specifikke P-indsatser, indsatser i forhold til punktkilder og implementering af drænvirkemidler.

Vandområde	Reduktionsbehov Hel-opland [tons N/år]	P-indsats [tons N/år]	Punktkildeindsats [tons N/år]	Dræningsindsats [tons N/år]
Karrebæk Fjord	344	293 (+3,6 tons P)	311 (+4,8 tons N og 2,0 tons P)	295 (+164 tons N og 4 tons P)
Smålandsfarvandet, åbne del	234	-	-	-

7 Konklusion

Formålet med AP4 er at kvantificere de miljømæssige effekter af forskellige scenarier for supplerende næringsstofreduktionsstrategier (fosfor, kvælstof og reduktioner målrettet vækstsæsonen) til opfyldelse af et resterende VP3 indsatsbehov frem mod 2027, herunder betydningen af forskellige supplerende fosfor- og kvælstofvirkemidler til at reducere udledninger af såvel kvælstof som fosfor fra henholdsvis diffuse kilder og punktkilder.

AP4 bygger dermed videre på de reduktionspotentialer og tilhørende virkemidler for supplerende fosforindsats samt potentialet for reduktioner målrettet vækstsæsonen, som er blevet identificeret i AP1-3 (Thodsen & Tornbjerg (2023), Højberg et al. (2024) og Salomonsen & Ottosen (2023).

Mens AP1-3 identificerer og kvantificerer de enkelte kilders andel af næringsstoffbelastningen over året i de enkelte vandområder samt reduktionspotentialer for anvendelse af specifikke virkemidler, benyttes AP4 til at kvantificere effekten på miljøtilstanden; det vil sige reduktioner i sommer klorofyl-a (maj til september) og K_d i vækstsæsonen (marts til september) på forskellige niveauer af reduktioner af punktkilder og diffuse bidrag.

Der er således tale om en modelanalyse, som i udgangspunktet indeholder en del detaljer omkring punktkilder, diffuse tilførsler og tilstanden i en række marine vandområder – og netop de vandområder som i Erichsen et al. (2021a og 2021b) blev identificeret som enten særligt P-følsomme eller følsomme for netop de næringsstofftilførsler, der tilføres i vækstperioden maj-september for sommer-klorofyl-a og marts-september for K_d .

Mens de tidligere analyser (fx Erichsen et al. 2021b) har fokuseret på reduktioner i specifikke perioder på året, har nærværende rapport arbejdet med reduktioner i vandområderelevante punktkilder og reduktioner baseret på specifikke virkemidler (drænvirkemidler og enkelte markvirkemidler). Dermed er der introduceret reduktioner i næringsstofftilførslerne, som er %-vis varierende over året, men hvor de undersøgte reduktioner udtrykker en realistisk årsvariation.

Det anbefales, at det fortsat er målbelastningerne baseret på årstilførsler, der skal indgå i de nationale opgørelser, og som sikrer opnåelse af god økologisk tilstand (GØT) i alle marine vandområder. Metoden til fastlæggelse af disse målbelastninger er netop blevet internationalt evalueret og erklæret *fit-for-purpose* (COWI 2023; Herman et al. 2023), og antages derfor at være særdeles robuste.

I AP4 er der gennemført en række modelscenarier med målrettede reduktioner i specifikke punktkilder, foruden reduktioner i den diffuse tilførsel fra drænvirkemidler og enkeltstående markvirkemidler. Modelresultater er efterfølgende omsat til årsækvivalenter, som modsvarer, hvor stor en effekt på de to indikatorer der kan opnås ved at reducere TN- og/eller TP-tilførsler fra de analyserede kilder.

I nærværende projekt neddeles næringsstofftilførslerne i individuelle kilder (renseanlæg, industriudledninger, dambrug, havbrug og RBU'er) og dosis-respons for de enkelte kilder beregnes individuelt, foruden dosis-respons fra specifikke diffuse virkemidler (drænvirkemidler, efterafgrøder og reduceret brug af handelsgødning). Dermed opnås et modelgrundlag, som kan indgå i en prioritering mellem virkemidler til opnåelse af GØT set ud fra et naturvidenskabeligt synspunkt – dertil kommer efterfølgende et økonomisk synspunkt, som behandles i AP5 (Jakobsen 2024 og Hasler & Filippelli 2024). Det er dog vigtigt at understrege, at hvis ækvivalenterne inddrages til at prioritere, skal det være alle ækvivalenter, både ækvivalenter >1 så vel som ækvivalenter <1 for at sikre sammenhæng i analyserne.

I nærværende projekt har der været fokus på en række næringsstoffkilder og deres betydning over året, såvel som deres fordeling. Tidligere har alle kilder været ligeligt fordelt over året med 1/12 per måned. I forhold til årstilførsler har det været en fin tilgang, men i arbejdet med især mekanistiske modeller har der været behov for en mere differentieret beskrivelse af de enkelte

kilder, og både for avancerede renseanlæg, RBU'er og havbrug er tilførslerne over året opdateret markant.

De data, der ligger til grund for neddelingerne, er robuste og udgør dermed et forbedret datasæt på landsplan, men øger ikke nødvendigvis sikkerheden på de individuelle indsatser i de enkelte vandområder. Sikkerheden på målbelastningerne anses for stor, mens effekterne af de enkelte virkemidler i individuelle vandområder er mere usikre.

Derudover er der forhold, som vil påvirke ækvivalenterne over tid. Når forholdet mellem punkt-kildebidrag og diffuse bidrag ændrer sig og/eller når forholdet mellem TN- og TP-tilførslerne ændrer sig, vil det påvirke ækvivalenterne.

Brugen af ækvivalenter for individuelle kilder bør derfor benyttes med omhu, og i rapporten (afsnit 4.3) diskuteres en række antagelser og usikkerheder. Der er mange trin i beregningen af ækvivalenter, og hvert trin er forbundet med usikkerhed.

Fra projektets begyndelse var der identificeret 39 vandområder, som var relevante for det samlede projekt, herunder de to vandområder Randers Fjord, indre og Randers Fjord, ydre. Af de 39 vandområder var 31 identificeret som særligt P-følsomme, mens 18 vandområder var identificeret som følsomme for N-tilførsler i perioden maj-september (Erichsen et al. 2021b). Der var et overlap mellem vandområder, og 10 af vandområderne var identificeret som følsomme overfor både P- og N-tilførsler i vækstsæsonen.

Baseret på resultaterne i AP4 er der 33 vandområder, der har en TP-følsomhed (årsbelastningen), som resulterer i en ækvivalent >1 , og dermed bekræfter en form for P-følsomhed. Her er det Odense Fjord, Seden Strand, og Odense Fjord, ydre, som er tilføjet til fosforfølsomheden, men som ikke blev identificeret i den oprindelige analyse af fosforfølsomhed.

Der er imidlertid stor forskel på P-følsomheden mellem vandområderne, og der er 13 vandområder med begrænset P-følsomhed (ækvivalent mellem 1-10), 8 vandområder med nogen P-følsomhed (ækvivalent mellem 10-20), og 13 vandområder med høj P-følsomhed (ækvivalent >20). Vandområderne med høj P-følsomhed er fx Grådyb og Knudedyb, Nissum Fjord, foruden Halkær Bredning og Hjarbæk Fjord, og dermed en række vandområder med store reduktionsbehov.

I forhold til punktkildeækvivalenter er det især renseanlæg, hvor der er fundet ækvivalenter >1 . Samlet set er der 16 vandområder med ækvivalenter >1 for TN-tilførsler, hvilket bekræfter resultaterne fra Erichsen et al. (2021b), men ud af de 16 vandområder er ækvivalenter <2 i halvdelen (8 vandområder) af de fundne områder.

Der er også fundet ækvivalenter >1 for dambrug i 7 vandområder, bl.a. Ringkøbing Fjord, Nissum Fjord og Hjarbæk Fjord, foruden Grådyb og Knude Dyb.

I 10 vandområder er ækvivalenten for RBU'er >1 , men alene i Karrebæk Fjord, Odense Fjord, Seden Strand, Odense Fjord, ydre og Norsminde Fjord er ækvivalenterne >5 .

I forhold til drænvirkemidler viser modelresultaterne i AP4, at ækvivalenterne for stort set alle de analyserede vandområder er <1 . De vandområder, som i stor stil indgår i AP4 resultaterne, har tidligere været identificeret som følsomme overfor næringsstofftilførsler i vækstsæsonen. Reduktioner fra drænvirkemidler i de analyserede oplande viser en relativt stor sæsonvariation med de største reduktioner i vinter og forår og mindste reduktioner i vækstperioden. Derfor er det ikke overraskende, at ækvivalenterne i de analyserede vandområder <1 .

I forhold til markvirkemidler er årstidsvariationen mindre udtalt end for drænvirkemidler. Som en del af AP4 er der foretaget en beregning baseret på resultaterne fra drænvirkemidlerne, med henblik på at estimere ækvivalenter for markvirkemidlerne: Reduceret brug af handelsgødning og efterafgrøder på supplerende areal. Ækvivalenterne for disse markvirkemidler er 1 eller <1 , men omtrent halvdelen af en ækvivalent, som er $>0,8$ og dermed væsentligt tættere på 1 sammen-

lignet med drænvirkemidlerne. Da den diffuse tilførsel i hovedparten af de analyserede vandområder stadigvæk er det væsentligste bidrag til næringsstofftilførslerne, er det stadigvæk markvirkemidler, der potentielt kan løfte de største næringsstofreduktioner i vandområderne.

Resultaterne fra AP4 viser dermed, at der i visse af de udpegede vandområder er en større følsomhed for næringsstoffer (N og P) i vækstsæsonen, og at der med statustilførslerne er vandområder, som er særligt P-følsomme. Det er derfor relevant at undersøge potentialet i de vandområder, hvor punktkilder udgør en betydende andel af de samlede tilførsler over sæsonen, og hvor det er muligt at reducere TP-tilførslerne igennem målrettede indsatser (Højberg et al. 2024). Resultaterne fra AP4 bygger på reduktioner i fx punktkilder og effekter af drænvirkemidler og de to markvirkemidler: Reduceret handelsgødning og efterafgrøder på supplerende areal. Ækvivalenterne er beregnet baseret på input fra AP1 og AP3 og benytter de resulterende ændringer i de undersøgte vandområder. Som beskrevet tidligere i rapporten, vil større søer ændre på fordelingen af de forskellige kilder, hvorfor brugen af ækvivalenter alene kan benyttes på evaluering af effekter fra de respektive virkemidler nedstrøms større søer.

I den forbindelse skal det dog nævnes, at reduktionsberegninger indgår i en kædeberegning, hvor reduktioner i et opstrøms vandområde kan og vil påvirke reduktioner i nedstrøms vandområder, hvilket er adresseret i nærværende rapport, men ikke indgår i de enkelte årsækvivalenter.

8 Referencer

- /1/ Birkeland MJ, Kronborg M, Nielsen SEB, Closter RM, Arenas JA, Kuusemae K, Tjørnløv RS, Møhlenberg F, Tuhuteru N, Thomsen F, Skov H, Petersen JK, Timmermann K, Nielsen P (2021). Habitatkonsekvensvurdering for havbrug. Habitatkonsekvensvurdering for Borre I Havbrug. DHI-rapport
- /2/ Børgesen CD, Plauborg F, Iversen BI, Hoffmann CC, Audet J (2021). Opdatering af regneark for kvælstofeffekt ved etablering af minivådområder. 12 sider. Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet, leveret: 15.12.2021
- /3/ COWI (2023). Second opinion on the need for reduction of nitrogen in the third RBMP for 2021- 2027, Phase I. Second opinion on the need for reduction of Nitrogen in the third RBMP for 2021-2027, Phase I (mst.dk)
- /4/ DHI 2020a, Development of Mechanistic Models – Mechanistic Model for Limfjorden – Technical documentation on biogeochemical model, DHI rapport, project nr 11822245
- /5/ DHI 2020b, Development of Mechanistic Models – Mechanistic Model for Nissum Fjord – Technical documentation on biogeochemical model, DHI rapport, project nr 11822245
- /6/ DHI 2020c, Development of Mechanistic Models – Mechanistic Model for Ringkøbing Fjord – Technical documentation on biogeochemical model, DHI rapport, project nr 11822245
- /7/ DHI 2020d, Development of Mechanistic Models – Mechanistic Model for Mariager Fjord – Technical documentation on biogeochemical model, DHI rapport, project nr 11822245
- /8/ DHI 2020e, Development of Mechanistic Models – Mechanistic Model for Odense Fjord – Technical documentation on biogeochemical model, DHI rapport, project nr 11822245
- /9/ DHI 2020f, Development of Mechanistic Models – Mechanistic Model for the Smålandsfarvandet – Technical documentation on biogeochemical model, DHI rapport, project nr 11822245
- /10/ DHI 2020g, Development of Mechanistic Models – Mechanistic Model for the Southern Belt Sea – Technical documentation on biogeochemical model, DHI rapport, project nr 11822245
- /11/ DHI 2020h, Development of Mechanistic Models – Mechanistic Model for Northern Belt Sea – Technical documentation on biogeochemical model, DHI rapport, project nr 11822245
- /12/ DHI 2020i, Development of Mechanistic Models – Mechanistic Model for the North Sea – Technical documentation on biogeochemical model, DHI rapport, project nr 11822245
- /13/ Erichsen AC (ed), Højberg AL, Hasler B, Jacobsen BH, Børgesen CD, Thodsen H, Andersen HE, Tornbjerg H, Christensen JPA, Timmermann K, Filippelli R, Salomonsen SD, Ottosen TW, Larsen TC (2024). Second opinion, fase III, Styrket modelgrundlag. Synteserapport. DHI-rapport
- /14/ Erichsen AC (Ed.), Timmermann K (Ed.), Christensen JPA, Kaas H, Markager S, Møhlenberg F (2017) Development of models and methods to support the Danish River Basin Management Plans. Scientific documentation. Aarhus University, Department of Bioscience and DHI, 191 pp.
- /15/ Erichsen AC, Timmermann K, Larsen TC, Nielsen SEB, Christensen J & Markager S (2021a). Application of the Danish EPA's Marine Model Complex and Development of a Method Applicable for the River Basin Management Plans 2021-2027. Scenario Summary. [ManagementScenario_summary_v4 \(au.dk\)](#)

- /16/Erichsen AC, Nielsen SEB, Timmermann K, Højberg AL, Eriksen J & Pedersen BF (2021b). Muligheder for optimeret regulering af N- og P-tilførslen til kystvandene med fokus på tilførslen i sommerhalvåret. Analyse og kvantificering. [Development og Mechanistic Models, RBMP 2021-2027 \(au.dk\)](#)
- /17/Erichsen AV, Timmermann K, Larsen TC, Markager S & Christensen J (2021c). Application of the Danish EPA's Marine Model Complex and Development of a Method Applicable for the River Basin Management Plans 2021-2027. Conceptual Method for Estimating Maximum Allowable Inputs. [Development og Mechanistic Models, RBMP 2021-2027 \(au.dk\)](#)
- /18/Erichsen AC, Timmermann K, Larsen TC, Christensen J, Nielsen SEB & Markager S (2021d). Application of the Danish EPA's Marine Model Complex and Development of a Method Applicable for the River Basin Management Plans 2021-2027. Management Scenario 2e – Land-based nutrient scenarios (additional Wadden Sea P reductions). [Development og Mechanistic Models, RBMP 2021-2027 \(au.dk\)](#)
- /19/Hasler B. & Filippelli R. 2024: Økonomiske analyser af fosfor- og kvælstofreduktioner beregnet med TargetEconN_P. Second opinion, fase III, Styrket modelgrundlag. Arbejdspakke 5. KU
- /20/Hermann P, Newton A, Gustafsson B, Josefsson H & Krüger R (2023). International Evaluation of the Scientific and Legal Basis for Nitrogen Reductions in the 3rd Danish River Basin Management Plan. [International-evaluation-2023-revised-report-second-opinion-phase-ii-121023.pdf \(mst.dk\)](#)
- /21/Højberg AL, Børgesen CD & Andersen HE (2024). Second opinion, fase III, Styrket modelgrundlag. Delrapport 3: Diffus bidrag og virkemidler. GEUS
- /22/Jacobsen BH (2024). Vurderinger af omkostninger ved at nå indsatskrav for kvælstof i Vandrammedirektivet i relation til Second Opinion analysen. KU.
- /23/Lassen J & Frank-Gopolos T (2022). Undersøgelse af månedsvariation for stof-udledning fra renseanlæg (samt ferskvandsdambrug og industri). Notat fra miljøstyrelsen. 2022. s 25.
- /24/Salomonsen SD & Ottosen TW (2023). Second Opinion Fase III. Styrket Modelgrundlag. Punktkilder. [Second opinion - Punktkilder \(mst.dk\)](#)
- /25/Thodsen H & Tornbjerg H (2023). Næringsstofbelastning, kildeopsplitning og kvælstofretention - AP1 i "Second opinion" fase III (Vandplan 3 genbesøg). Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi
- /26/Thodsen, H, Tornbjerg, H, Rasmussen, JJ, Bøgestrand, J, Larsen, SE, Ovesen, NB, Blicher-Mathiesen, G, Kjeldgaard, A & Windolf, J 2019. Vandløb 2018. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 70 s. - Videnskabelig rapport nr. 353. <http://dce2.au.dk/pub/SR353.pdf>

Bilag A Årsækvivalent: Helårs ton P til helårs ton N

Vandområde ID	Vandområde Navn	Årsækvivalent, TP til helårs TN [ton helårs N / reduceret ton hel-års P]
1	Roskilde Fjord, ydre	0,5
2	Roskilde Fjord, indre	2,6
6	Nordlige Øresund	0,7
16	Korsør Nor	5,5
17	Basnæs Nor	1,3
18	Holsteinborg Nor	2,4
24	Isefjord, ydre	0,1
25	Skælskør Fjord og Nor	6,1
28	Sejerø Bugt	0,4
29	Kalundborg Fjord	0,2
34	Smålandsfarvandet, syd	0,1
35	Karrebæk Fjord	14,1
36	Dybsø Fjord	29,6
37	Avnø Fjord	10,9
38	Guldborgsund	1,2
44	Hjelm Bugt	3,3
45	Grønsund	< 0,1
46	Fakse Bugt	0,5
47	Præstø Fjord	7,7
48	Stege Bugt	< 0,1
49	Stege Nor	5,2
56	Østersøen, Bornholm	3,2
57	Østersøen, Christiansø	7,5
59	Nærå Strand	72,2
62	Lillestrand	3,6
68	Lindelse Nor	9,9
72	Kløven	< 0,1
74	Bredningen	15,4

80	Gamborg Fjord	< 0,1
82	Aborg Minde Nor	58,6
83	Holckenhavn Fjord	20,2
84	Kerteminde Fjord	< 0,1
85	Kertinge Nor	4,3
86	Nyborg Fjord	6,4
87	Helnæs Bugt	< 0,1
89	Lunkebugten	< 0,1
90	Langelandssund	< 0,1
92	Odense Fjord, ydre	5,8
93	Odense Fjord, Seden Strand	24,8
95	Storebælt SV	0,9
96	Storebælt NV	0,3
101	Genner Bugt	< 0,1
102	Aabenraa Fjord	< 0,1
103	Als Fjord	< 0,1
104	Als Sund	< 0,1
105	Augustenborg Fjord	< 0,1
106	Haderslev Fjord	1,0
107	Juvre Dyb	17,2
108	Avnø Vig	18,1
109	Hejlsminde Nor	23,1
110	Nybøl Nor	4,9
111	Lister Dyb	9,3
113	Flensborg Fjord, indre	< 0,1
114	Flensborg Fjord, ydre	< 0,1
119	Vesterhavet, syd	33,1
120	Knudedyb	29,4
121	Grådyb	36,9
122	Vejle Fjord, ydre	0,2
123	Vejle Fjord, indre	0,3
124	Kolding Fjord, indre	5,3
125	Kolding Fjord, ydre	3,8
127	Horsens Fjord, ydre	< 0,1
128	Horsens Fjord, indre	1,5

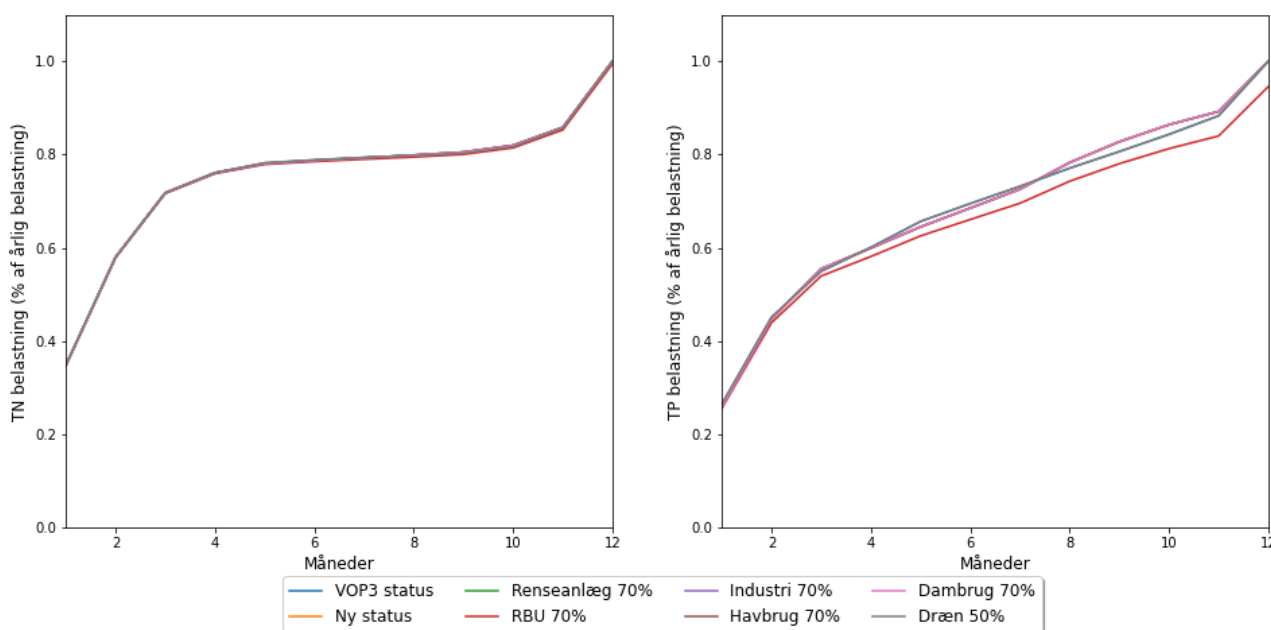
129	Nissum Fjord, ydre	22,3
130	Nissum Fjord, mellem	37,4
131	Nissum Fjord, Felsted Kog	72,7
132	Ringkøbing Fjord	20,3
133	Vesterhavet, nord	15,2
136	Randers Fjord, indre	-
137	Randers Fjord, ydre	-
138	Hevring Bugt	< 0,1
139	Anholt	0,4
140	Djursland Øst	0,1
141	Ebeltoft Vig	< 0,1
142	Stavns Fjord	1,7
144	Knebel Vig	< 0,1
145	Kalø Vig	< 0,1
146	Norsminde Fjord	72,1
147	Aarhus Bugt og Begtrup Vig	< 0,1
154	Kattegat, Læsø	0,3
157	Bjørnholms Bugt, Riisgaarde Bredning, Skive Fjord og Lovns Bredning	17,6
158	Hjarbæk Fjord	22,3
159	Mariager Fjord, indre	29,8
160	Mariager Fjord, ydre	27,6
165	Isefjord, indre	2,4
200	Kattegat, Nordsjælland	0,3
201	Køge Bugt	2,9
204	Jammerland Bugt og Musholm Bugt	0,6
206	Smålandsfarvandet, åbne del	< 0,1
207	Nakskov Fjord	6,1
208	Femerbælt	3,1
209	Rødsand og Bredningen	< 0,1
212	Faaborg Fjord	< 0,1
214	Det sydfynske Øhav	< 0,1
216	Lillebælt syd	< 0,1
217	Lillebælt, Bredningen	< 0,1
219	Aarhus Bugt, syd, Samsø og Nordlige Bælthav	< 0,1

221	Skagerrak	< 0,1
222	Kattegat, Aalborg Bugt	< 0,1
224	Nordlige Lillebælt	0,2
225	Nordlige Kattegat, Ålbæk Bugt	0,1
231	Lillebælt, Snævringsen	< 0,1
232	Nissum Bredning	15,1
233	Kås Bredning og Venø Bugt	14,8
234	Løgstør Bredning	9,3
235	Nibe Bredning og Langerak	19,5
236	Thisted Bredning	3,8
238	Halkær Bredning	76,2

Bilag B Opdaterede årsfordelinger – punktkilder

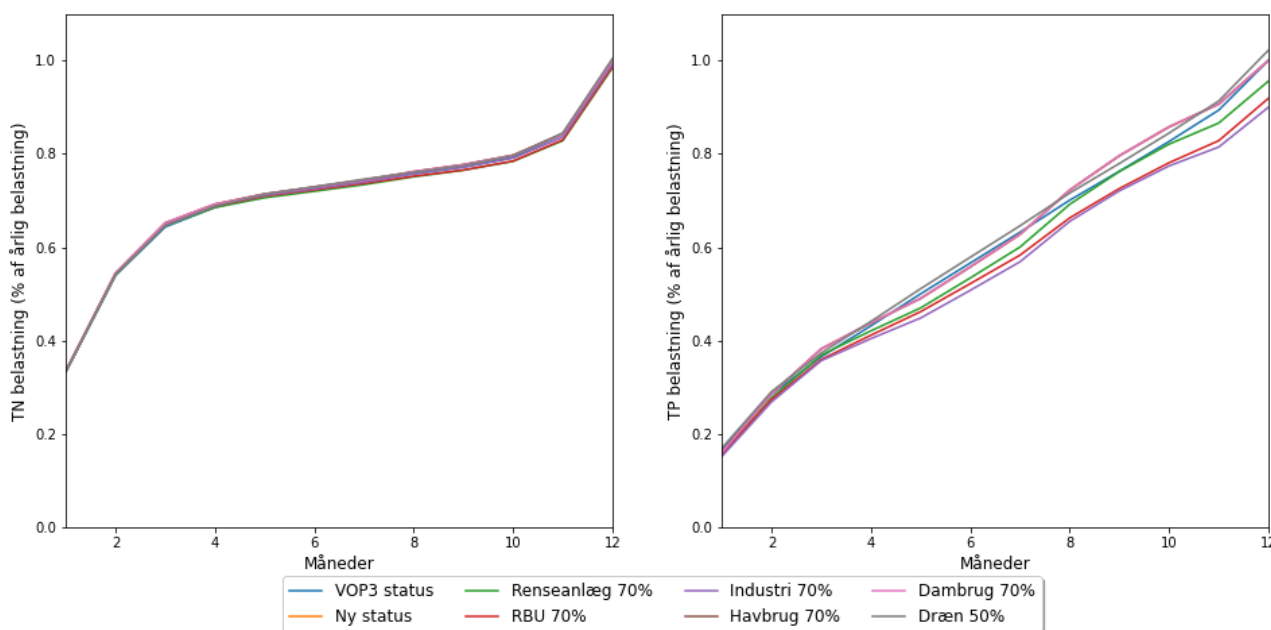
I dette bilag vises den akkumulerede relative fordeling af TN-tilførsel (venstre) og TP-tilførsel (højre) i alle de for dette projekt relevante vandområder. Månedsværdier er baseret på gennemsnit for årene 2012-2016. Forskel mellem 'Status VOP3' og 'Ny Status' viser forskellen mellem tilførsler benyttet under vandområdeplanerne 2021-2027 og tilførslerne med de reviderede punktkildefordelinger. De seks andre kurver viser akkumulerede relative tilførsler ved 70% af den nuværende punktkildetilførsel eller implementering af drænvirkemidler på 50% af det samlede potentiale for drænvirkemidler i oplandet.

Vandområde 16



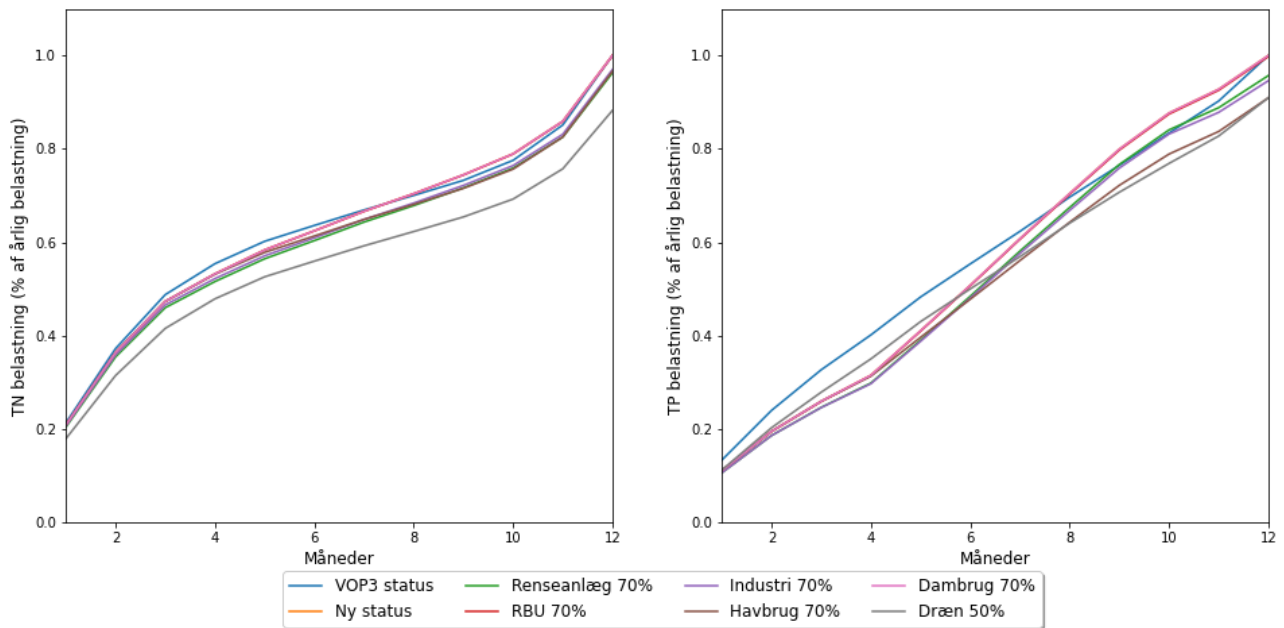
Figur A-1 Akkumuleret relativ årsbelastning for vandområde 16: Korsør Nor.

Vandområde 25



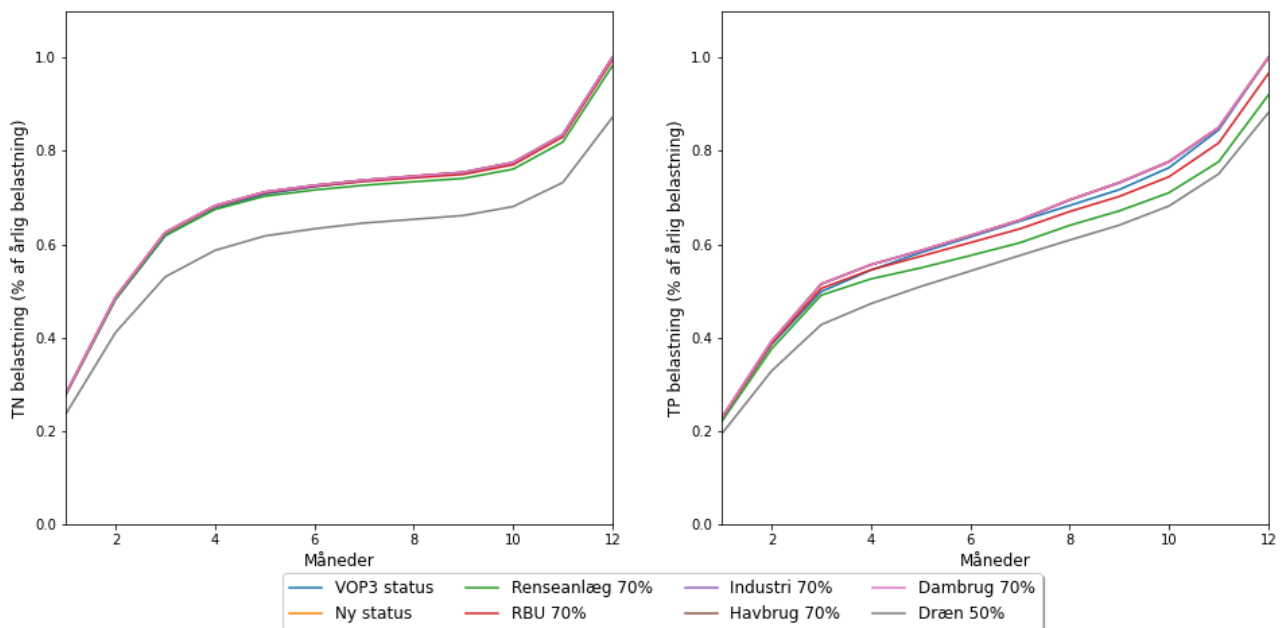
Figur A-2 Akkumuleret relativ årsbelastning for vandområde 25: Skælskør Fjord og Nor.

Vandområde 29



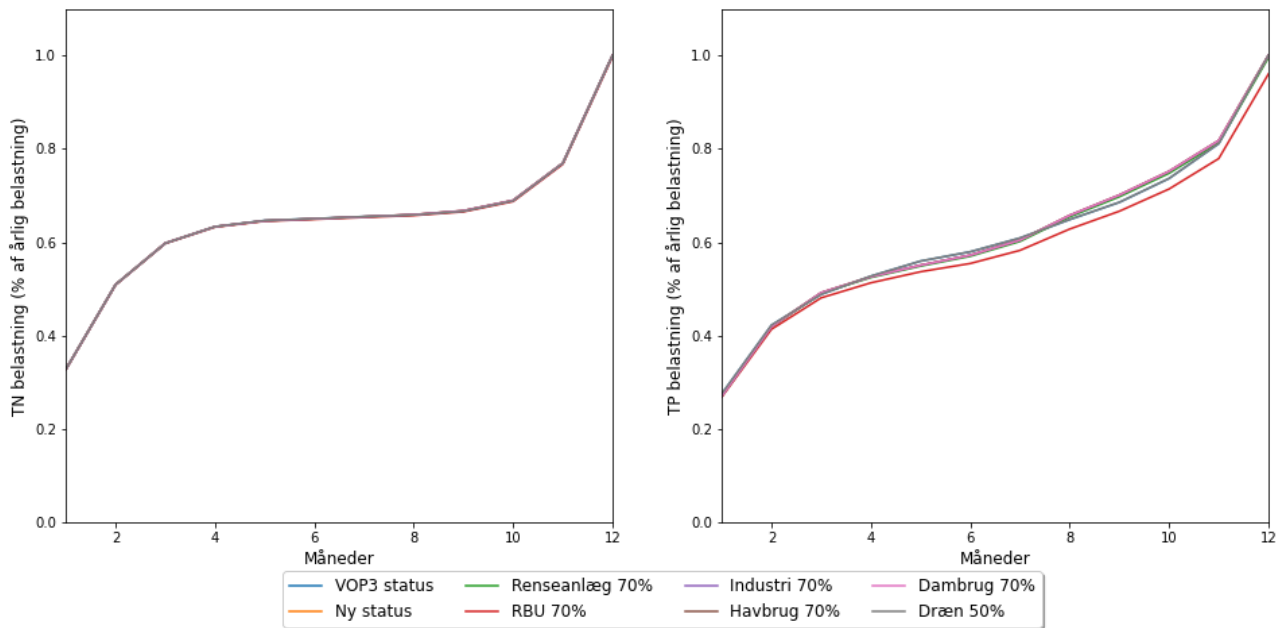
Figur A-3 Akkumuleret relativ årsbelastning for vandområde 29: Kalundborg Fjord.

Vandområde 35



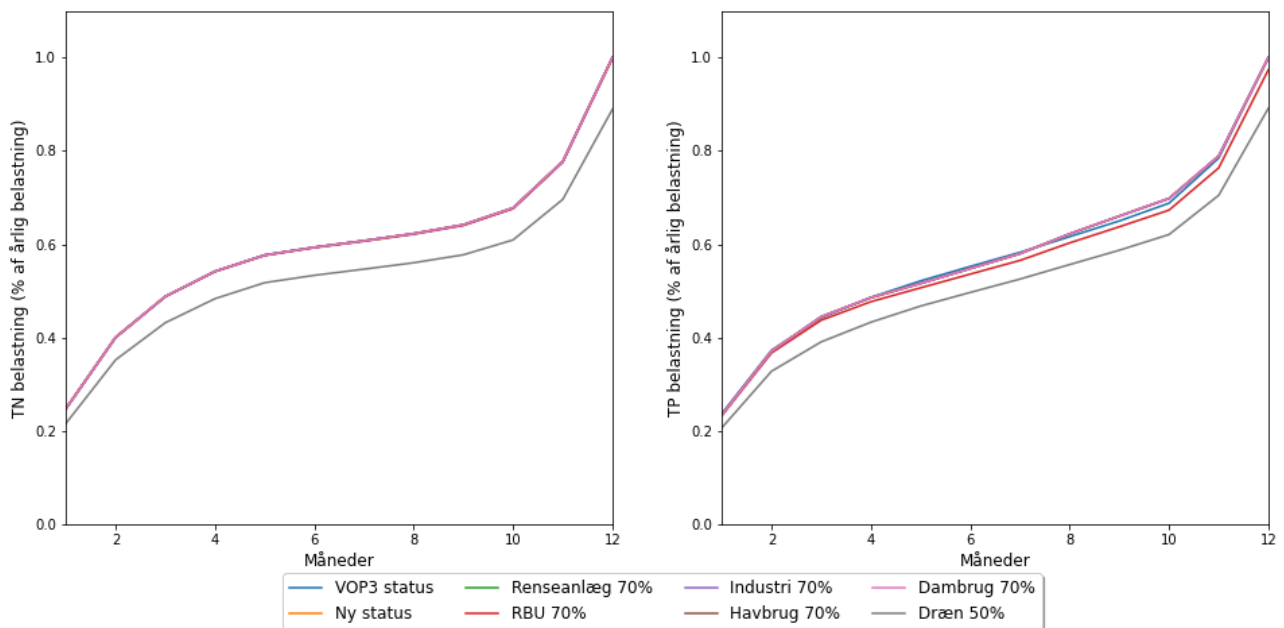
Figur A-4 Akkumuleret relativ årsbelastning for vandområde 35: Karrebæk Fjord.

Vandområde 37



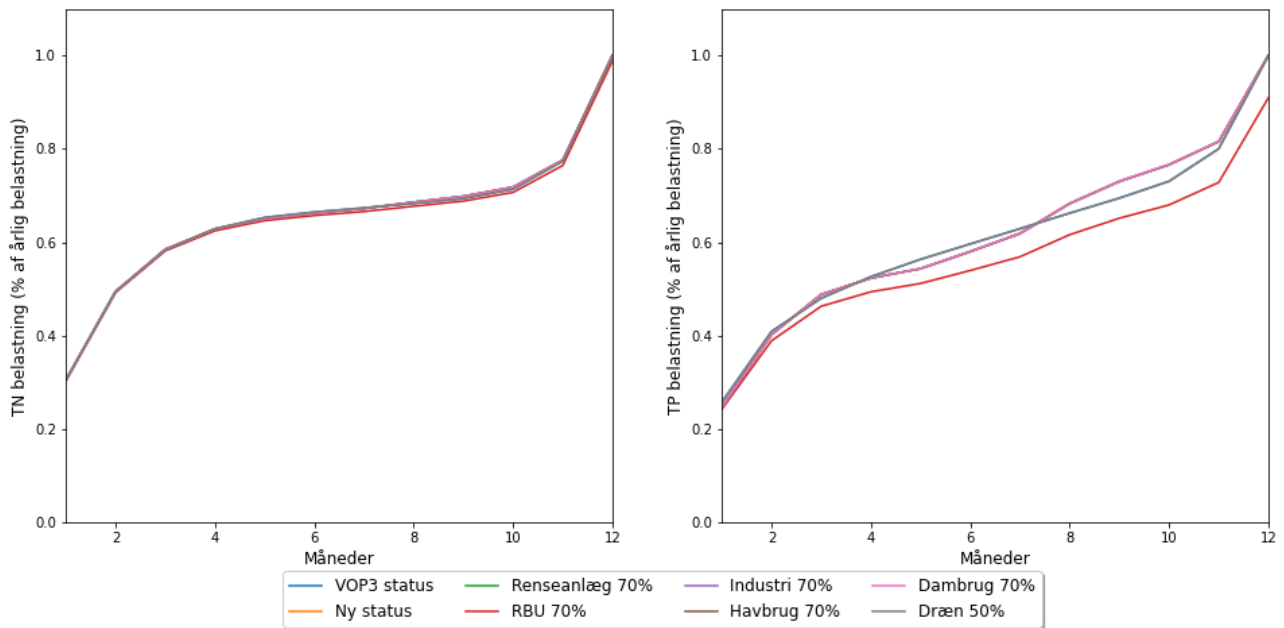
Figur A- 5 Akkumuleret relativ årsbelastning for vandområde 37: Avnø Fjord.

Vandområde 59



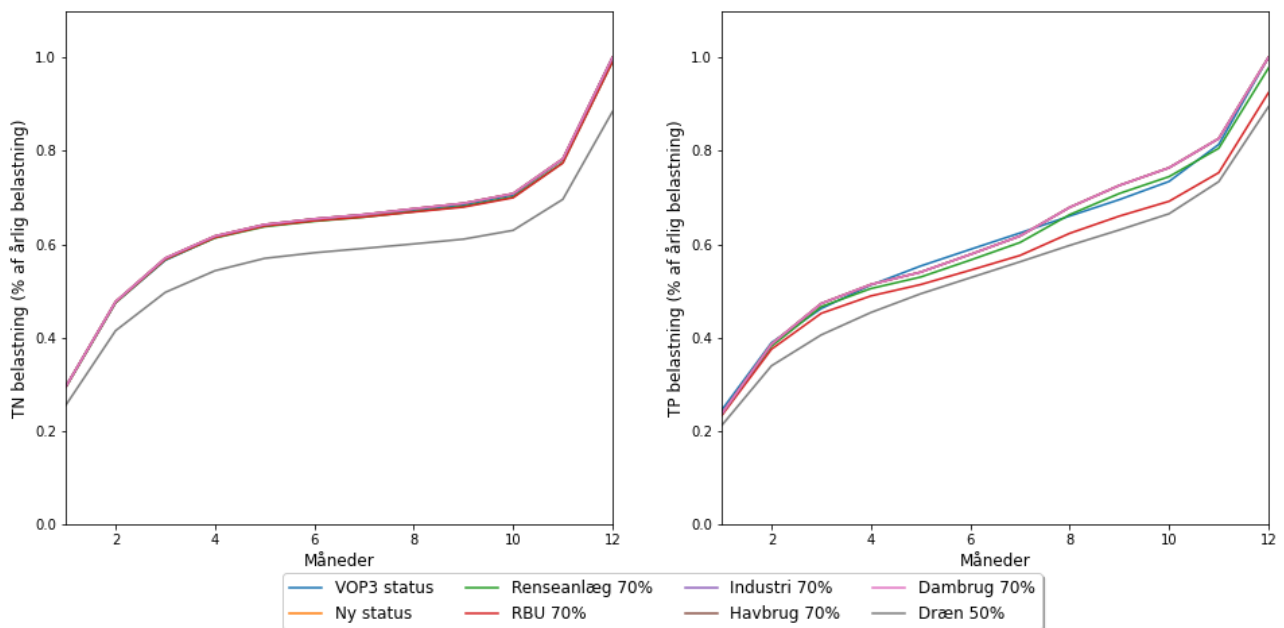
Figur A- 6 Akkumuleret relativ årsbelastning for vandområde 59: Nærrå Strand.

Vandområde 85



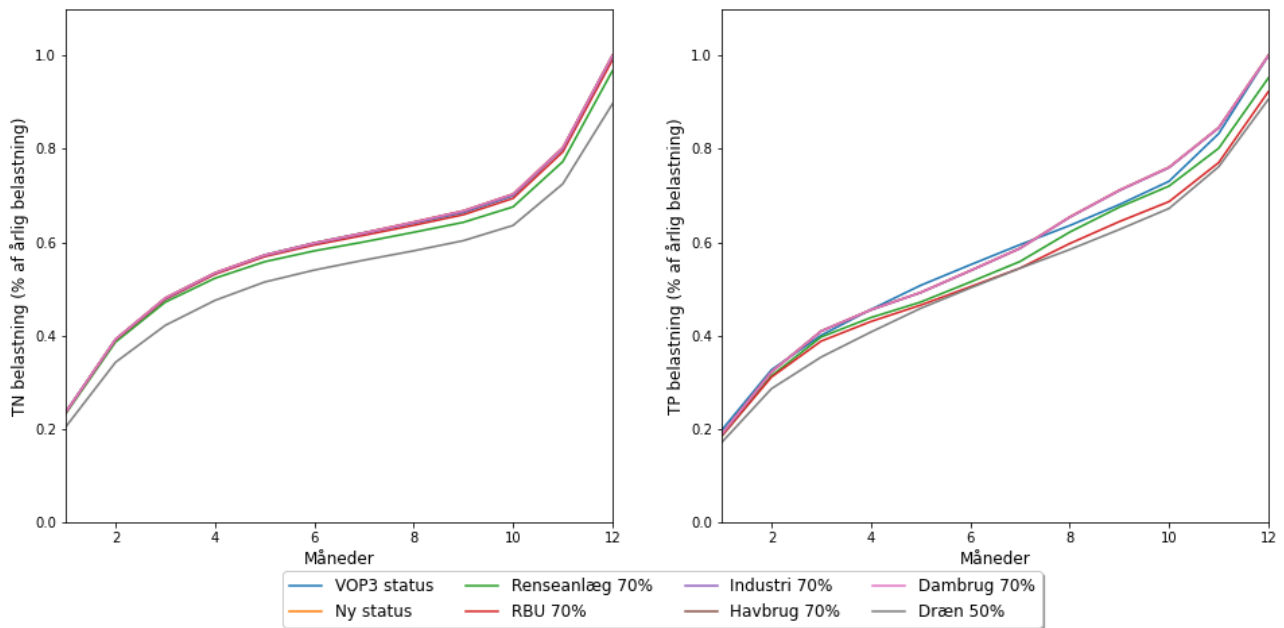
Figur A-7 Akkumuleret relativ årsbelastning for vandområde 85: Kertinge Nor.

Vandområde 92



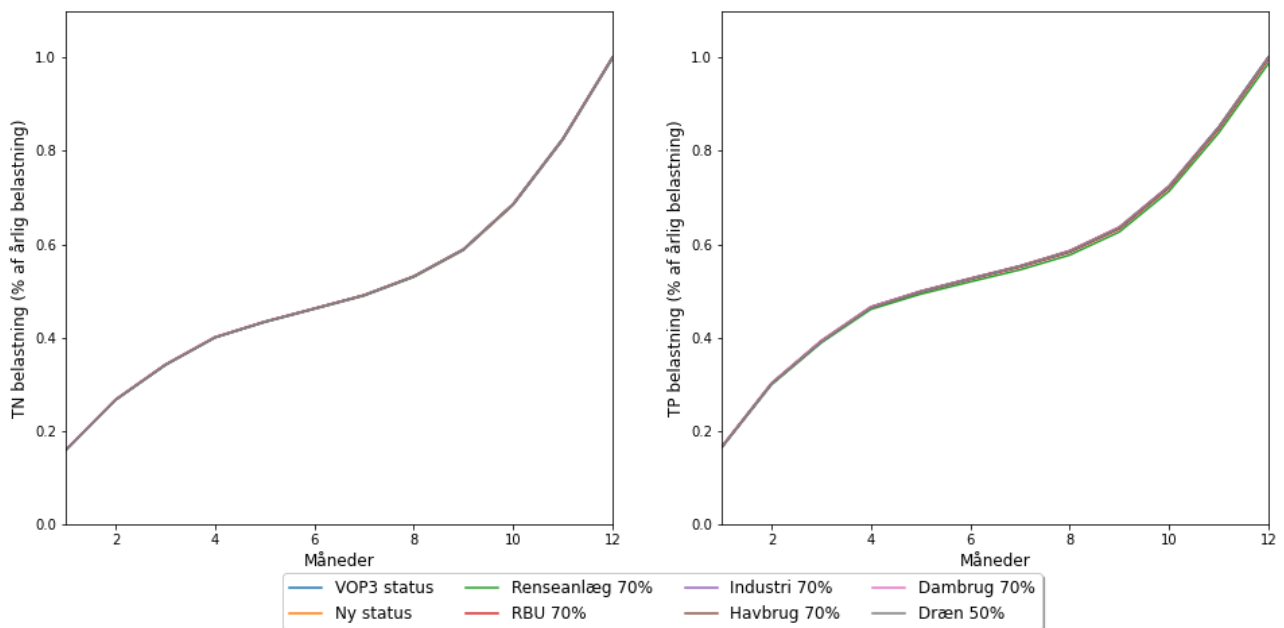
Figur A-8 Akkumuleret relativ årsbelastning for vandområde 92: Odense Fjord, ydre.

Vandområde 93



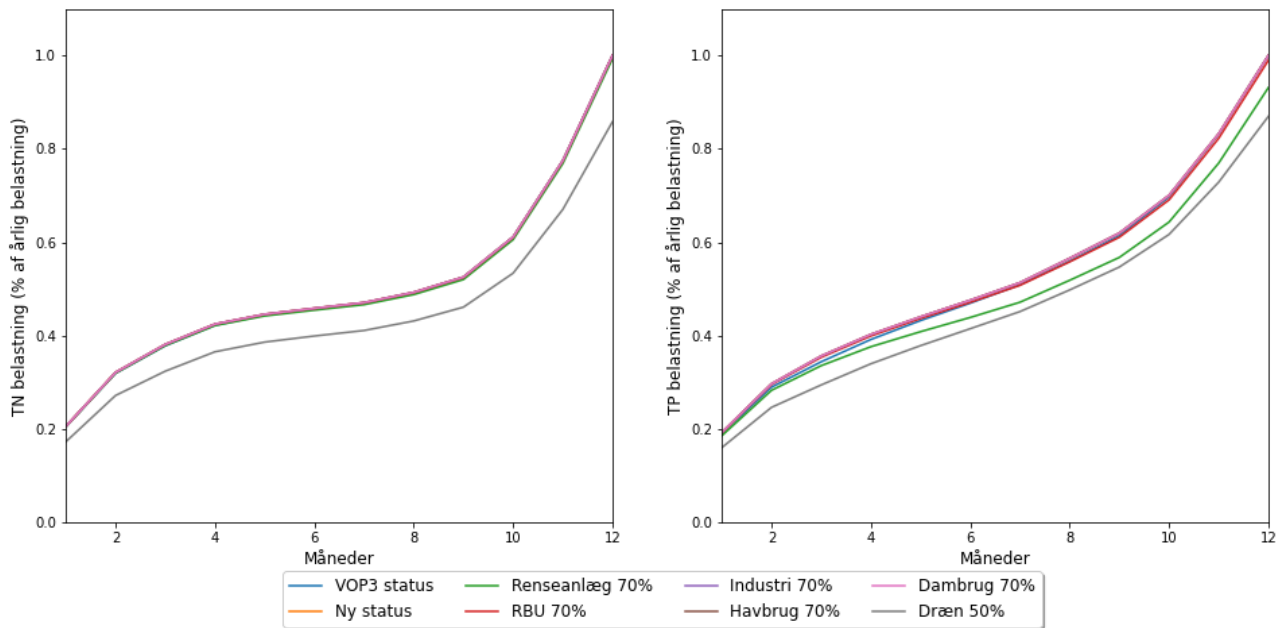
Figur A-9 Akkumuleret relativ årsbelastning for vandområde 93: Odense Fjord, indre.

Vandområde 107



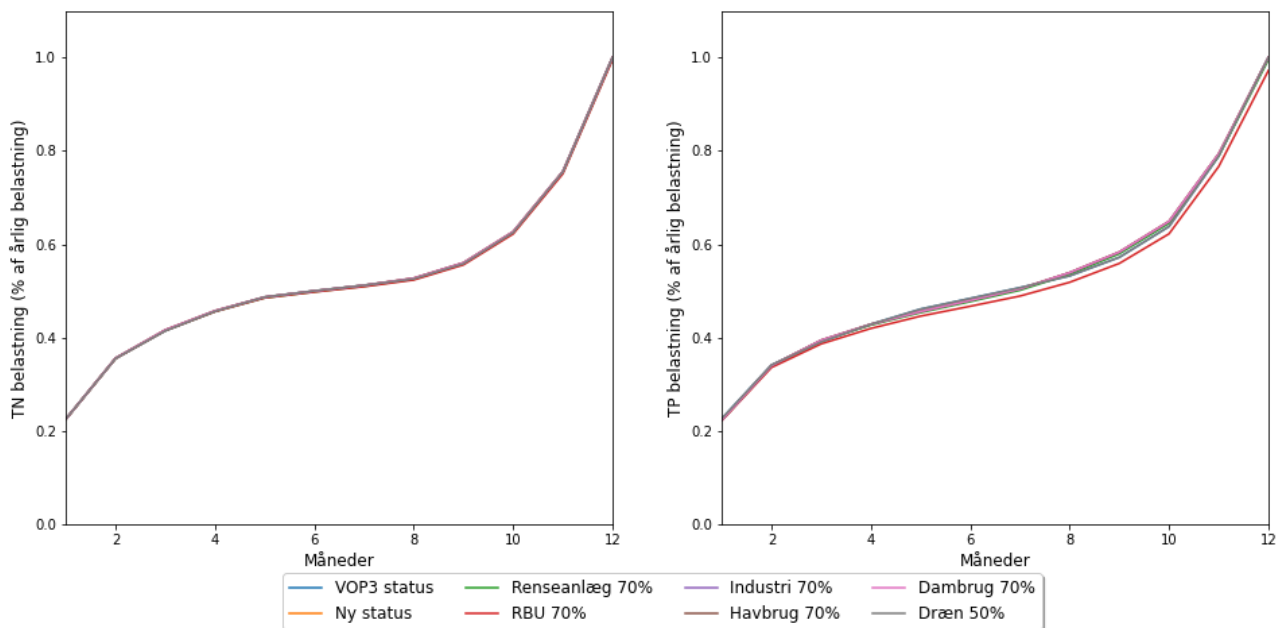
Figur A-10 Akkumuleret relativ årsbelastning for vandområde 107: Juvre Dyb.

Vandområde 109



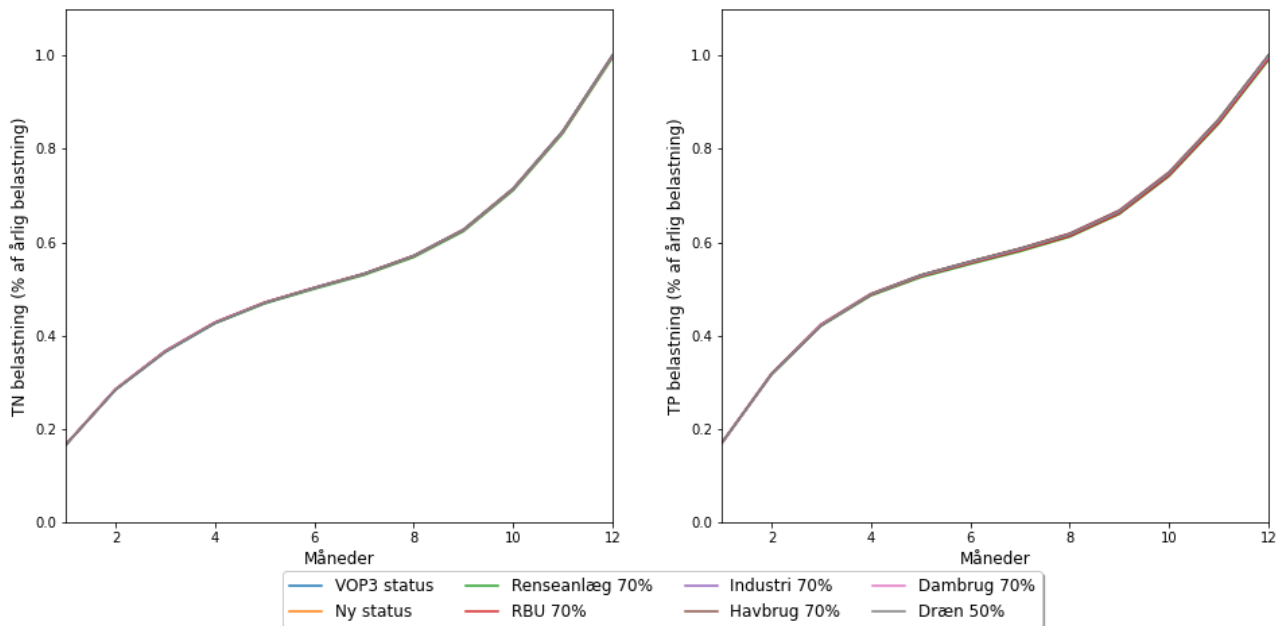
Figur A- 11 Akkumuleret relativ årsbelastning for vandområde 109: Hejlsminde Nor.

Vandområde 110



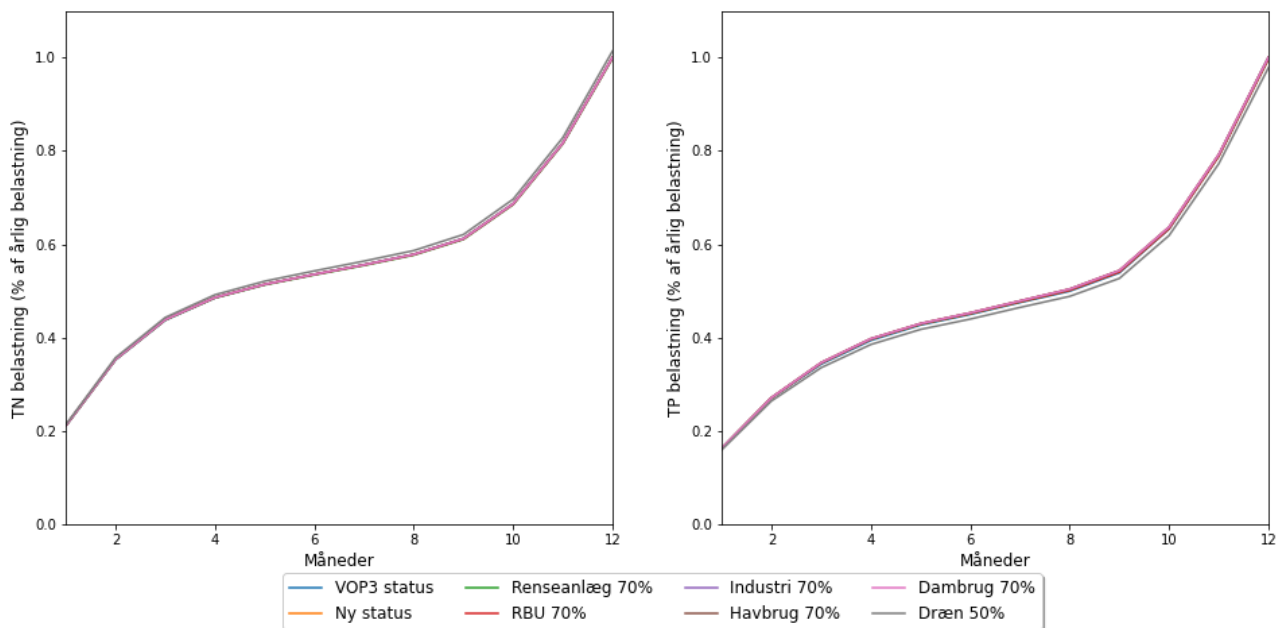
Figur A- 12 Akkumuleret relativ årsbelastning for vandområde 110: Nybøl Nor.

Vandområde 111



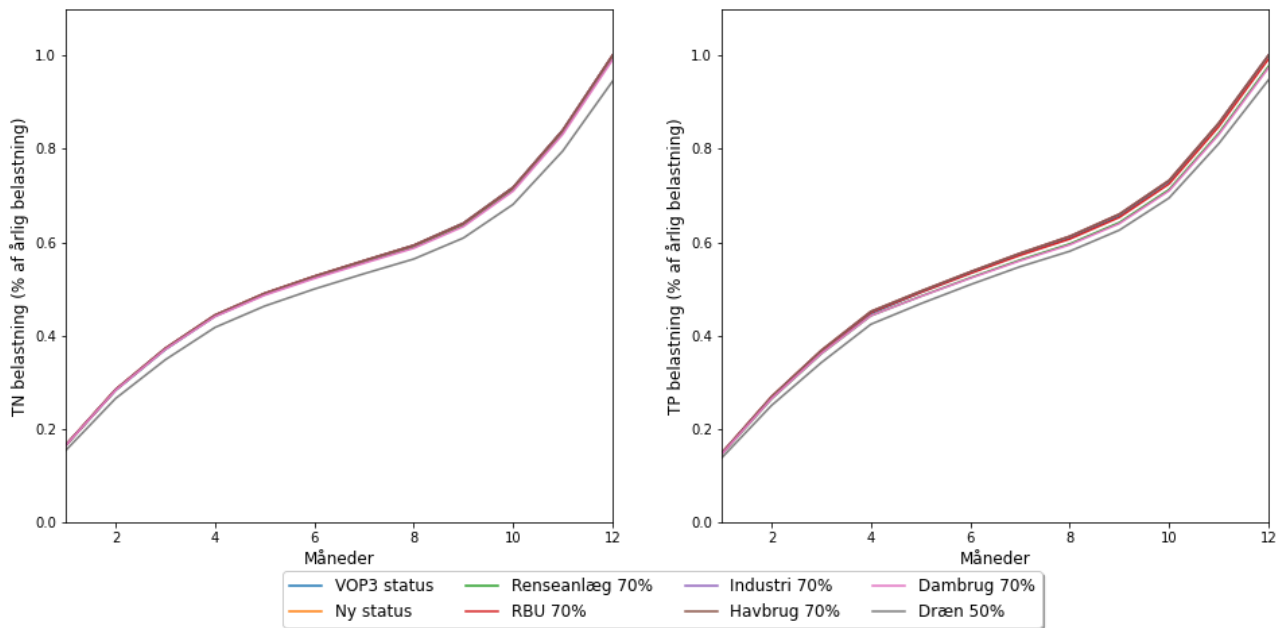
Figur A- 13 Akkumuleret relativ årsbelastning for vandområde 111: Lister Dyb.

Vandområde 119



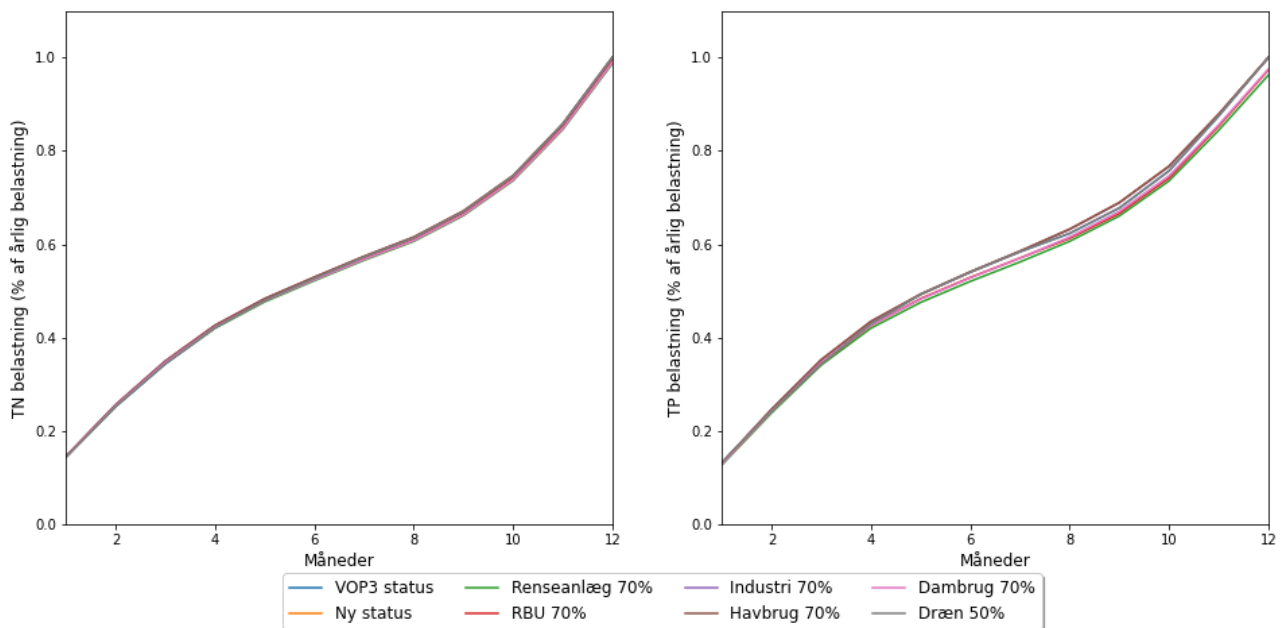
Figur A- 14 Akkumuleret relativ årsbelastning for vandområde 119: Vesterhavet, syd.

Vandområde 120



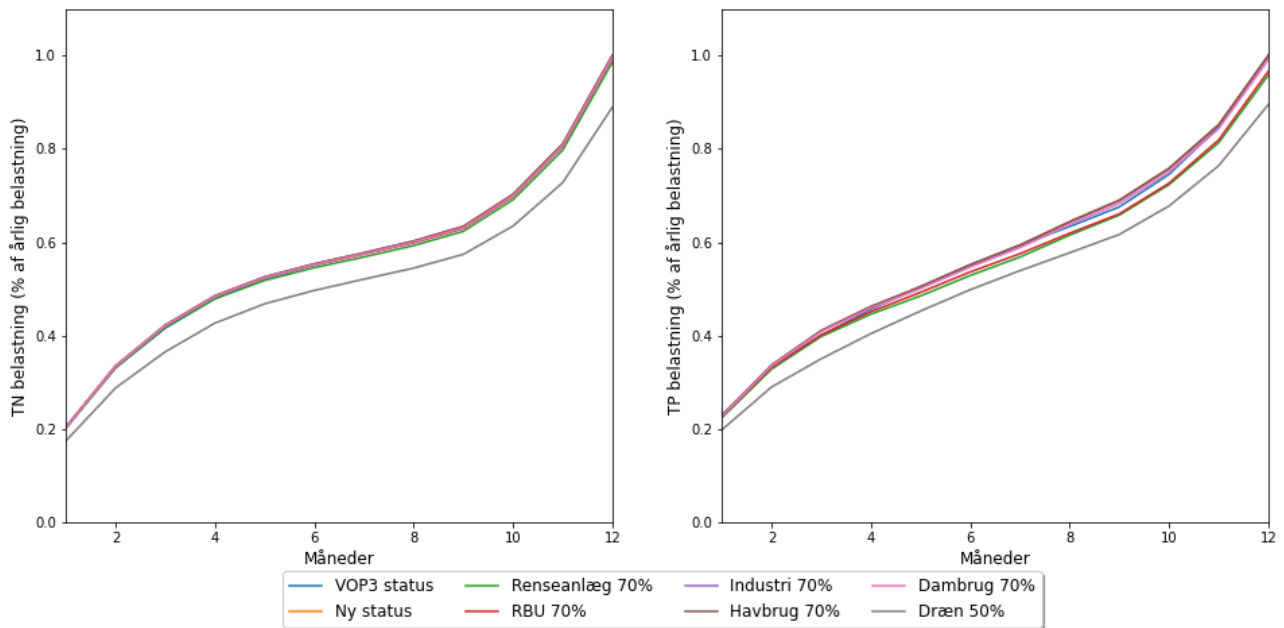
Figur A- 15 Akkumuleret relativ årsbelastning for vandområde 120: Knudedyb.

Vandområde 121



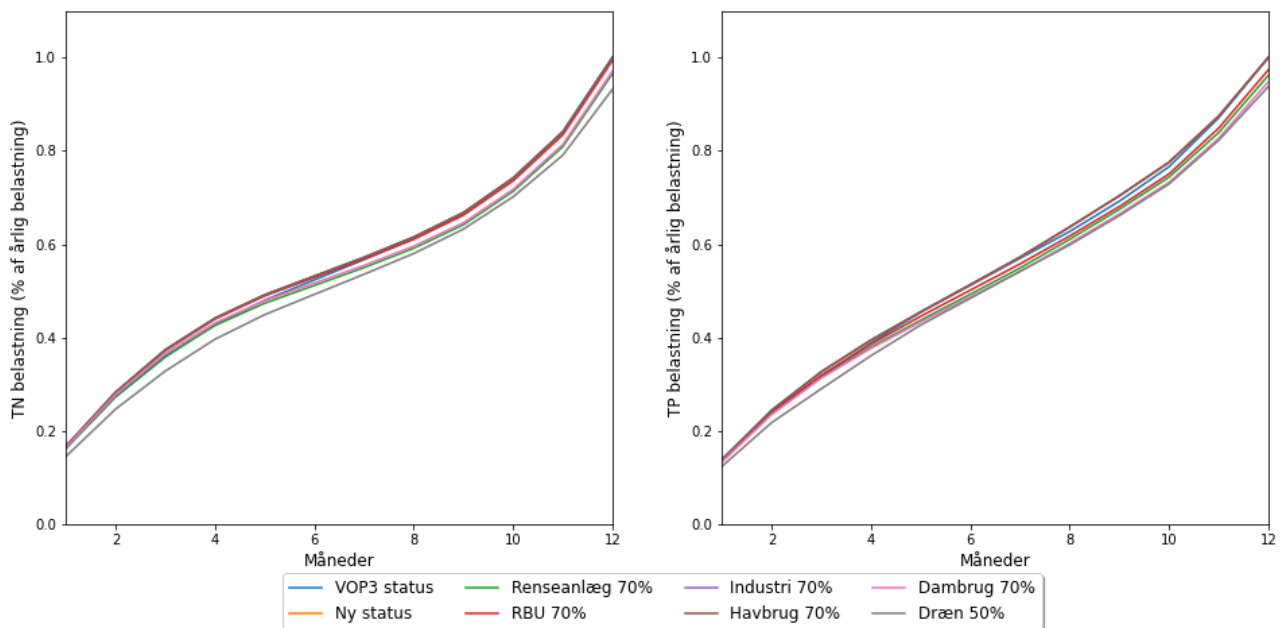
Figur A- 16 Akkumuleret relativ årsbelastning for vandområde 121: Grådyb.

Vandområde 122



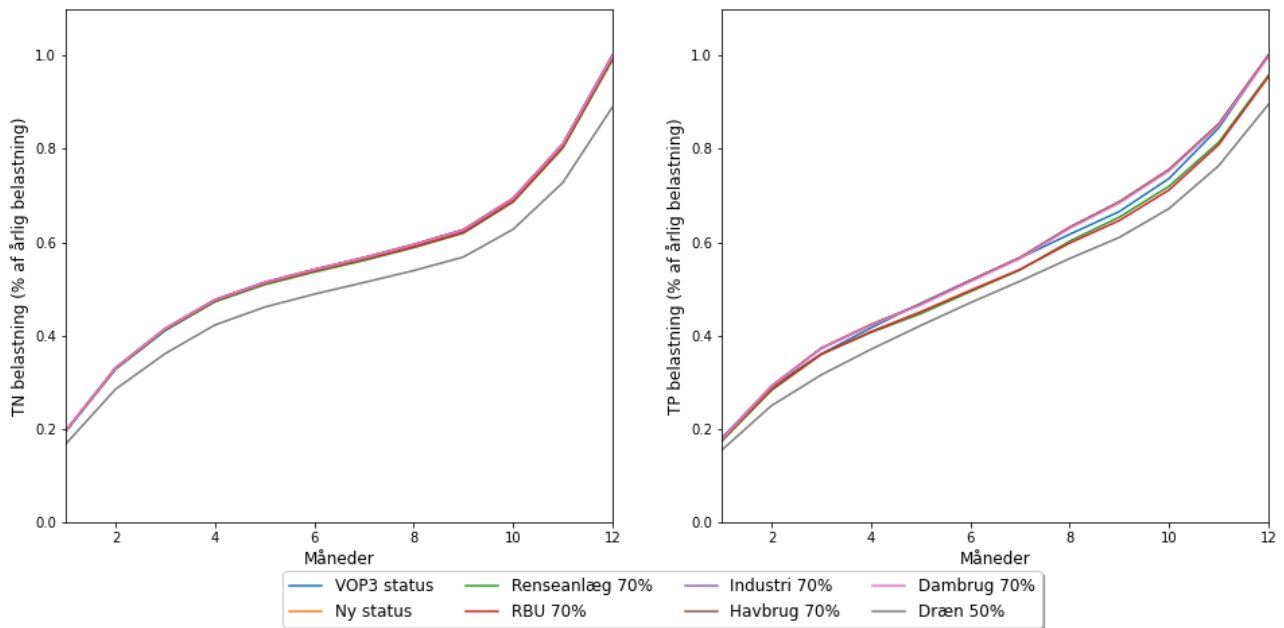
Figur A- 17 Akkumuleret relativ årsbelastning for vandområde 122: Vejle Fjord, ydre.

Vandområde 123



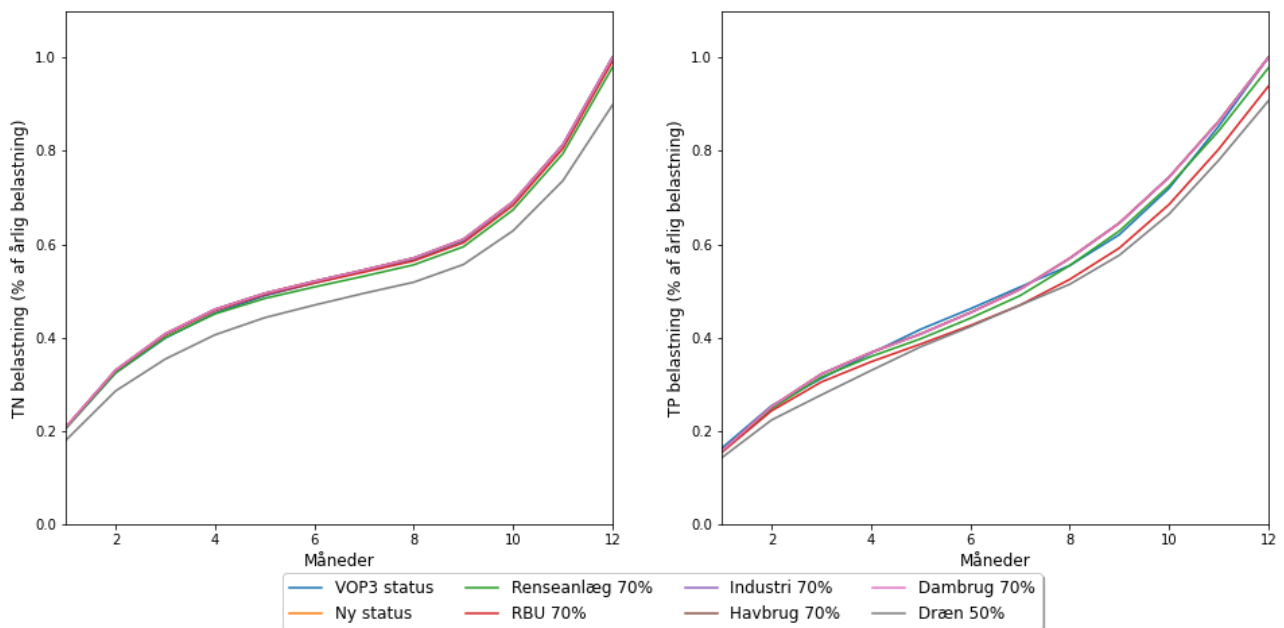
Figur A- 18 Akkumuleret relativ årsbelastning for vandområde 123: Vejle Fjord, indre.

Vandområde 124



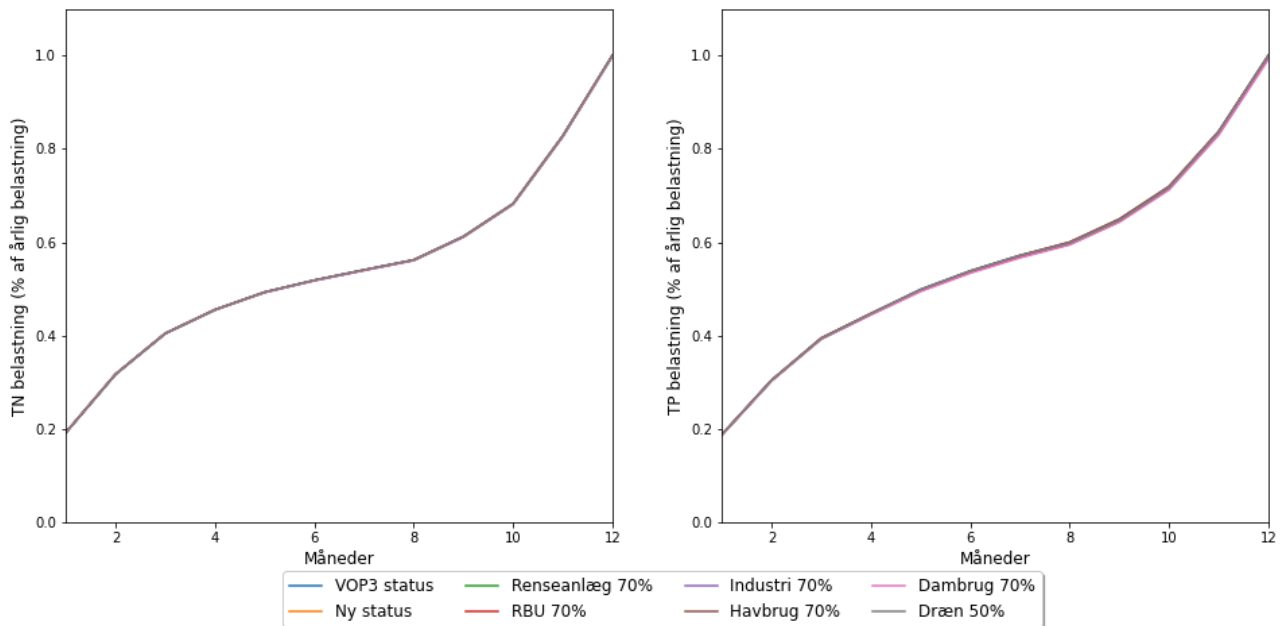
Figur A- 19 Akkumuleret relativ årsbelastning for vandområde 124: Kolding Fjord, indre.

Vandområde 128



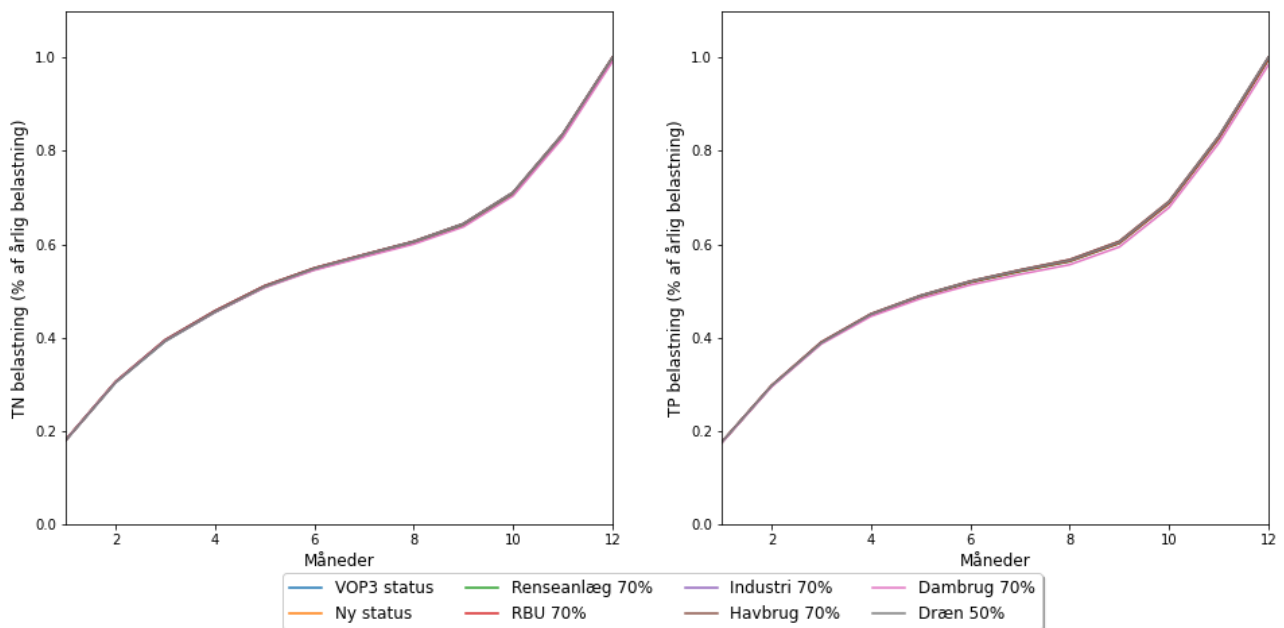
Figur A- 20 Akkumuleret relativ årsbelastning for vandområde 128: Horsens Fjord, indre.

Vandområde 129



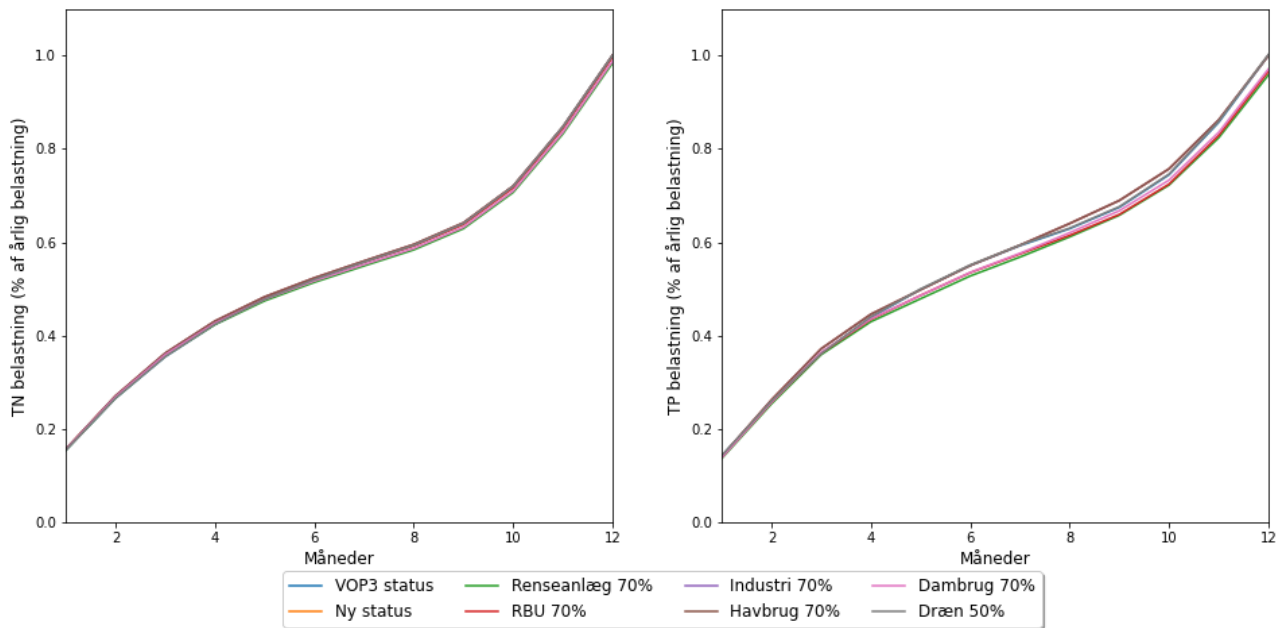
Figur A- 21 Akkumuleret relativ årsbelastning for vandområde 129: Nissum Fjord, ydre.

Vandområde 130



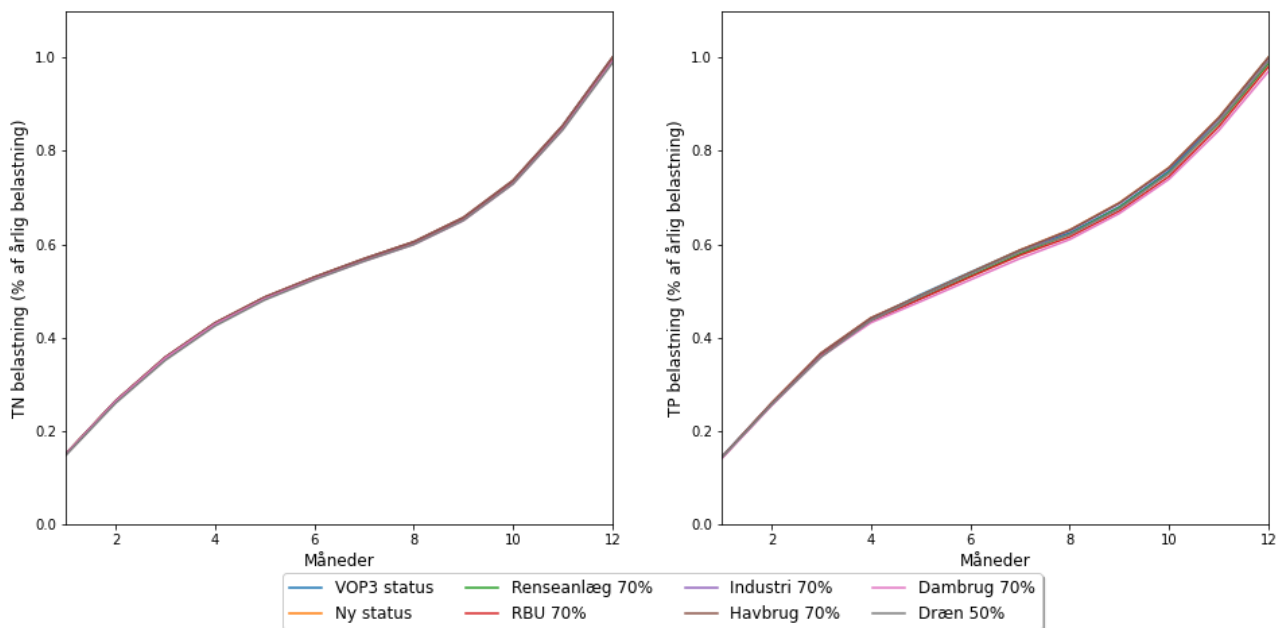
Figur A- 22 Akkumuleret relativ årsbelastning for vandområde 130: Nissum Fjord, mellem.

Vandområde 131



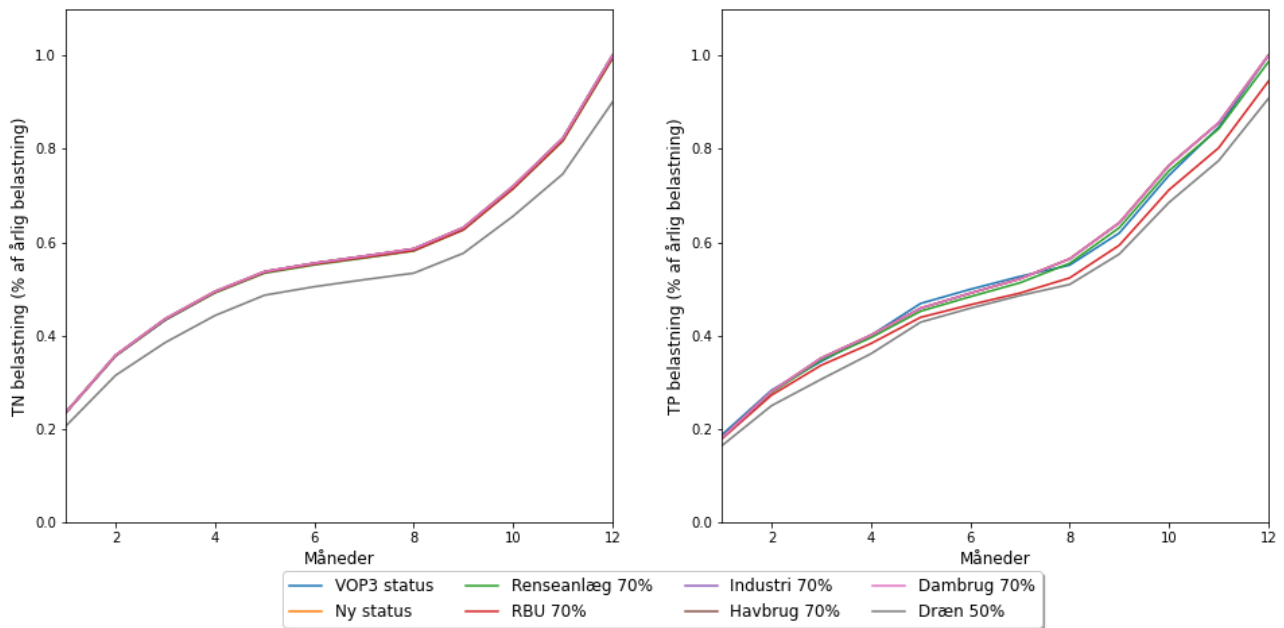
Figur A- 23 Akkumuleret relativ årsbelastning for vandområde 131: Nissum Fjord, Fjelsted Kog.

Vandområde 132



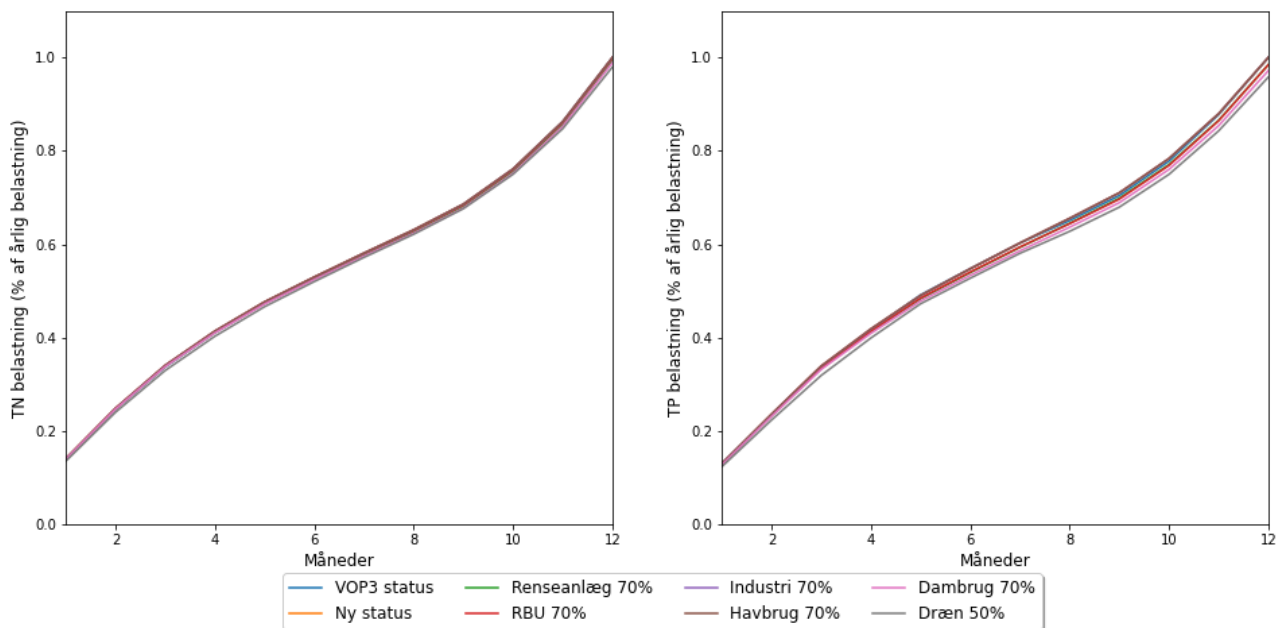
Figur A- 24 Akkumuleret relativ årsbelastning for vandområde 132: Ringkøbing Fjord.

Vandområde 146



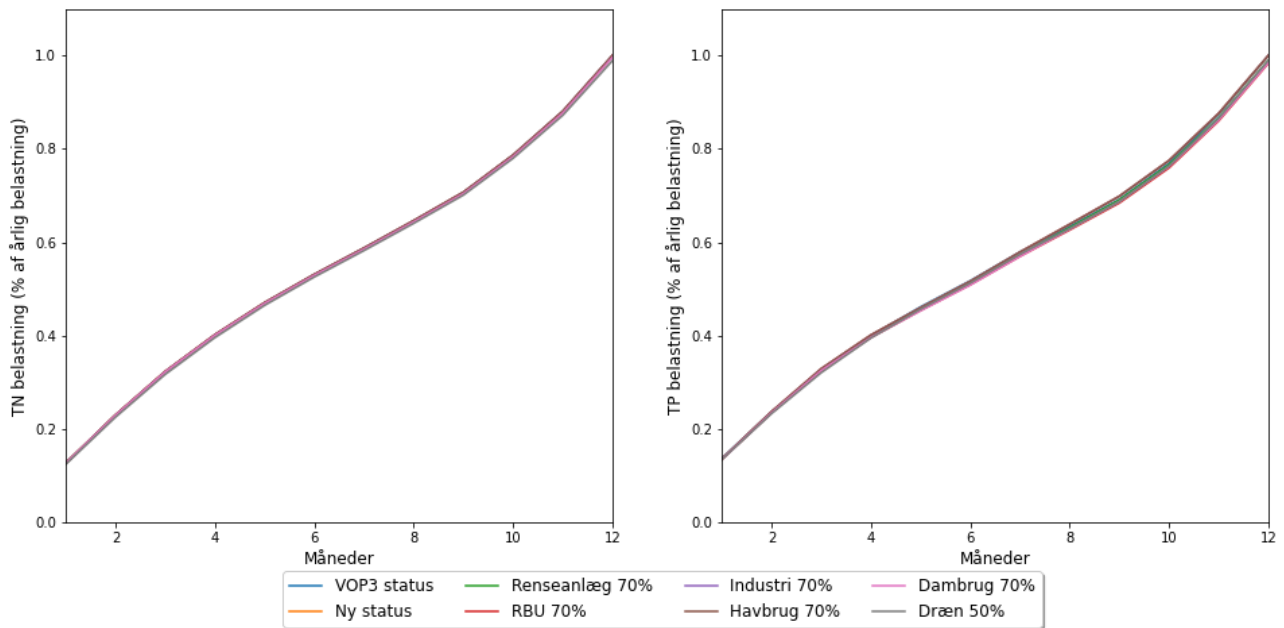
Figur A- 25 Akkumuleret relativ årsbelastning for vandområde 146: Norsminde Fjord.

Vandområde 157



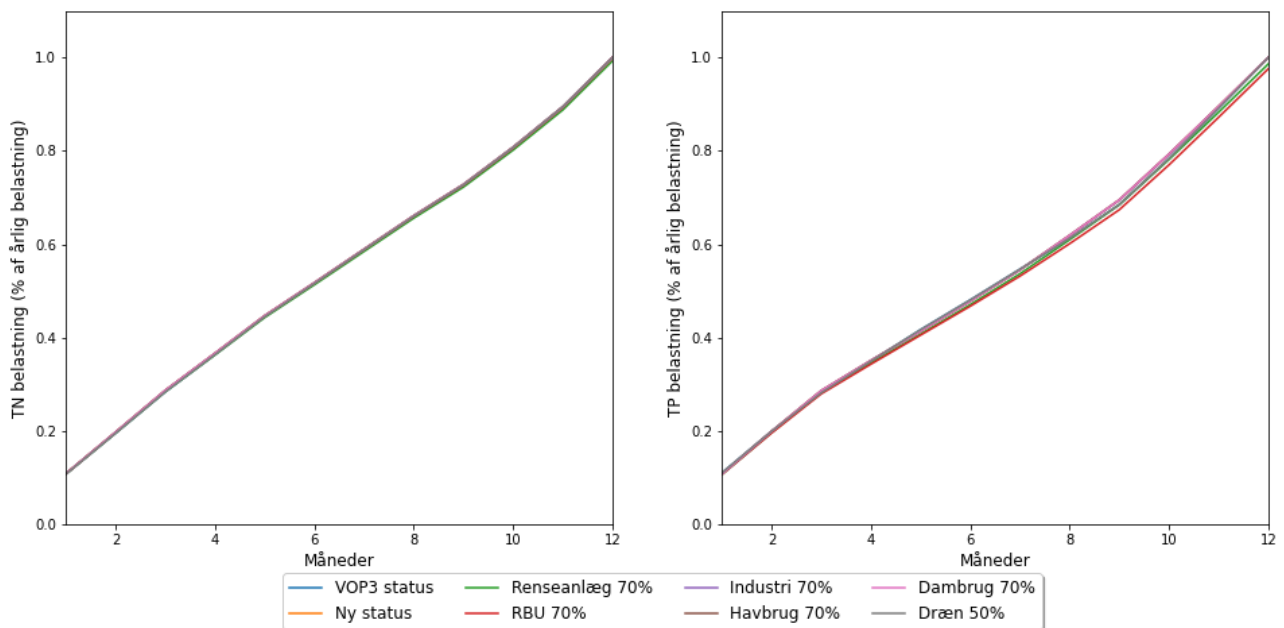
Figur A- 26 Akkumuleret relativ årsbelastning for vandområde 157: Bjørnholms Bugt, Riisgaarde Bredning, Skive Fjord og Lovns Bredning.

Vandområde 158



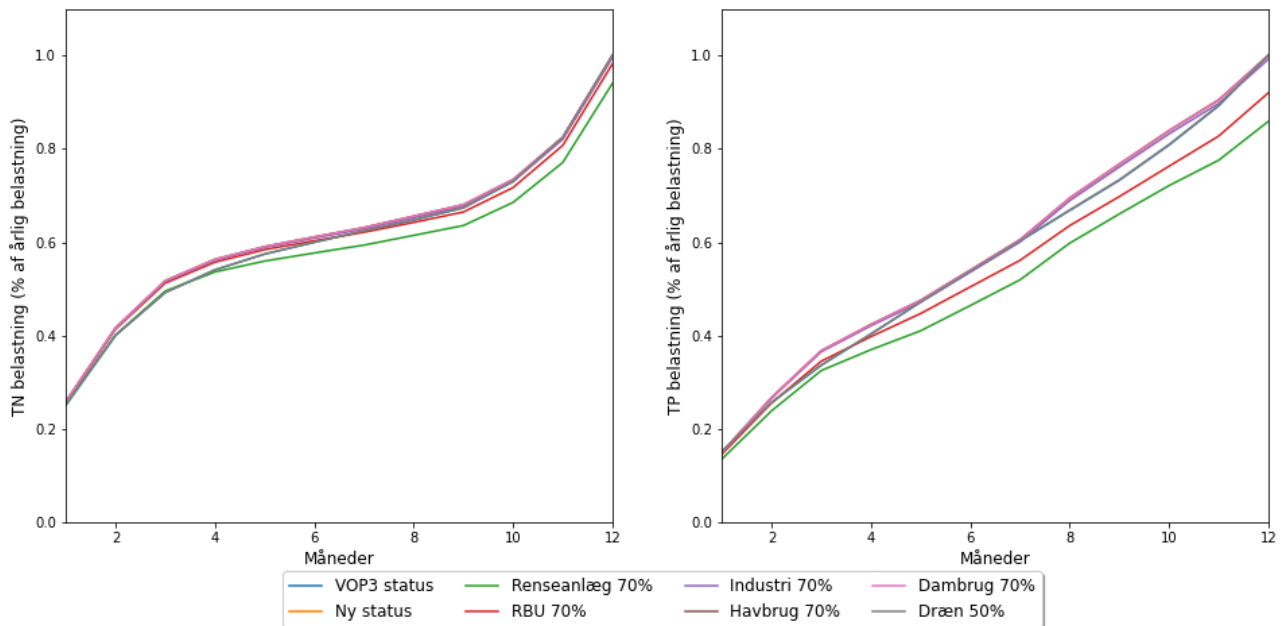
Figur A- 27 Akkumuleret relativ årsbelastning for vandområde 158: Hjarbæk Fjord.

Vandområde 159



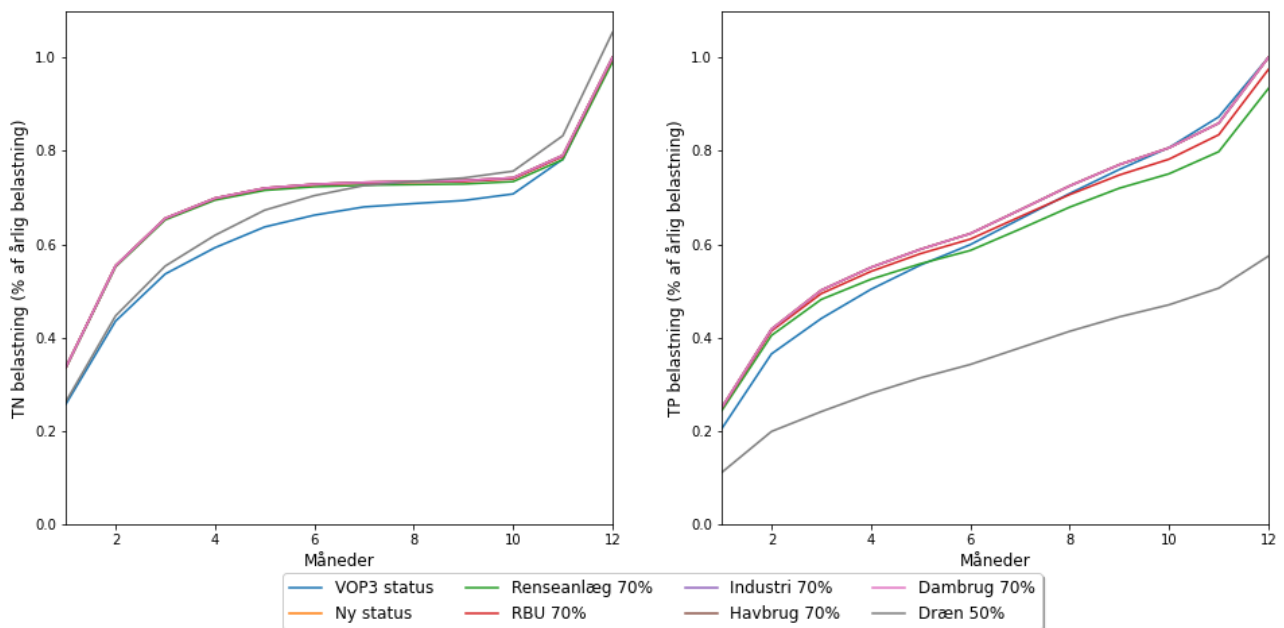
Figur A- 28 Akkumuleret relativ årsbelastning for vandområde 159: Mariager Fjord, indre.

Vandområde 201



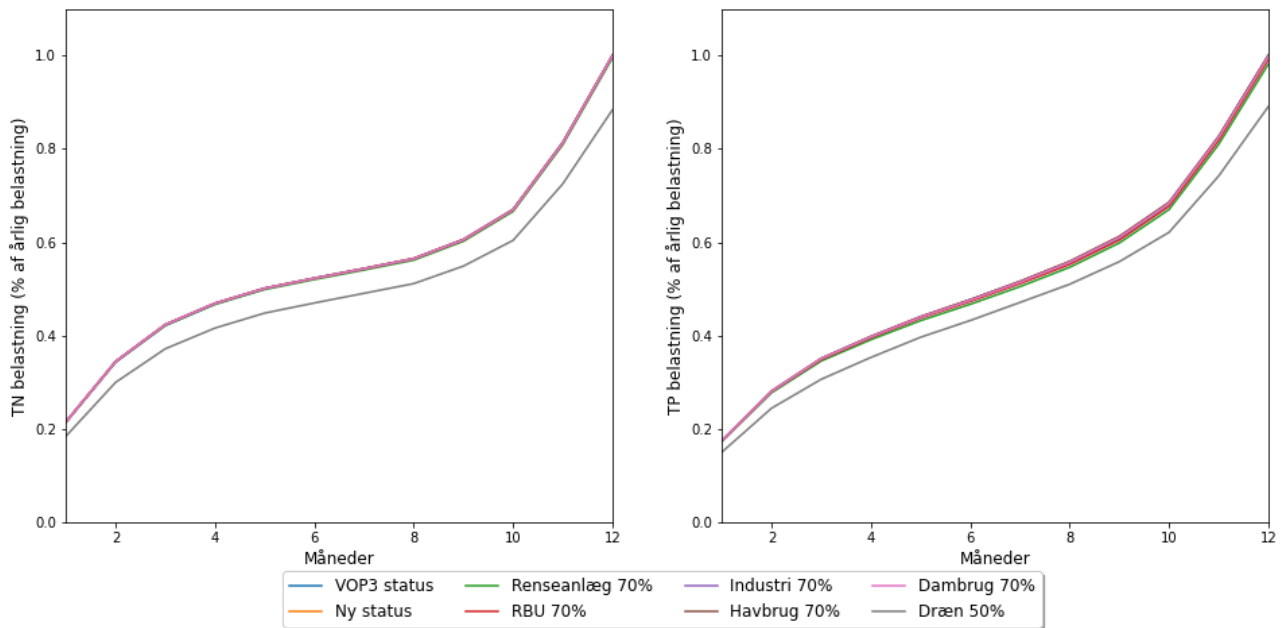
Figur A- 29 Akkumuleret relativ årsbelastning for vandområde 201: Køge Bugt.

Vandområde 207



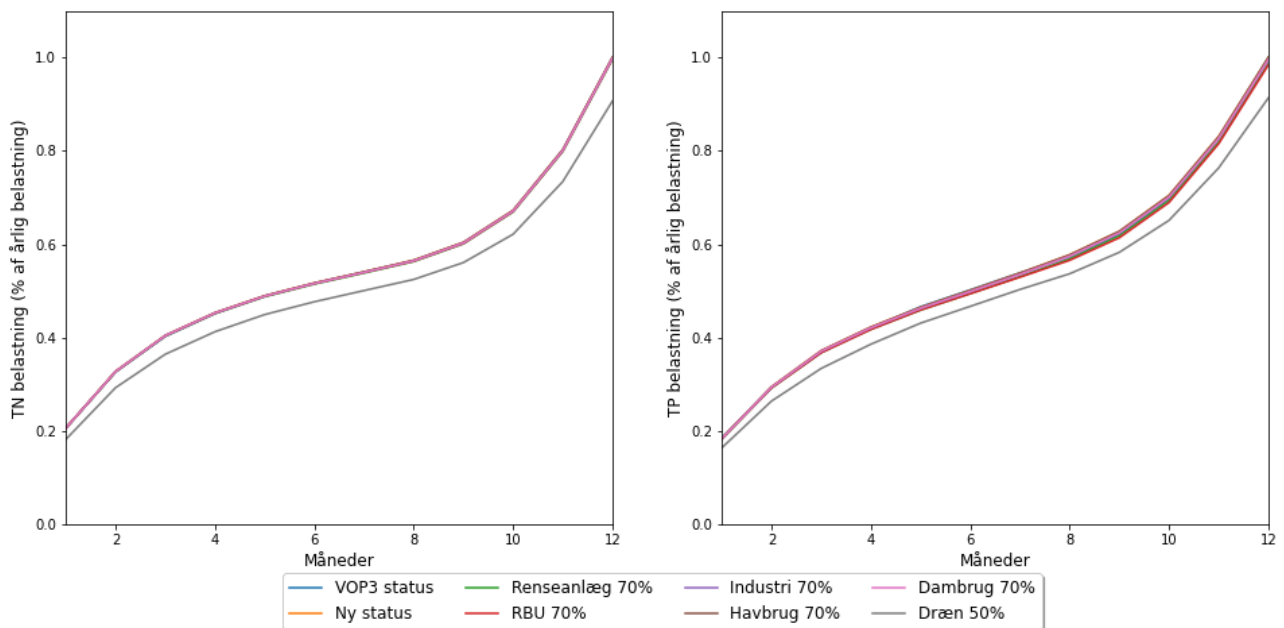
Figur A- 30 Akkumuleret relativ årsbelastning for vandområde 207: Nakskov Fjord.

Vandområde 232



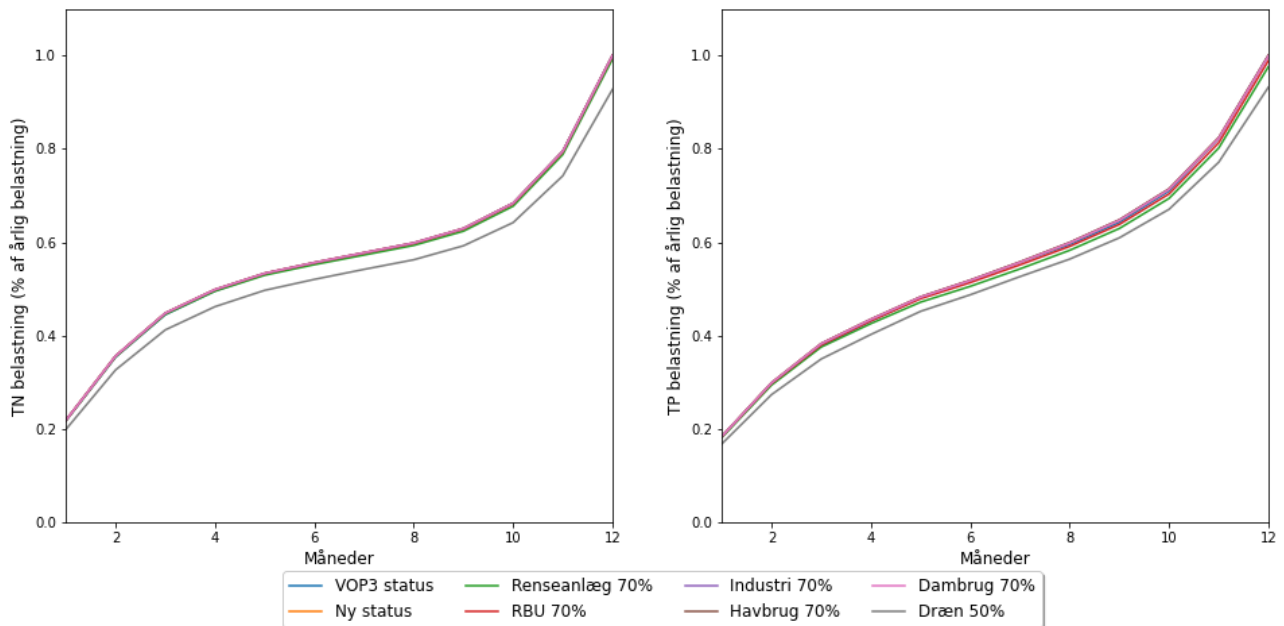
Figur A- 31 Akkumuleret relativ årsbelastning for vandområde 232: Nissum Bredning.

Vandområde 233



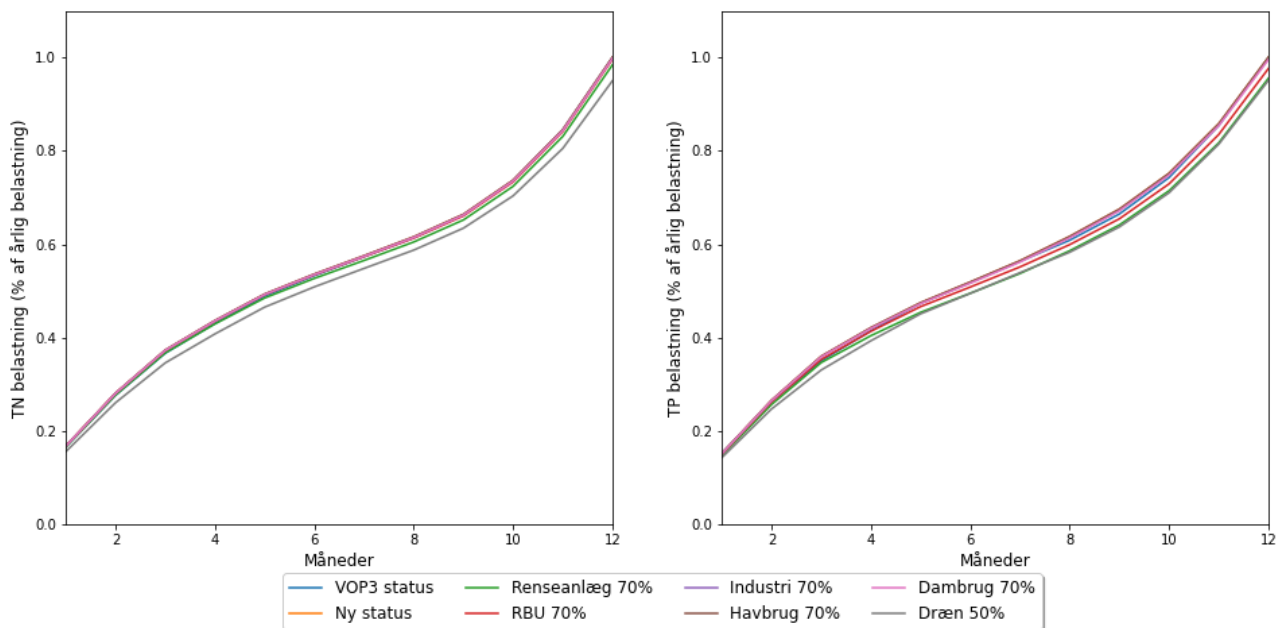
Figur A- 32 Akkumuleret relativ årsbelastning for vandområde 233: Kås Bredning og Venø Bugt.

Vandområde 234



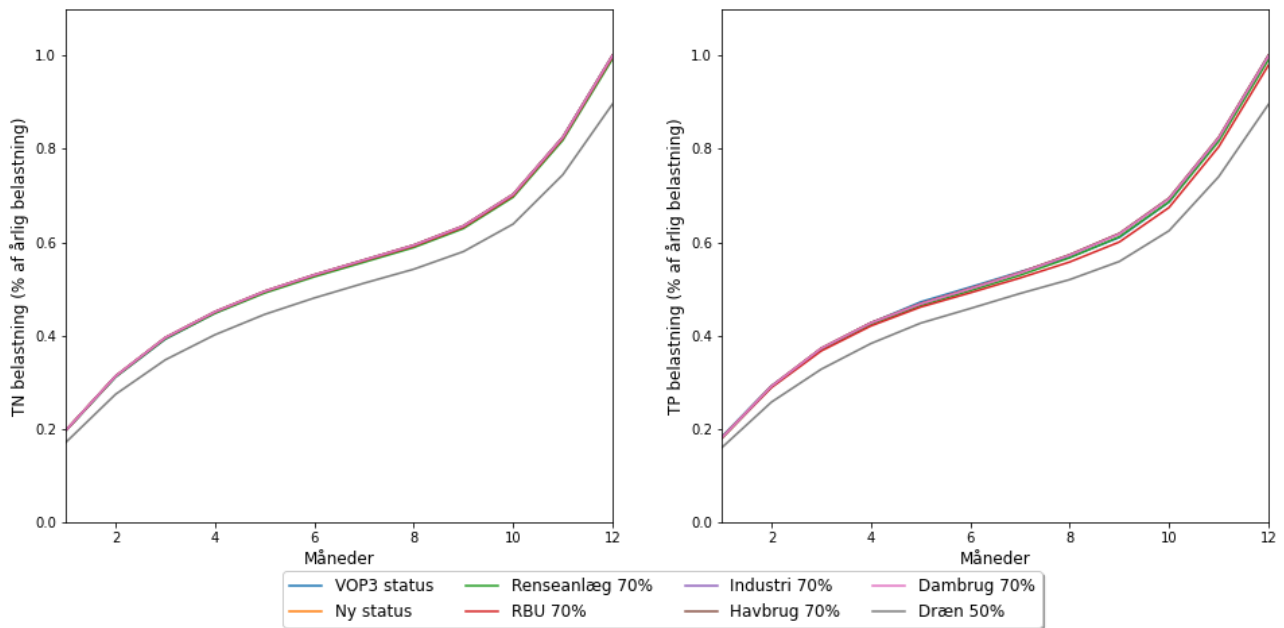
Figur A- 33 Akkumuleret relativ årsbelastning for vandområde 234: Løgstør Bredning.

Vandområde 235



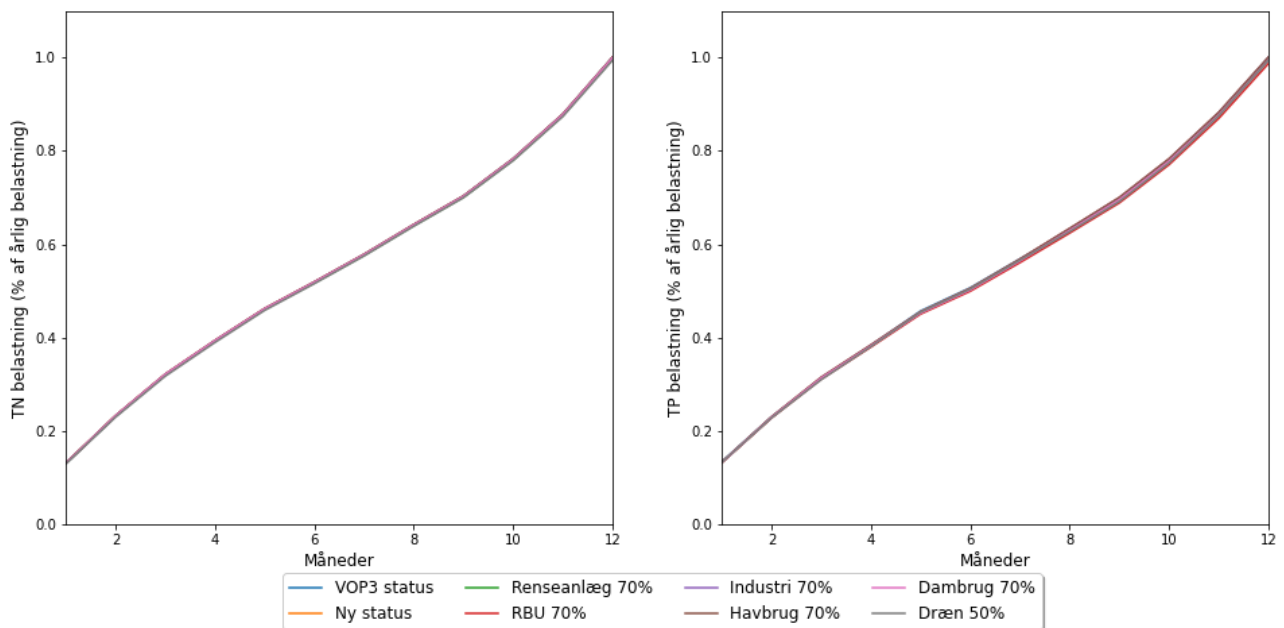
Figur A- 34 Akkumuleret relativ årsbelastning for vandområde 235: Nibe Bredning og Langerak.

Vandområde 236



Figur A- 35 Akkumuleret relativ årsbelastning for vandområde 236: Thisted Bredning.

Vandområde 238



Figur A- 36 Akkumuleret relativ årsbelastning for vandområde 238: Halkær Bredning.