

Status og presfaktorer for vandområde Hjarbæk Fjord og Bjørnholms Bugt, Riisgårde Bredning, Skive Fjord og Lovns Bredning i Limfjorden

Anders Erichsen¹ og Karen Timmermann²

¹ DHI A/S

² DTU Aqua

Kolofon

Titel:	Status og presfaktorer for vandområde Hjarbæk Fjord og Bjørnholms Bugt, Riisgårde Bredning, Skive Fjord og Lovns Bredning i Limfjorden
Forfattere:	Anders Erichsen og Karen Timmermann
År:	2023
Reference:	Erichsen & Timmermann (2023) Status og presfaktorer for vandområde Hjarbæk Fjord og Bjørnholms Bugt, Riisgårde Bredning, Skive Fjord og Lovns Bredning i Limfjorden. Institut for Akvatiske Ressourcer, Danmarks Tekniske Universitet. 26 pp.
Udgivet af:	DTU, Institut for Akvatiske Ressourcer
Download:	www.aqua.dtu.dk/publikationer

DTU Aqua-rapporter er afrapportering fra forskningsprojekter, oversigtsrapporter over faglige emner, redegørelser til myndigheder o.l. Med mindre det fremgår af kolofonen, er rapporterne ikke fagfællebedømt (peer reviewed), hvilket betyder, at indholdet ikke er gennemgået af forskere uden for projektgruppen.

Indhold

1.	Miljøtilstand: status og mål.....	4
2.	Næringsstoffer.....	5
2.1	Massebudget	5
2.2	Diffuse næringsstofftilførsler henholdsvis punktkildebidrag.....	13
2.3	Sammenhæng mellem næringsstof tilførsler og miljøtilstand	15
2.4	Fosforfølsomhed: N og P "vekselkurs"	19
2.5	Andre landes betydning for målbelastning	20
3.	Andre presfaktorer end næringsstoffer	21
3.1	Muslingskrab, graveaktivitet og kløpning.....	22
3.2	Manglende (hårdt) substrat	23
3.3	Virkesund dæmningen	23
4.	Opsummering.....	24
5.	Referencer	25

1. Miljøtilstand: status og mål

Danske kystvande er underlagt Vandrammedirektivets krav om opnåelse af "god økologisk tilstand" og skal tilstandsvurderes i forhold til de biologiske kvalitetselementer og kriterier fastsat i vandrammedirektivet. Miljøtilstanden for danske kystvande vurderes ud fra indikatorerne "Sommer klorofyl", "Ålegræssets dybdegrænse" og "Sammensætning af bunddyr". Derudover indgår støtte-indikatoren "lysets dybdegrænse". For hver af disse indikatorer findes referenceværdier, som repræsenterer en næsten upåvirket tilstand, miljømål, som fastlægges af grænsen mellem god og moderat tilstand, samt indikatorens nuværende værdi (status værdi). I tabel 1.1 ses referenceværdi, miljømål og statusværdi for indikatorerne i vandområderne Hjarbæk Fjord (vandområde 158) og Bjørnholms Bugt, Riisgårde Bredning, Skive Fjord og Lovns Bredning (BRSL Bredning, vandområde 157).

Til vurdering af hvordan man kommer fra den nuværende tilstand til "god økologisk tilstand" er der for indikatorerne "sommer klorofyl" og "lysets dybdegrænse" beregnet en nødvendig næringsstofreduktion. Man kan sige, at indikatorernes afstand fra den nuværende tilstand til god-moderat grænsen er blevet omsat til et næringsstof reduktionsbehov og en målbelastning, som angiver den næringsstofbelastning, der netop understøtter opnåelse af god økologisk tilstand. Af tabellen ses den nuværende næringsstofftilførsel og målbelastning for N. Målbelastningen for N er beregnet under antagelse om at andre lande reducerer deres næringsstoffudledninger iht internationale forpligtigelser og at fosfor fra dansk opland reduceres med 10% ift. P udledninger i perioden 2014-2018.

Tabel 1.1: Oversigt over statusværdi, miljømålværdi og referenceværdi for indikatorerne "Sommer klorofyl", "Ålegræssets dybdegrænse", "Sammensætning af bunddyr" samt støtteindikatoren "Lys på havbunden" for vandområde 157. Derudover er status for N og P tilførsler angivet sammen med referencetilførsler og målbelastning. Statusværdier er beregnet som gennemsnit for perioden 2014-2018. Beregning af miljømål og referenceværdier fremgår af Timmermann et al., 2020 og 2021 samt Erichsen et al., 2021. Bemærk at oplandet til vandområde 157 inkluderer opland til vandområde 158.

Bjørnholms Bugt, Riisgårde Bredning, Skive Fjord og Lovns Bredning (vandområde 157)				
Indikator	Enhed	Status	Miljømål	Reference
Sommer klorofyl	[µg/L]	14.9	2.7	1.8
Ålegræssets dybdegrænse	[m]	1.8	4.1	5.5
Bunddyr sammensætning	[no unit]	0.42	0.68	1.0
Lysets dybdegrænse	[m]	2.3	4.1	5.5
Næringsstofftilførsel	[tons/år]	N load: 3632	N load: 1413	N load: 850
	[tons/år]	P load: 101	P load: 90	P load: 63

Tabel 1.2: Oversigt over statusværdi, miljømålsværdi og referenceværdi for indikatorerne "Sommer klorofyl", "Ålegræssets dybdegrænse", "Sammensætning af bunddyr" samt støtteindikatoren "Lys på havbunden" for vandområde 158. Derudover er status for N og P tilførsler angivet sammen med referencetilførsler og målbelastning. Statusværdier er beregnet som gennemsnit for perioden 2014-2018. Beregning af miljømål og referenceværdier fremgår af Timmermann et al., 2020 og 2021 samt Erichsen et al., 2021.

Hjarbæk Fjord (vandområde 158)				
Indikator	Enhed	Status	Miljømål	Reference
Sommer klorofyl	[µg/L]	36.1	7.5	4.8
Ålegræs	[m]	1.2	4.1	5.5
Bunddyr sammensætning	[no unit]	Ukendt	0.68	1.0
Lysets dybdegrænse	[m]	1.4	4.1	5.5
Næringsstofftilførsel	[tons/år]	N load: 1795	N load: 612	N load:380
	[tons/år]	P Load: 44	P Load: 40	P Load: 30

2. Næringsstoffer

2.1 Massebudget

Næringsstof massebudgetter for henholdsvis Hjarbæk Fjord (vandområde 158) og Bjørnholms Bugt, Riisgårde Bredning, Skive Fjord og Lovns Bredning (BRSL Bredning, vandområde 157) er vist i Figur 2.1.1.-2.1.4 Massebudgetterne er udtrykt for den mekanistiske biogeokemiske model, som er udviklet og anvendt som del af metodeudviklingen under Vandområdeplanerne 2021-2027 (Erichsen & Birkeland, 2019 og Erichsen & Birkeland, 2020).

Som det fremgår af Figur 2.1.1 tilføres i gennemsnit 1751 tons N til Hjarbæk Fjord (gennemsnit for perioden 2012-2016)¹, hvoraf de 1721 tons N kommer med ferskvandskilder fra oplandet til fjorden, mens 30 tons N kommer fra atmosfæren til fjorden². Ud af de 1751 tons N transporteres (nettotransport) 1158 tons N videre fra Hjarbæk Fjord til BRSL Bredning, mens 491 tons N tabes igennem denitrificering i vandsøjlen (30 tons N) eller begravelse/denitrifikation i sedimentet (461 tons N). De resterende tons N (102 tons N) indgår i ændringer i de stående biomasser mellem årene i vandfasen, den bentiske biomasse og sedimentpuljer.

¹ I vandområdeplanerne 2021-2027 (Bilag 1) benyttes perioden 2014-2018, hvorfor der kan være forskelle mellem værdierne i Figur 2.1.1 og i Bilag 1.

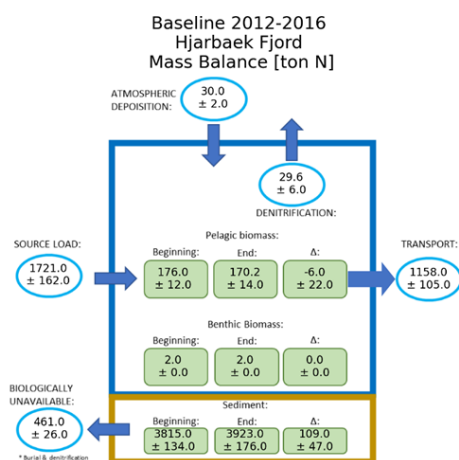
² En del af bidraget fra ferskvandskilderne kommer også fra den atmosfæriske deposition i oplandet, men den andel er ikke adresseret separat.

På tilsvarende vis kan N budgettet for BRSL Bredning opgøres (Figur 2.1.3): Her tilføres 1717 tons N direkte til bredningerne fra ferskvandskilder, mens der tilføres 283 tons N direkte fra atmosfæren, dvs samlet set 2000 tons N. Denitrifikationen i vandfasen i Bredningerne udgør godt 10 tons N, mens det der begravnes/denitrificeres i sedimentet udgør 1637 tons N.

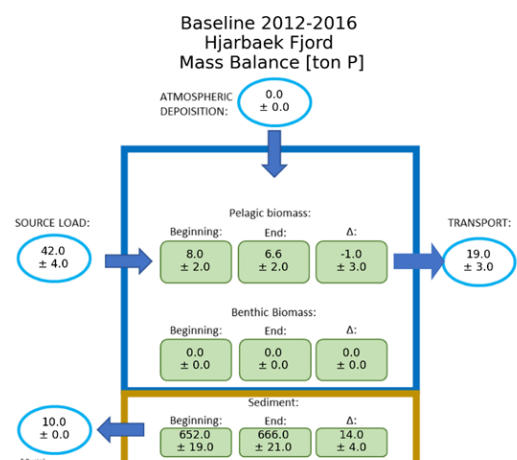
Den samlede nettotransport fra Hjarbæk Fjord og Løgstør Bredning til BRSL Bredning er beregnet til -258 tons N (fig 2.1.3). Nettotransporten inkluderer et transportbidrag fra Hjarbæk Fjord til BRSL Bredning på 1158 tons N (se Figur 2.1.1) og et transportbidrag fra BRSL Bredning til Løgstør Bredning er på 1416 tons N.

P tilførslen fra land til Hjarbæk Fjord via ferskvandskilder er på 42 tons P, hvoraf 10 tons P i gennemsnit pr år begravnes permanent i dybere sedimentlag, dvs de "forsvinder" fra systemet, mens nettotransporten ud af Hjarbæk Fjord er på 19 tons P (figur 2.1.2). De resterende tons P indgår i stående biomasse puljer i vandfasen (-1 tons P), den bentiske biomasse (0 tons P) og som tilgængelig pulje i sedimentet (14 tons P).

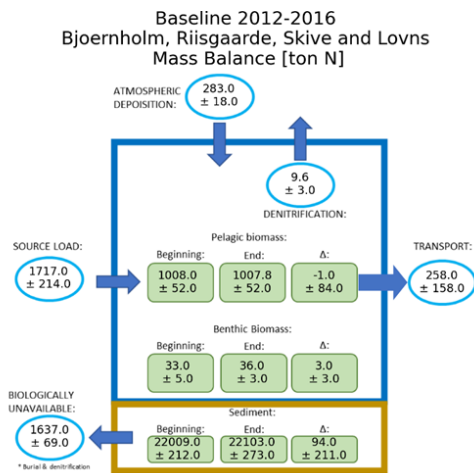
For BRSL Bredning tilføres 55 tons P med ferskvand til vandområdet, foruden de 19 tons, der i netto transporteres fra Hjarbæk Fjord til BRSL Bredning (Figur 2.1.4). Der begravnes samlet set 64 tons P i gennemsnit pr år, mens der samlet set er en netto flux af P til BRSL Bredning, hvoraf de 19 tons kommer fra Hjarbæk Fjord, hvorfor der må være en nettoflux af P fra Løgstør Bredning til BRSL Bredning også.



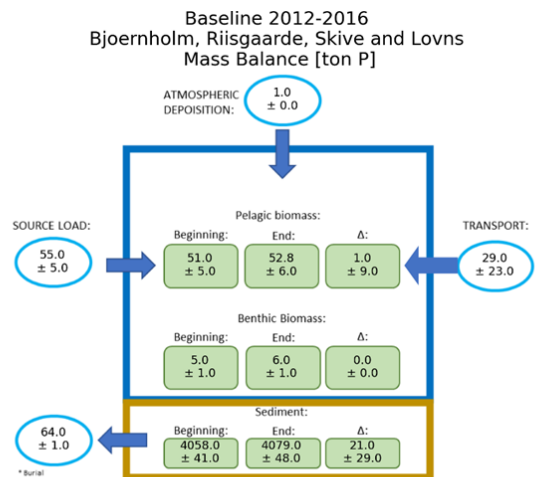
Figur 2.1.1 Massebudget for N i Hjarbæk Fjord (gennemsnit for perioden 2012-2016, inkl. Én standardafvigelse)



Figur 2.1.2 Massebudget for P i Hjarbæk Fjord (gennemsnit for perioden 2012-2016, inkl. Én standardafvigelse)



Figur 2.1.3 Massebudget for N i BRSL Bredning (gennemsnit for perioden 2012-2016, inkl. Én standardafvigelse)



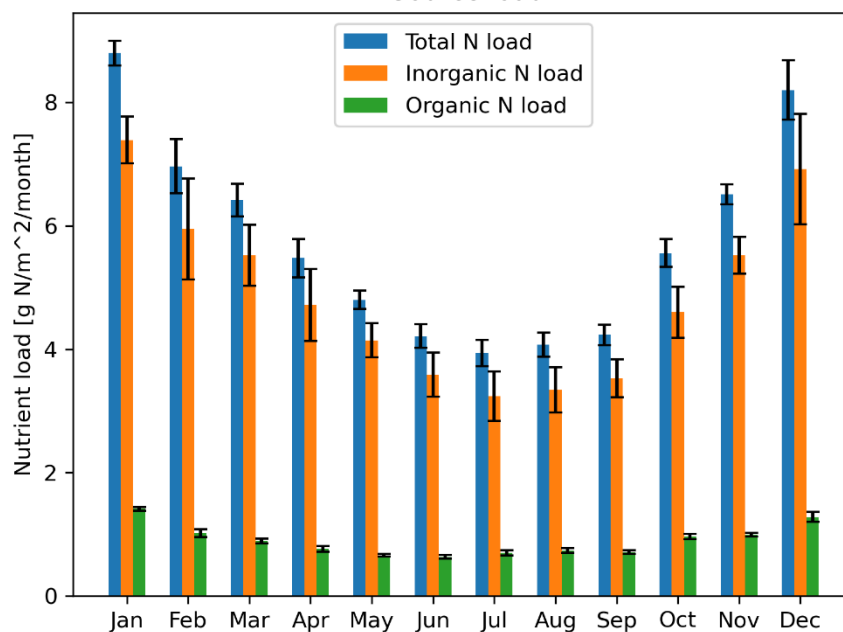
Figur 2.1.4 Massebudget for P i BRSL Bredning (gennemsnit for perioden 2012-2016, inkl. Én standardafvigelse)

Intern tilførsel versus ekstern tilførsel

Som det fremgår i ovenstående afsnit, modtager både Hjarbæk Fjord og BRSL Bredning næringsstoffer fra især oplandet til de to vandområder, 1721 tons N henholdsvis 1717 tons N og 42 tons P henholdsvis 55 tons P (Figur 2.1.1-2.1.4). I Figur 2.1.5 og Figur 2.1.6 er tilførslerne til de to vandområder opgjort som den arealspecifikke tilførsel (vandområdeareal) over året, og fordelt på en organisk (partikulært organisk materiale og opløst organisk materiale) og en uorganisk fraktion (DIN henholdsvis DIP).

Hovedparten af tilførslerne kommer i efterår og vinter (fx er tilførslerne i januar/december mere end dobbelt så høje som tilførslerne i juni til september), og størstedelen af N og P tilførslerne transporteres til vandområderne som DIN henholdsvis DIP.

Baseline 2012-2016
Hjarbæk Fjord
Source load



Baseline 2012-2016
Hjarbæk Fjord
Source load

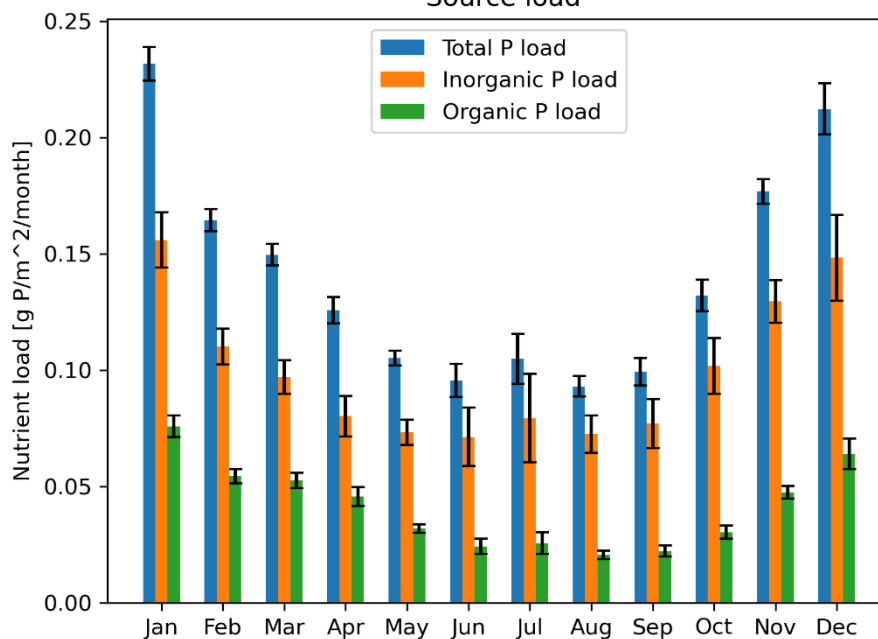
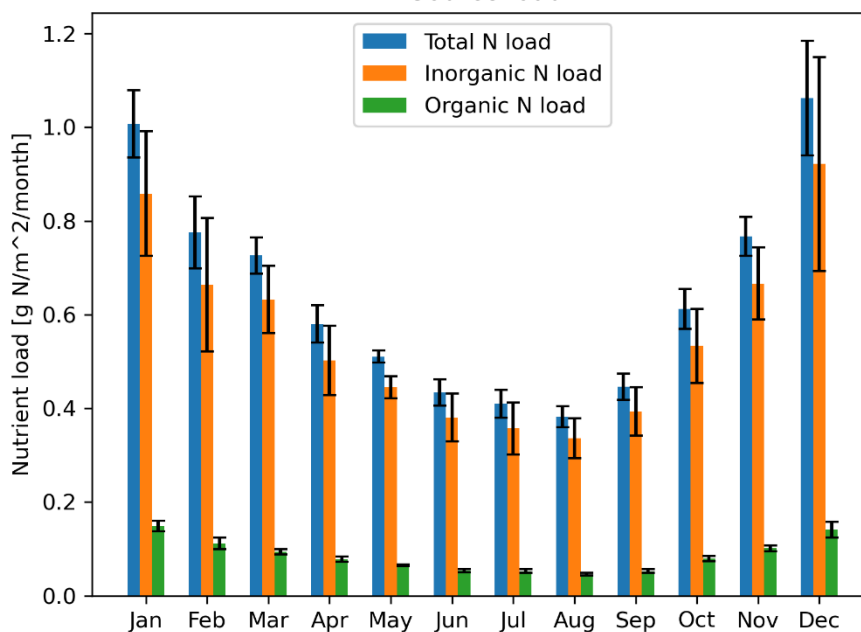
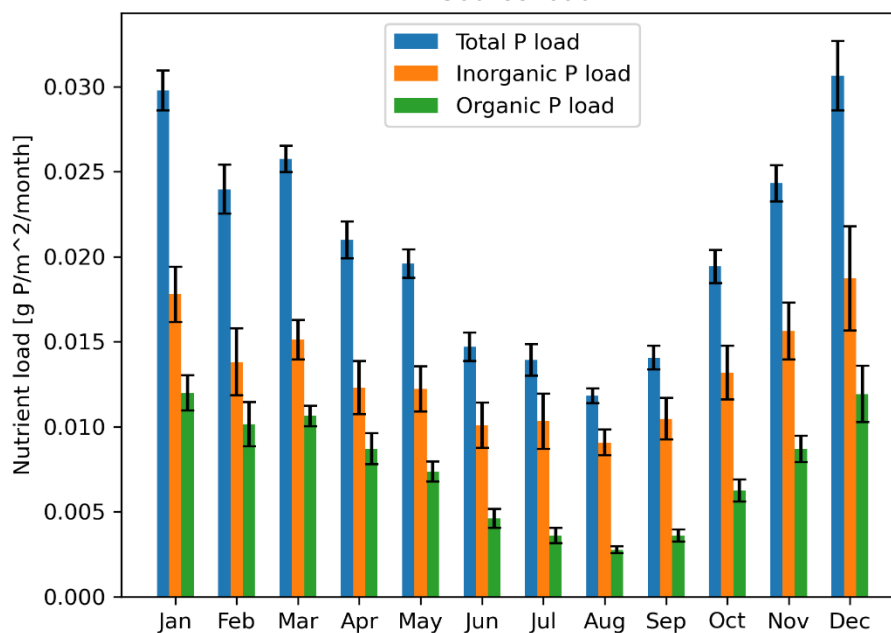


Figure 2.1.5 Gennemsnitlige tilførsler fra lokaloiland af N (øverst) og P (nederst) til Hjarbæk Fjord for perioden 2012-2016 fordelt over året, inkl. ± én standardafvigelse. Tilførslerne er opgjort som den arealspecifikke tilførsel (vandområdeareal) og opgjort som total tilførsel og fordelt på organisk og uorganisk fraktion.

Baseline 2012-2016
Bjoernholm, Riisgaarde, Skive and Lovns
Source load



Baseline 2012-2016
Bjoernholm, Riisgaarde, Skive and Lovns
Source load



Figur 2.1.6 Gennemsnitlige tilførsler fra lokalopland af N (øverst) og P (nederst) til BRSL Bredning for perioden 2012-2016 fordelt over året, inkl. ± én standardafvigelse. Tilførslerne er opgjort som den arealspecifikke tilførsel (vandområdeareal) og opgjort som total tilførsel og fordelt på organisk og uorganisk fraktion.

I Figur 2.1.7 og Figur 2.1.8 er fluksene mellem sediment og vandfase for DIN henholdsvis DIP opgjort for begge vandområder (baseret på modelresultater). Det overordnede billede viser en fluks af DIN henholdsvis DIP ud af sedimenterne igennem det meste af året i BRSL Bredning, mens der i Hjarbæk er en fluks af DIN ned i sedimenterne i vintermånederne, og en fluks ud af sedimenterne over sommeren. For DIP er fluksen ud af sedimenterne hele året, men kraftigst i maj/juni til oktober/november.

Fluksen af organisk materiale (alger, partikulært organisk materiale og opløst organisk materiale) fra vandfasen til sedimentet er ikke vist, men da det samlede massebudget for de to vandområder (Figur 2.1.3 og Figur 2.1.4) har en samlet fluks ned i sedimentet (ændringer i biomasse og begravning/denitrifikation) kan vi konkludere, at den uorganisk fluks ud af sedimenterne modsvares af en fluks af organisk N og P som overstiger DIN og DIP fluksene ud af sedimenterne.

I Hjarbæk Fjord udgør DIN fluks fra sedimentet et betydeligt bidrag til tilførslen af uorganisk kvælstof (den mest biotilgængelige fraktion) i vandfasen i perioden fra juni til september, hvor den udgør godt 60-80% af DIN-tilførslen fra land. P-fluksen udgør et endnu større bidrag til DIP tilførslerne, hvor DIP fluks fra sedimentet er op til 10 gange større end den areal specifikke tilførsel fra land især i sommermånederne fra maj til september.

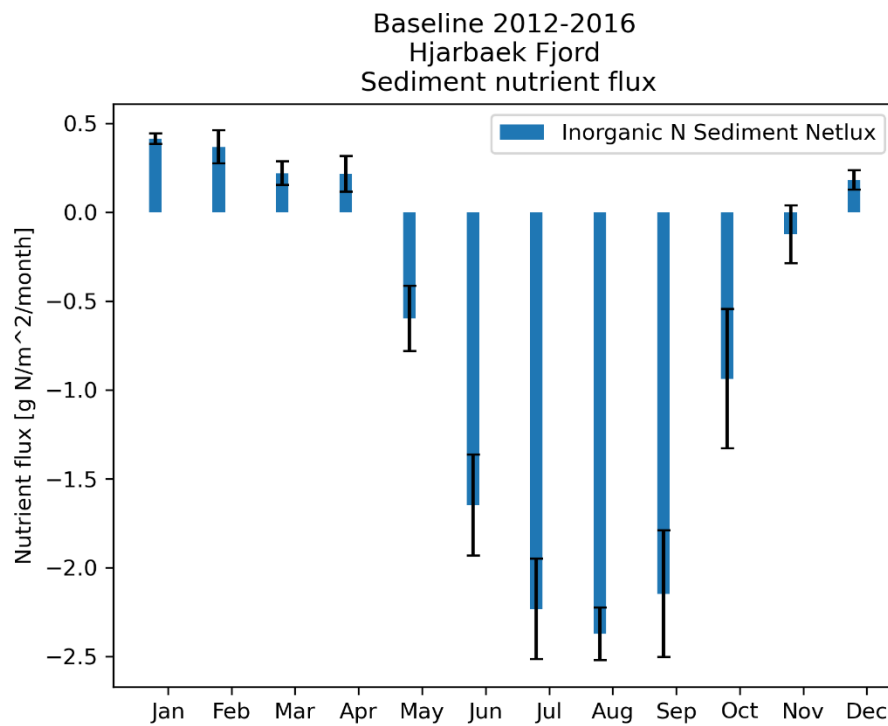
I BRSL Bredning er fluksen af DIN henholdsvis DIP størst i perioden juni til november. Sammenlignet med den arealspecifikke tilførsel fra land er DIP fluks fra sedimentet >10 gange større end DIP tilførslen fra land i sommermånederne (især juni og juli) mens DIN fluks fra sedimentet er omkring 1-2 gange større sammenligneligt med den arealspecifikke DIN tilførsel med ferskvandskilderne i samme periode.

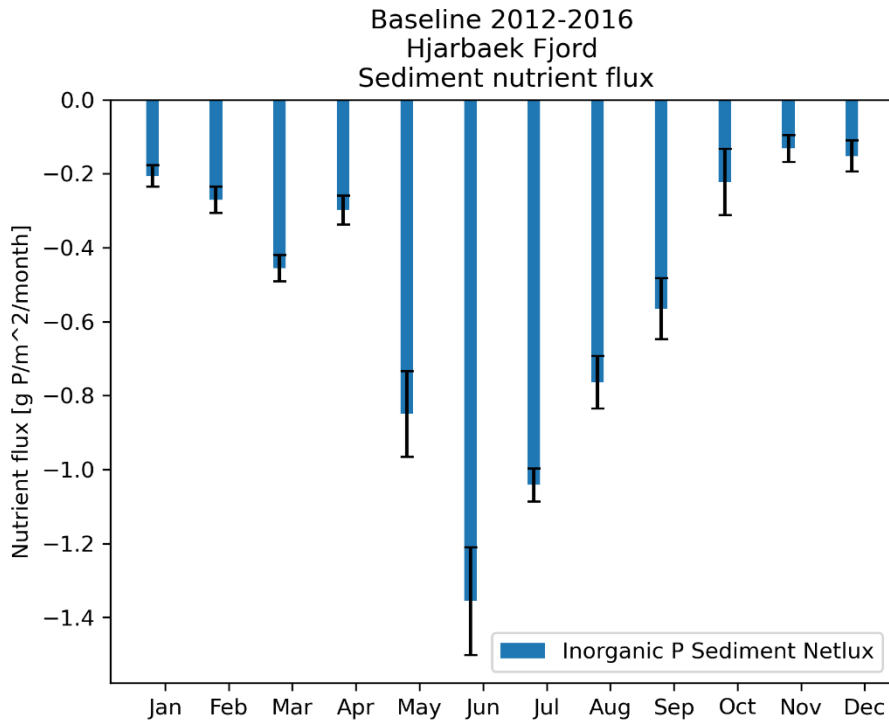
Den interne tilførsel af DIN henholdsvis DIP er dermed en betydende faktor for tilførslen af uorganiske næringsstoffer til vandfasen sammenlignet med den arealspecifikke tilførsel fra land i juni til september/november, men fluksen af DIN (både fra land og sediment) fremgår ikke tydeligt af de målte koncentrationer af uorganisk kvælstof i vandområderne, da N på dette tidspunkt er det begrænsende næringsstof, hvorfor den tilførte DIN optages i algerne og indgår i det samlede næringsstofkredsløb. Dette er i modsætning til P, hvor DIP tilførsler/frigivelse om sommeren resulterer i stigende DIP koncentrationer i vandfasen, da P ikke er det begrænsende næringsstof.

Det er vigtigt at understrege, at fluksen af DIN henholdsvis DIP i juni til september, ikke skyldes fortidens synder, men er et udtryk for tilførslerne fra land (organisk såvel som uorganisk N og P) og opbygningen/nedbrydningen af organisk materiale igennem primær produktion. DIN- og DIP-fluksene er dermed et udtryk for den omsætning af næringsstoffer, der er i de to vandområder igennem året. I vandområder med stort vandudskifte, som fx Hjarbæk Fjord, opstår der en ny ligevægt mellem vandfase og sediment på få år (<5år), mens der i vandområder med større vandudskifte, som fx Lovns Bredning, går flere år (<10år). Disse estimater er baseret på en modelfølsomhedsberegning, og er ikke publiceret, men stemmer overens med tilsvarende analyser foretaget i fx Høgslund et al., 2019. "Fortidens synder" (> 10 år) vil i højere grad være blevet til reaktionært organisk bundne næringsstoffer i sedimenterne, som ikke bidrager betydende til

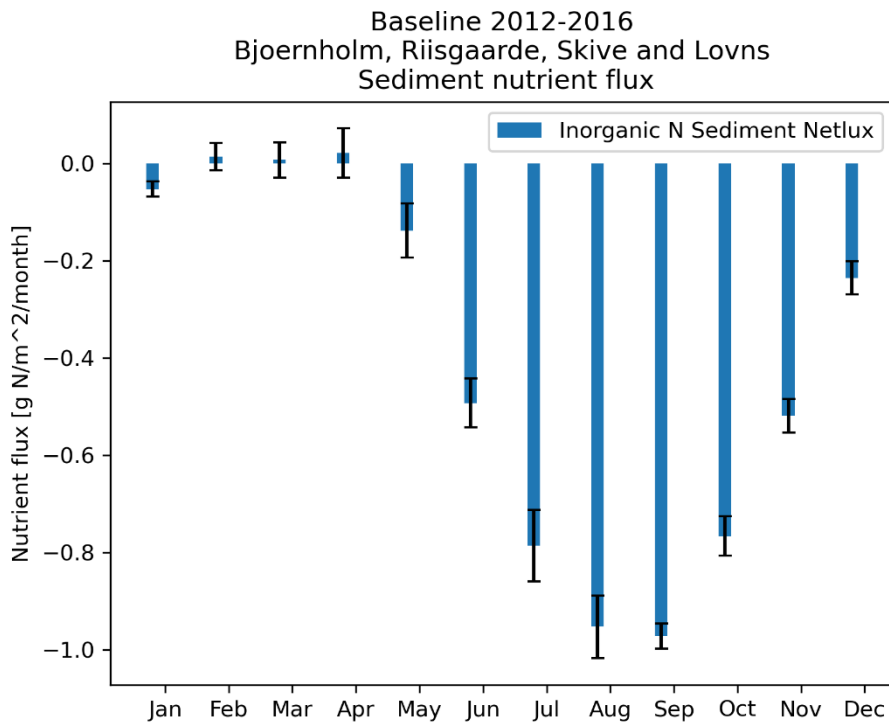
DIN og DIP fluxe, hvorimod den "friske" tilførsel af organisk materiale fra vandfasen, vil være mere labil og største bidragsyder til den interne belastning.

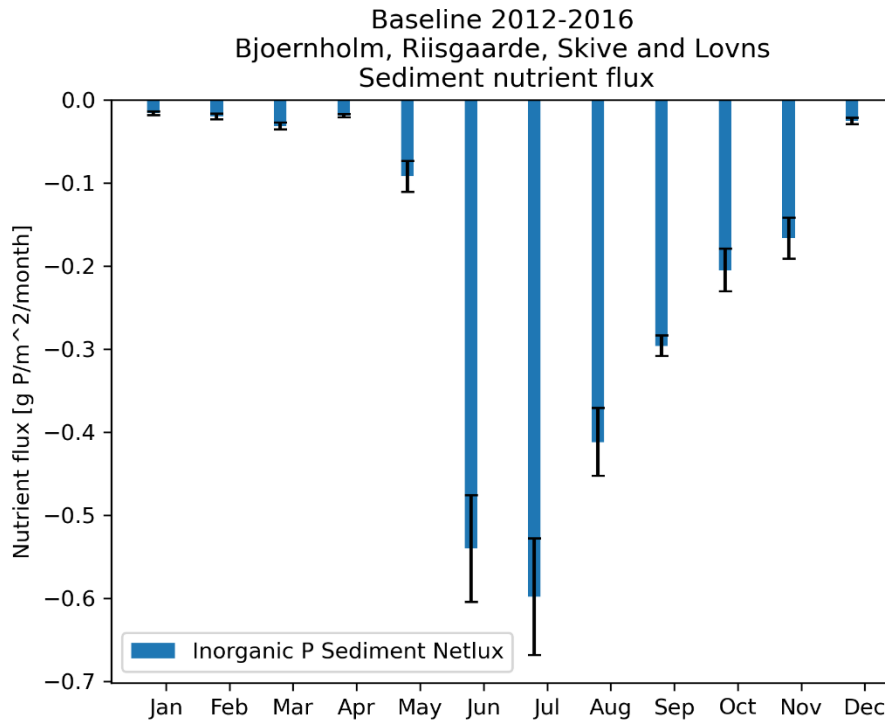
Data vist i Figur 2.1.7 og Figur 2.1.8 udgør gennemsnitlige flukse over en femårs periode, og scenario beregninger har vist at ændringer i fx N-tilførslerne indenfor modelperioden på 15 år slår tydeligt igennem på DIN- henholdsvis DIP-fluksen mellem sediment og vandfase (fluksen reduceres markant når tilførslerne reduceres med fx 30%).





Figur 2.1.7 Gennemsnitlige fluks af N (øverst) og P (nederst) mellem sediment og vandfasen i Hjarbæk Fjord for perioden 2012-2016 fordelt over året, inkl. ± én standardafvigelse. Positiv fluks angiver nettotransport fra vandfase til sediment og negativ fluks angiver nettotransport fra sediment til vandfase. Fluksen er opgjort som den arealspecifikke fluks (vandområdeareal) og opgjort som fluks af uorganisk N.





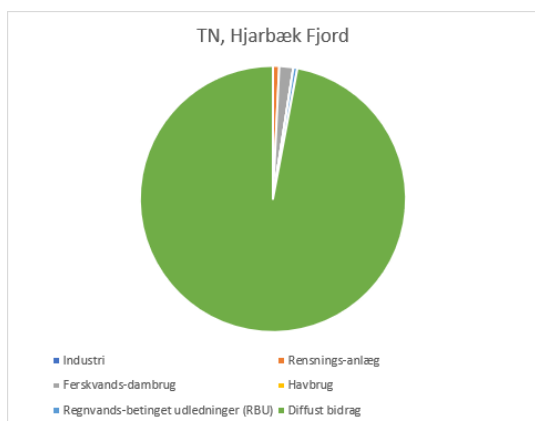
Figur 2.1.8 Gennemsnitlige fluks af N (øverst) og P (nederst) mellem sediment og vandfasen i BRSL Bredning for perioden 2012-2016 fordelt over året, inkl. ± én standardafvigelse. Positiv fluks angiver nettotransport fra vandfase til sediment og negativ fluks angiver nettotransport fra sediment til vandfase. Fluksen er opgjort som den arealspecifikke fluks (vandområdeareal) og opgjort som fluks af uorganisk N.

I Figur 2.1.7 og 2.1.8 er de månedlige flukse opgjort som gennemsnit over perioden 2012-2016. Figureerne indeholder også ± én standardafvigelse, hvilket giver en indikation af år-til-år variationerne. Som det fremgår af figurene er år-til-år variationerne imidlertid relative små sammenlignet med de totale flukse af uorganiske næringsstoffer.

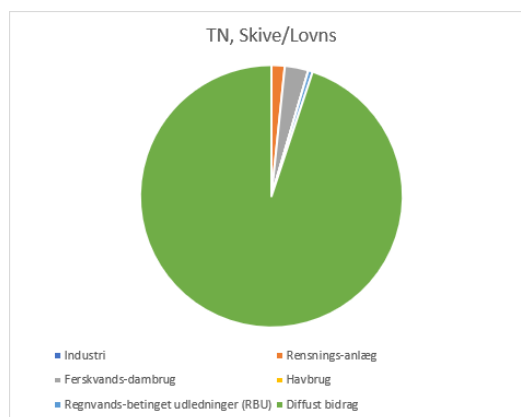
2.2 Diffuse næringsstofftilførsler henholdsvis punktkildebidrag

Kvælstofftilførsler udgøres i udgangspunktet af et baggrundsbidrag (naturbidrag), et diffust bidrag og et bidrag fra punktkilder. Figur 2.2.1 og Figur 2.2.2 viser fordelingen mellem diffust bidrag (inkl. baggrundsbidrag), og punktkilder fra industri, ferskvandsdambrug, rensningsanlæg og regnvandsbetingede udledninger (RBU'er). Opgørelsen af punktkilder henholdsvis diffust bidrag (inkl. baggrundsbidrag) er her opgjort som tilførsel til vandløbskant, og ikke opgjort i forhold til de to respektive vandområder. Det kan ændre fordelingerne en smule, men det overordnede billede af den diffuse tilførsel, som det altoverskyggende bidrag til N tilførslen, vil dog ikke ændres.

I Figur 2.2.1 og Figur 2.2.2 fremstilles alene fordelingen af de forskellige typer af næringsstofkilder, og vi behandler ikke her den eventuelle tidsforsinkelser der er mellem implementering af virkemidler i oplandet og potentielle ændringer i næringsstofftilførslerne til de respektive vandområder. Her henvises til Høgslund et al., 2019.



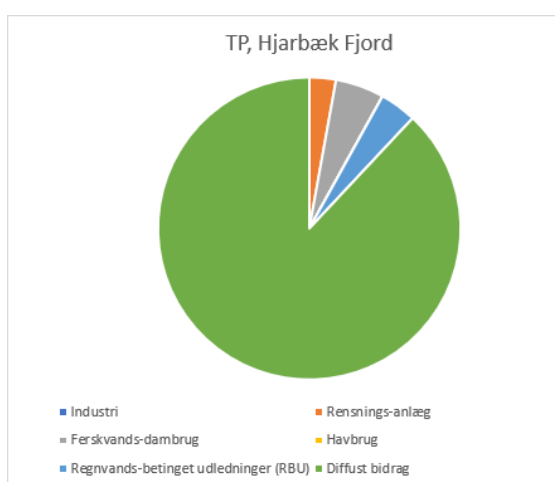
Figur 2.2.1 Kildeopsplitning af N tilførsler til Hjarbæk Fjord (gennemsnit for perioden 2014-2017) (Erichsen et al. 2021)



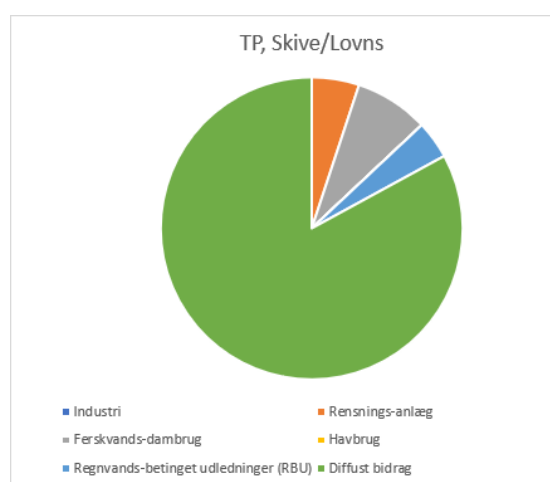
Figur 2.2.2 Kildeopsplitning af N tilførsler til BRSL Bredning (gennemsnit for perioden 2014-2017) (Erichsen et al. 2021)

Som det fremgår af Figur 2.2.1 og Figur 2.2.2 udgør punktkilder til både Hjarbæk Fjord og BRSL Bredning en meget lille andel af den samlede kvælstoftilførsel. Både Hjarbæk Fjord og BRSL Bredning er tidligere udpeget som potentielle vandområder, som især reagerer på næringsstofftilførsler som kommer i perioden marts til september (Erichsen et al. 2021), altså det som til tider omtales som 'tidslighed'. En af forudsætningerne for at kunne adressere næringsstofftilførsler i netop den periode er det imidlertid overvejende hængt op på muligheder for at reducere punktkilder, men da bidraget fra punktkilder til Hjarbæk Fjord og BRSL Bredning er lille, er der ikke for alvor noget at hente i forhold til at gå efter specifikke punktkilder når der skal findes løsninger til at få de to vandområder i god økologisk tilstand.

I forhold til fosfor udgør P fra punktkilder typisk en større andel. Som det fremgår af Figur 2.2.3 og Figur 2.2.4 er det især P fra renseanlæg, ferskvandsdambrug og RBU'er, der bidrager med P tilførsler til Hjarbæk Fjord og BRSL Bredning, men den samlede andel er stadigvæk under 25% mens det diffuse bidrag udgør resten.



Figur 2.2.3 Kildeopsplitning af P tilførsler til Hjarbæk Fjord (gennemsnit for perioden 2014-2017) (Erichsen et al. 2021)



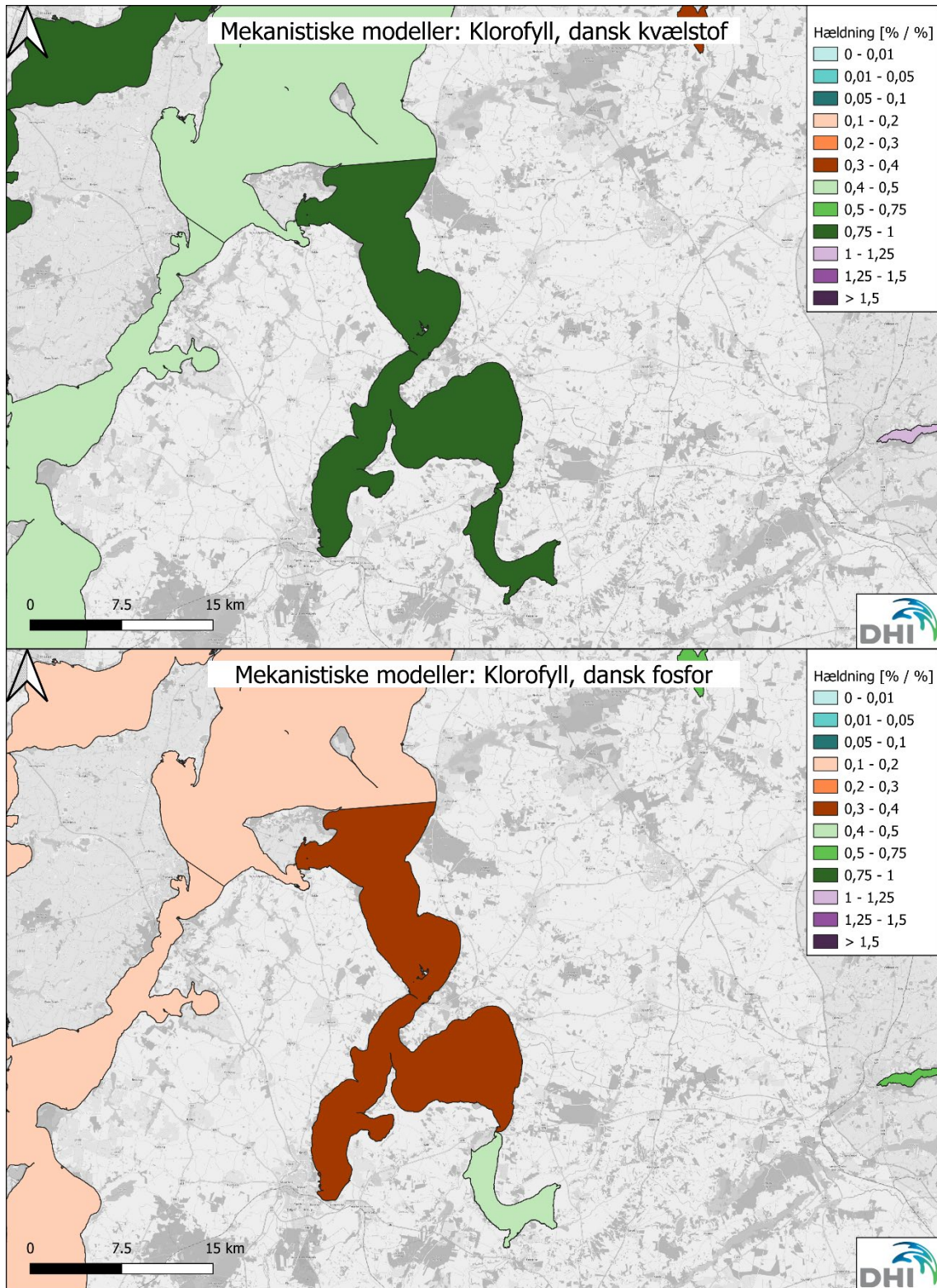
Figur 2.2.4 Kildeopsplitning af P tilførsler til BRSL Bredning (gennemsnit for perioden 2014-2017) (Erichsen et al. 2021)

2.3 Sammenhæng mellem næringsstof tilførsler og miljøtilstand

Sommer klorofyl-a

Som en del af modeludviklingen under vandområdeplaner 2021-2027 (VOP3) er der blevet analyseret på hvordan de enkelte indikatorer, sommer-klorofyl-a og lys i vækstsæsonen, responderer på ændringer i næringsstofftilførsler i de danske marine vandområder. Figur 2.3.1 viser hvor meget indikatoren sommer klorofyl ændres (i %) ved ændringer i N- henholdsvis P-tilførsler (i %). Denne måde at præsentere data på svarer til at vise en dosis-respons mellem næringsstofftilførsler og den enkelte indikator (enhed: % indikatorændringer pr. % næringsstofændring), og betyder at hvis en indikator ændrer sig med samme procent, eller mere, som ændringen i næringsstofftilførslen, så er indikatoren meget følsom overfor det specifikke bidrag, og vi taler om en høj dosis-respons.

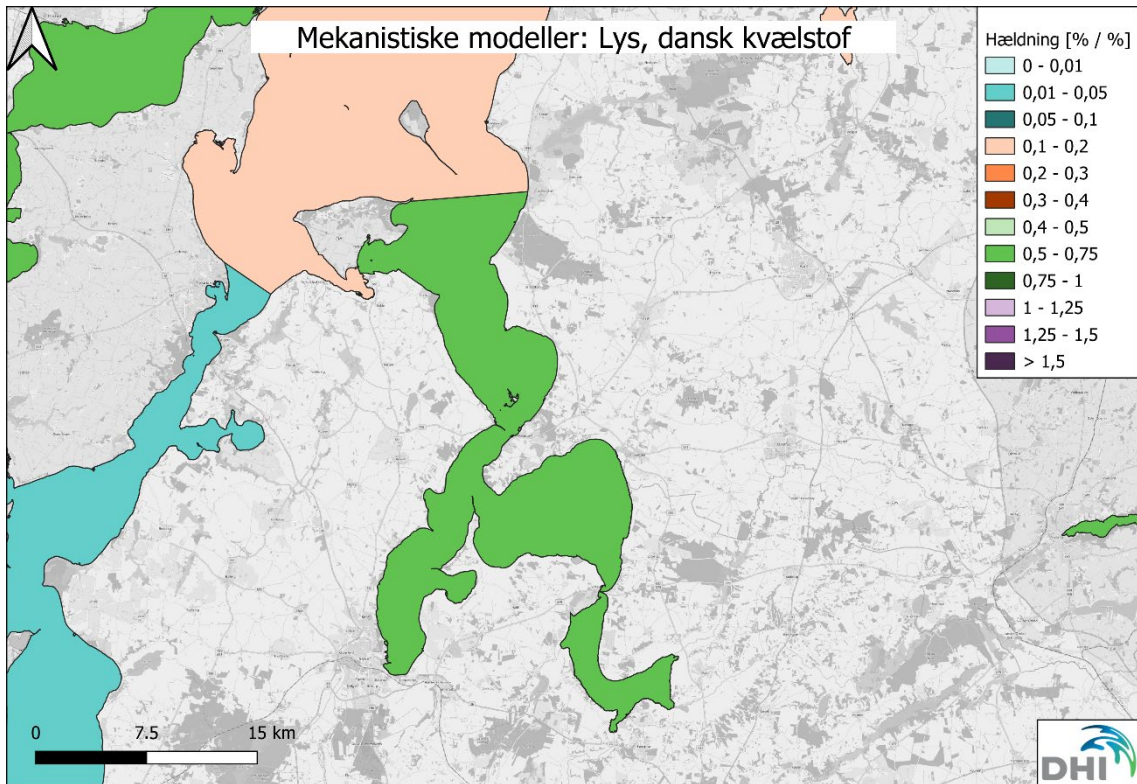
Som det fremgår af figuren, er indikatoren sommer klorofyl meget følsom overfor ændringer i N-tilførslen (mellem 0.75 og 1.00 % pr. %) og mindre – omend stadigvæk en del – følsom overfor P-tilførsler (mellem 0,3 og 0.5 % pr. % i BRSL Bredning henholdsvis Hjarbæk Fjord).

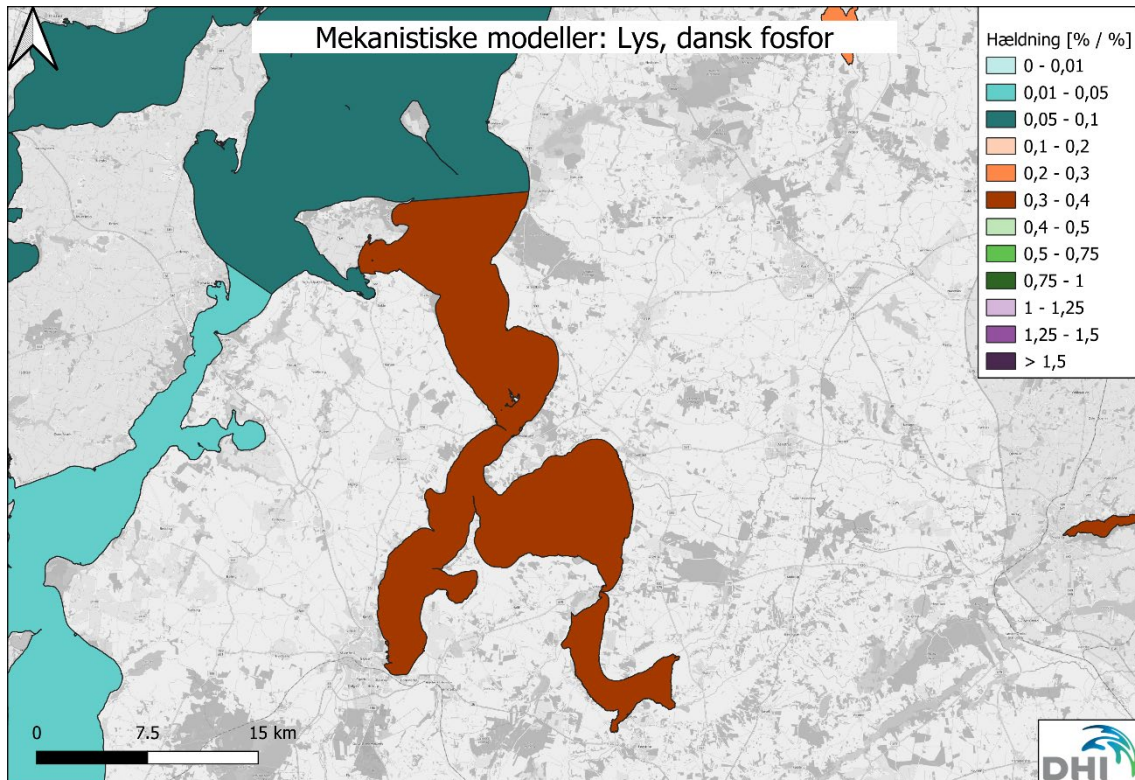


Figur 2.3.1 Dosis-respons (hældninger) på sommer klorofyll-a ved ændringer i næringsstofftilførsler (øverst, ændringer i N-tilførsler og nederst, ændringer i P-tilførsler).

Lysets dybdegrænse

Lysets dybdegrænse er et udtryk for, ved hvilken vanddybde, der netop er tilstrækkeligt lys på havbunden til at dække ålegræssets lyskrav. Lysets dybdegrænse afhænger af vandets klarhed og er en af de indikatorer, som anvendes til beregning af målbelastning i VoP3. I regi af vandplansarbejdet er der foretaget dosis-respons beregninger for lysets dybdegrænse, som udtrykker hvor følsom lysets dybdegrænse er overfor næringsstoffilførsler og angiver hvor meget indikatoren Lysets dybdegrænse ændres (i %) ved ændringer i N- henholdsvis P-tilførsler (i %) Resultaterne fra dosis-respons beregningerne mellem lys og næringsstoffilførsler er vist i Figur 2.3.2. Også her er indikatoren mest følsom overfor N (0.5 til 0.75 % pr. %), mens stadigvæk også følsom overfor P (mellem 0.3 til 0.4 % pr. %).





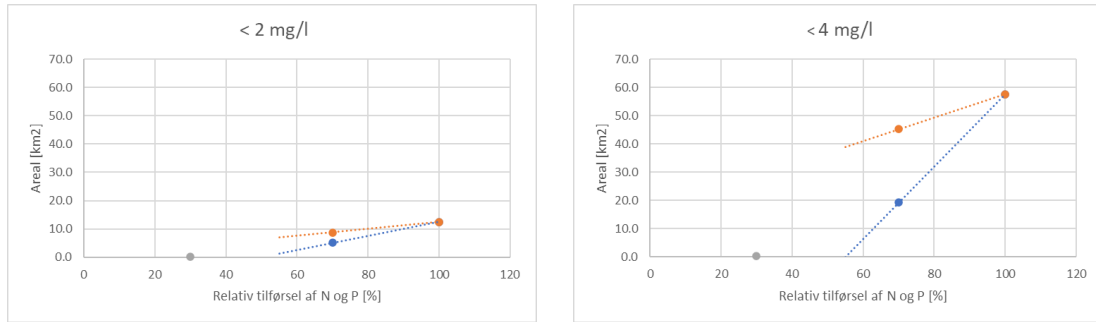
Figur 2.3.2 Dosis-respons (hældninger) på lys i vækstsæsonen ved ændringer i næringsstofftilførsler (øverst, ændringer i N-tilførsler og nederst, ændringer i P-tilførsler).

Iltsvind

Iltsvind er ikke en direkte indikator, jvf Vandrammedirektivet, for god økologisk tilstand, men en helt central parameter i forhold til flora og fauna. Iltsvind skyldes typisk en kombination mellem lagdelte vandmasser og tilførsler af næringsstoffer, der resulterer i algevækst og sidenhen iltforbrug ved bunden, eller i sedimenterne.

Data omkring iltsvind stammer fra de mekanistiske modeller bag VOP3 og på Figur 2.3.3 er vist 95% percentilen over 5 år (2012-2016) af det areal som er påvirket af kraftigt iltsvind (<2mg/l) og påvirket af iltsvind (<4mg/l) i Hjørnbæk Fjord og Bredning samlet set. Figuren viser både reduktionen i iltsvindsareal ved reduktioner i N- henholdsvis P-tilførslerne, og som det fremgår af figuren reduceres iltsvindsarealet i begge vandområder mest ved reduktioner i N-tilførslerne.

Som det ligeledes fremgår af figuren, er iltsvindsarealet væsentligt mindre i en referencetilstand, omend det ikke er helt væk.

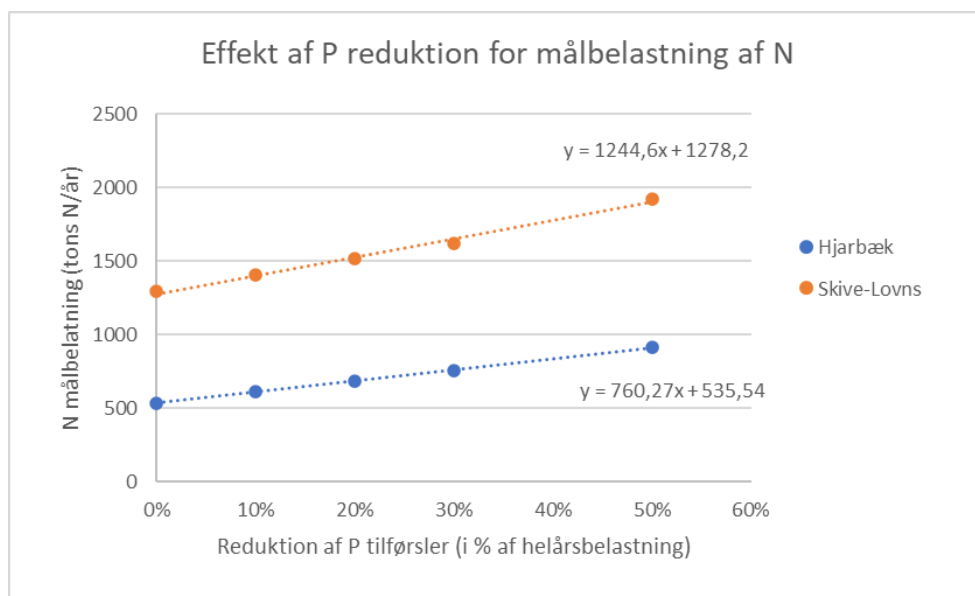


Figur 2.3.3 Kraftigt iltsvindspåvirket areal (<2 mg/l, venstre) og iltsvindspåvirket areal (<4mg/l, højre) ved varierende tilførsler af N (blå kurver) og P (orange kurver). 100% N-tilførsel udgør nutidstilførsel. Grå prik udgør arealerne i en referencetilstand (på figuren skønnet til 30% af nutidstilførslen)

2.4 Fosforfølsomhed: N og P ”vekselkurs”

Miljøtilstanden i vandområde 157 BRSL Bredning og 158 Hjarbæk Fjord er følsomme for fosfortilførsler, hvilket betyder, at miljøtilstanden i fjorden påvirkes af fosfortilførsler og ikke kun kvælstoftilførsler. For begge vandområder kan man således opnå en forbedret miljøtilstand ved at reducere både kvælstof- og fosfortilførslerne. Fosforfølsomheden betyder også at den kvælstofmålbelastning, der præcis understøtter opnåelse af ”god økologisk tilstand” vil stige (og kvælstofindsatsbehovet falde), såfremt fosfortilførslerne til vandområdet reduceres.

Baseret på de modelscenarier, der ligger til grund for vandplanerne er det således muligt at beregne sammenhæng mellem kvælstofmålbelastning og fosforreduktioner og dermed en ”vekselkurs” mellem N indsatser og P indsatser. Figur 2.4.1 viser sammenhæng mellem kvælstofmålbelastninger og fosforreduktioner i de to vandområder i Limfjorden.

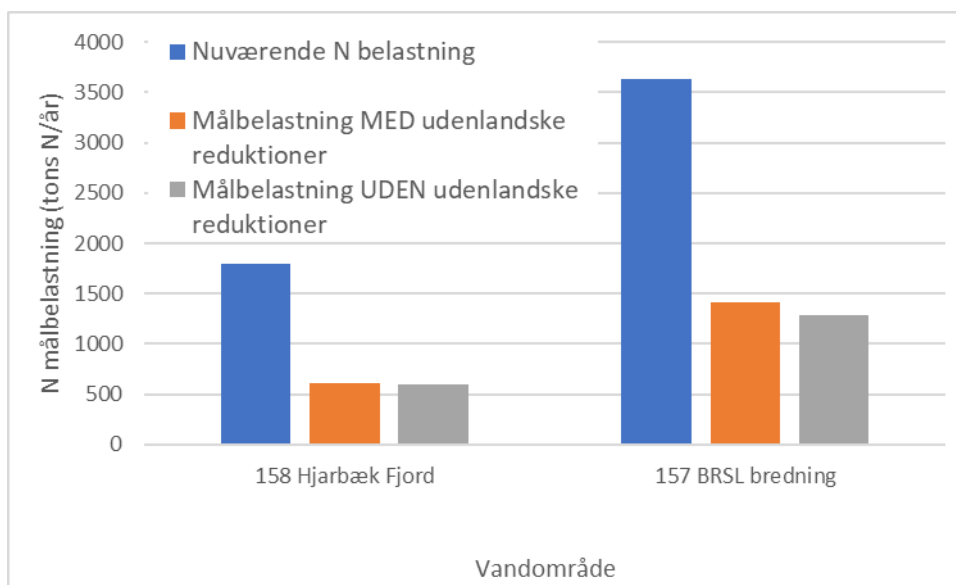


Figur 2.4.1. Sammenhæng mellem kvælstof-målbelastning og fosforreduktioner til vandområde 157 og vandområde 158.

For vandområde 157 viser relationen, at målbelastningen stiger (og N indsatsbehovet falder) med 124 tons N/år, når fosfortilførslerne reduceres med 10% i forhold til den nuværende udledning, som er på 101 Tons P/år. For vandområde 158 viser relationen, at målbelastningen stiger (og N indsatsbehovet falder) med 76 tons N/år, når fosfortilførslerne reduceres med 10% i forhold til den nuværende udledning, som er på 44 tons P/år. Beregningerne er lavet ud fra data i Erichsen et al., 2020.

2.5 Andre landes betydning for målbelastning

Målbelastningen, som angiver den maksimale danske kvælstofudledning, der understøtter "god økologisk tilstand" vil afhænge af, hvad der fremover sker med andre kilder til næringsstoffer til Limfjorden, herunder de "ikke-danske" næringsstokilder. Næringsstoffer fra udlandet kommer til danske vandområder via havstrømme og via atmosfæren, ligesom vi "eksporterer" næringsstoffer til udenlandske havområder. Til beregninger til brug for vandplanerne er der lagt til grund, at andre lande reducerer deres udledninger, som aftalt iht Østersøhandleplanen (Baltic Sea Action Plan) og vandrammedirektivet samt i NEC-direktivet, som sætter mål for den atmosfæriske kvælstofudledning. Såfremt andre lande, og særligt landene omkring Nordsøen, ikke reducerer deres næringsstofudledninger, vil det få betydning for den danske målbelastning og reduktionsbehovet fra dansk opland. Målbelastningen vil således blive lavere (og indsatsbehovet fra dansk opland større) såfremt landene omkring Nordsøen fastholder den nuværende næringsstofførsel og IKKE reducerer deres næringsstofudledninger.



Figur 2.5.1: Betydning af andre landes næringsstofreduktioner for målbelastningen i hhv vandområde 158 Hjarbæk Fjord og vandområde 157 BRSL Bredning.

Figur 2.5.1 viser den nuværende kvælstofbelastning (blå), den beregnede målbelastning, hvor der tages højde for at andre lande reducerer deres næringsstofudledninger, som aftalt iht. Internationale aftaler (orange) samt beregnede kvælstof målbelastninger under antagelse

om at andre lande ikke reducerer deres næringsstofudledninger (Grå). Målbeklastningen angiver den kvælstofudledning fra dansk opland, som netop understøtter opnåelse af "god økologisk tilstand" i et vandområde. Nuværende udledninger samt beregnede målbeklastninger er vist for de to vandområder. Figuren er baseret på data i Erichsen et al., 2020a og b.

Resultaterne viser, at udenlandske tilførsler ikke har indflydelse på målbeklastningen i Hjarbæk Fjord og kun en minimal betydning i vandområde 157, hvor målbeklastningen falder (og indsatsbehovet stiger) med ca 120 tons N/år, såfremt andre lander fastholder den nuværende næringsstofudledning i stedet for at reducere udledningerne iht. de internationale aftaler.

3. Andre presfaktorer end næringsstoffer

I danske kystvande findes en suite af presfaktorer, som kan have en negativ påvirkning på miljøtilstand, habitater og/eller marine arter. I denne sammenhæng er en "presfaktor" defineret som en menneskelig aktivitet, som enten direkte eller indirekte har en uønsket effekt på miljøet. Årsagssammenhæng mellem aktiviteter og effekter er internationalt beskrevet ved DPSIR-strukturen (Driver-Pressure-State-Impact-Response), hvor aktiviteterne (driver) fører til påvirkninger (pressure), som ændrer tilstanden (state), hvilket fører til en uønsket effekt (impact), der kræver en indsats (response) at modvirke (Oosterwind et al., 2016). Aktiviteterne kan både være landbaserede (fx landbrug og industri) eller vandbaserede (fx fiskeri og råstofindvinding). Presfaktorerne kan påvirke miljøtilstanden ved at forårsage strukturelle og funktionelle ændringer, såsom ændring af habitater og artssammensætning. Næringsstofforurening (eutrofiering) er en af de mest veldokumenterede presfaktorer for kystnære havområder og denne presfaktor har hovedfokus i bl.a Vandrammedirektivet og Nitratdirektivet. Men udover næringsstoffer er der presfaktorer som potentielt har betydning for miljø og naturtilstanden i kystområder. I rapport-serien "Andre presfaktorer end næringsstoffer og klima", er flere potentielle presfaktorer for vandrammedirektivets biologiske kvalitetselementer blevet undersøgt. Presfaktorer, som har en veldokumenteret effekt på de biologiske kvalitetselementer og som er til stede i et eller flere danske vandområder er blevet identificeret. Denne analyse viser, at følgende presfaktorer, som kan have betydning for enten klorofyl, lys, bundvegetation og/eller bundfauna er til stede i vandområde 157 og 158.

Presfaktor	Til stede i vandområde 157	Til stede i Vandområde 158
Graveaktivitet, primært relateret til sejltreder	Ja	Nej
Klapning	Ja	Nej
Historisk stenfiskeri	Sandsynligvis	uvist
Fysiske konstruktioner	Ja	Ja
Muslingeskrab	Ja	Nej
Invasive arter	Ja	uvist
Sediment ændringer (primært pga historisk eutrofiering)	Ja	Ja

Af tabellen ses, at de fleste presfaktorer er til stede i vandområde 157, hvorimod kun fysiske konstruktioner (Virksund dæmningen) og "sedimentændringer", med sikkerhed er til stede i vandområde 158 Hjarbæk Fjord. Tilstedeværelse af en presfaktor er dog ikke ensbetydende med, at presfaktoren har indflydelse på, om vandområdet kan opnå god økologisk tilstand, da dette afhænger af udbredelsen af presfaktoren og vandområdets følsomhed overfor presfaktoren. Nedenfor gennemgås betydningen af de presfaktorer, som er til stede i et eller begge vandområder.

3.1 Muslingeskrab, graveaktivitet og klapping

Muslingeskrab, klapping og graveaktivitet er alle såkaldt stedspecifikke presfaktorer og har tilnærmelsesvis samme påvirkningsmekanismer på de biologiske kvalitetselementer idet aktiviteterne dels påvirker bundfauna og bundvegetation i de områder som direkte er påvirket af aktiviteterne og dels kan aktiviteterne resultere i resuspension af havbundsmateriale, som kan dæmpe lysgennemtrængningen og dermed indirekte påvirke bundvegetationen. I tabel 3.1.1 er arealerne, som påvirkes af de stedspecifikke presfaktorer, angivet.

Tabel 3.1.1: Samlet påvirket areal (antal berørte gridceller) af stedspecifikke presfaktorer for hvert vandområde af Muslingeskrab, Klapping og graveaktivitet samt Råstofindvinding. Data er fra Petersen et al., 2020 nr 361

Vandområde	Muslingeskrab	Klapping og graveaktivitet	Råstofindvinding
157	6948	30	0
158	0	0	0

I Limfjorden er muslingeskrab den aktivitet som påvirker de største havbundsarealer (Petersen et al., 2020), hvilket også er tilfældet for vandområde 157 (tabel 3.1.1). I Petersen et al., er det ligeledes undersøgt om der er et direkte rumligt overlap mellem de stedspecifikke presfaktorer og forekomsten af ålegræs vurderet ud fra den nuværende dybdegrænse for ålegræssets hovedudbredelse og for miljømålet for ålegræs (tabel 3.1.2).

Tabel 3.1.2 Rumligt overlap mellem de stedspecifikke presfaktorer "Muslingeskrab" og "Klapping og graveaktivitet" og det potentielle areal med ålegræs vurderet ud fra den nuværende (målte) dybdegrænse for hovedudbredelsen og estimeret ud fra miljømålet for ålegræssets dybdegrænse.

Data er fra Petersen et al., 2020 nr 361

Vandområde	Overlap mellem presfaktor og ålegræssets arealudbredelse (%)		Overlap med mellem presfaktor og miljømål for ålegræs (%)	
	Muslingeskrab	Klapping og graveakt.	Muslingeskrab	Klapping og graveakt.
157	3,9	0,03	18,8	0,04
158	0	0	0	0

Der er således estimeret et overlap mellem stedspecifikke presfaktorer og (potentielt) ålegræs på > 3% af udbredelsesarealet i vandområde 157, hvilket i hht. Petersen et al., 2020 vurderes at

kunne påvirke ålegræsudbredelsen på vandområdeniveau. I vandområde 158 er de sted-specifikke presfaktorer ikke tilstede og dermed er der ikke noget direkte overlap mellem disse og ålegræs.

Resuspension er en indirekte effekt af de stedspecifikke presfaktorer idet påvirkningen af havbunden kan resultere i en øget resuspension af havbundsmateriale. En muligt øget resuspension kan reducere lysnedtrængningen og dermed hæmme vækst af bundvegetation. Derudover vil en øget resuspension resultere i en øget deponering af sediment, hvilket potentielt kan skade vegetation og bunddyr. Petersen et al., 2020 har estimeret ændringer i mængder af resuspenderet materiale som følge af de stedspecifikke presfaktorer. Analysen viste, at Limfjorden, herunder vandområde 157 havde marginal forhøjede sedimentmængder i vandfasen relativt til baggrundsniveaue, men at ændringerne var for små til at have en økologisk betydning på vandområdeniveau.

3.2 Manglende (hårdt) substrat

Hårdt substrat i form af spredte sten og egentlige stenrev samt i mindre grad tomme muslingeskaller og biogene rev, fungerer som leve- og skjulested for en lang række arter. En reduktion i mængden og udbredelsen af det hårde substrat har betydning for vækst og udbredelsesmuligheder for disse arter. I vandrammedirektiv sammenhæng er betydningen af hårdt substrat særligt relevant for de fastsiddende makroalger. Makroalgerne er et biologisk kvalitetselement i vandrammedirektivet og manglen på hårdt substrat kan reducere makroalgernes udbredelsepotentialer. Fjernelsen af hårdt substrat fra danske kystvande skyldes bl.a det historiske stenfiskeri. Stenfiskeri har været stort set ureguleret i Danmark indtil 1996. Med råstofloven i 1996 blev stenfiskeriet begrænset til udvalgte områder og kvotebelagt. Stenfiskeriet stoppede de facto i 1999, men blev dog først endeligt forbudt i 2009 med Lovbekendtgørelse nr. 950 af 24-09-2009 (Helmig et al., 2020). Det er usikkert hvor store mængder af sten, der historisk set er blevet opfisket, men baseret på antallet af stenfiskerbåde samt mængden af sten anvendt til konkrete konstruktioner er det anslået, at der siden år 1900 er blevet opfisket 8.3 millioner m³ store sten svarende til 83 millioner sten fra kystnære (< 10 m vanddybde) områder og primært fra vanddybder mellem 4-7m (Helmig et al., 2020). Det er ligeledes usikkert hvorfra stenene præcis har ligget og det er derfor ikke muligt at vurdere omfanget af stenfiskeri og den mulige økologiske betydning heraf for et konkret område som Limfjorden.

Muslingeskaller og muslingebanker kan i nogen udstrækning også fungere som hårdt substrat. Disse fjernes i dag via muslingeskrab, men det er uklart om og evt i hvilket omfang dette har økologisk betydning.

3.3 Virkesund dæmningen

Virkesund dæmningen er den eneste fysiske konstruktion af mulig betydning for miljøtilstanden i vandområderne 157 og 158. Betydningen af Virkesund dæmningen mellem Hjarbæk Fjord og Lovns Bredning er tidlige blevet undersøgt i Erichsen (2014), Analysen viste, at en fjernelse af dæmningen vil øge saltholdigheden i bundvandet i Hjarbæk fjord og øge styrken af lagdelingen. De kemiske og økologiske konsekvenser af ændringerne i saltholdighed er ukendte, men kan inkludere påvirkning af iltsvindssituationen samt evt indvandring af mere marine organismer, som fx hjerte- og blåmuslinger. Betydningen af virkesunddæmningen belyses i et opfølgende notat.

4. Opsummering

Den altoverskyggende udfordring for begge vandområder (157 og 158) ift at opnå god økologisk tilstand, er den store tilførsel af kvælstof, som ligger væsentligt over det niveau, som understøtter god økologisk tilstand. Begge vandområder er også følsomme overfor fosfor, hvilket betyder at reduktioner i fosfor kan bidrage til at forbedre miljøtilstanden og i noget omfang erstatte en del af kvælstofindsatsen for kvælstof. Næringsstofferne til vandområderne kommer hovedsageligt fra dansk opland, og næringsstoffer som oprindeligt kommer med vandtransport fra andre lande har ingen betydning for miljøtilstanden. Iltsvind og den interne belastning betragtes som et resultat af næringsstofferne fra land og begge vil blive reduceret, når tilførslerne reduceres. Andre mekanismer, som fx ændret slusedrift, kan muligvis også påvirke iltsvindet i Hjarbæk, hvilket undersøges i et efterfølgende projekt. De resterende presfaktorer (muslingeskrab og klapning) kan lokalt påvirke miljøforholdene, særligt bundfauna og vegetation.

5. Referencer

- Christensen PB, Hansen OS, Ærtebjerg G (red). 2004. Iltsvind. Miljøbiblioteket nr. 4. Forlaget Hovedland. 132 pp. ISBN 87-7739-734-7
- Erichsen AC (2014) Marine Vandplansmodeller. Effekter af Virksunddæmningen på vandkvaliteten i Hjarbæk Fjord. DHI rapport (projektnr. 11811187-1)
- Erichsen AC & Birkeland M (2019) Development of Mechanistic Models. Mechanistic Model for Limfjorden. Hydrodynamic model documentation. DHI report (project no. 11822245)
- Erichsen AC & Birkeland M (2020) Development of Mechanistic Models. Mechanistic Model for Limfjorden. Biogeochemical model documentation. DHI report (project no. 11822245)
- Erichsen AC, Nielsen SEB, Timmermann K, Højberg A, Eriksen J, Pedersen BF (2021) Muligheder for optimeret regulering af N- og Ptilførslen til kystvandene med fokus på tilførslen i sommerhalvåret. Analyse og kvantificering. DHI rapport (11824516)
- Erichsen AE, Timmermann K, Larsen TC, Christensen J, Nielsen SEB, Markager S. 2021. 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). Report from DHI. 107 pp. https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Eksterne_udgivelser/ManagementScenario2e_v3.pdf.
- Helmig, S.A., Nielsen, M.M. & Petersen, J.K. (2020). Andre presfaktorer end næringsstoffer og klimaforandringer – vurdering af omfanget af stenfiskeri i kystnære marine områder. DTU Aqua-rapport nr. 360-2020. Institut for Akvatiske Ressourcer, Danmarks Tekniske Universitet. 24 pp.
- Høgslund, S., Carstensen, J., Krause-Jensen, D. & Hansen, J.L.S. 2019. Sammenhænge i det marine miljø - Betydning af sedimentændringer. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 74 s. - Videnskabelig rapport nr. 323 <http://dce2.au.dk/pub/SR323.pdf>
- Oesterwind D, Rau R & Zaiko A 2016. Drivers and pressures – Untangling the terms commonly used in marine science and policy. *Journal of Environmental Management* 181: 8-15.
- Petersen, J.K., Brooks, M.E., Edolvang, K., Eigaard, O.R., Göke, C., Hansen, F.T., Kuhn, J., Mohn, C., Maar, M., Olsen, J., Pastor, A., Stæhr, P.A. & Svendsen, J.C. (2020). Andre presfaktorer end næringsstoffer og klimaforandringer – effekter af stedspecifikke presfaktorer på det marine kvalitetselement ålegræs. DTU Aqua-rapport nr. 361-2020. Institut for Akvatiske Ressourcer, Danmarks Tekniske Universitet. 49 pp. + bilag
- Timmermann K, Christensen JPA, & Erichsen A. 2020. Referenceværdier og grænseværdier for ålegræsdybdegrænser til brug for vandområdeplanerne. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt

Center for Miljø og Energi, 28 s. - Videnskabelig rapport nr. 390.
<http://dce2.au.dk/pub/SR390.pdf>

Timmermann, K, Christensen, J.P.A. & Erichsen, A. 2021. Establishing Chlorophyll-a reference conditions and boundary values applicable for the River Basin Management Plans 2021-2027. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 32 pp. Scientific Report No. 461 <http://dce2.au.dk/pub/SR461.pdf>