

# Nogle faglige aspekter ved anvendelse af HELCOMS reduktionsmål til national regulering af havbrug – Fase 1

---

Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi

Dato: 16. december 2014

Forfatter Lars M. Svendsen<sup>1</sup>, Marie Maar<sup>2</sup>, Jens Würgler Hansen<sup>2</sup>

<sup>1</sup>) DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet

<sup>2</sup>) Institut for Bioscience, Aarhus Universitet

Rekvirent: Naturstyrelsen

Antal sider: 22

Faglig kommentering:  
Internt i forfattergruppen  
Kvalitetssikring, centret:  
Susanne Boutrup



AARHUS  
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Tel.: +45 8715 0000  
E-mail: [dce@au.dk](mailto:dce@au.dk)  
<http://dce.au.dk>

# Indhold

<b>Indledning</b>	<b>3</b>
<b>1 Beskrivelse af forudsætninger og usikkerheder ved beregning af HELCOM's reduktionsmål (inklusive statistiske usikkerheder og klimaforandringer)</b>	<b>4</b>
1.1 Forudsætninger	4
1.2 Usikkerheder	7
1.3 Klimaforandringer i relation til HELCOM's miljømål	8
<b>2 Beskrivelse af den re-allokering/god-skrivelse af merreduktioner fra et vandområde til et naboområde, herunder anvendte procentsatser og forskelle mellem N og P</b>	<b>10</b>
<b>3 Opgørelse over de opnåede danske reduktioner fordelt på havområder med de nyeste tal fra november 2014</b>	<b>12</b>
<b>4 Beskrivelse af hvordan HELCOMs Maximum Allowable Inputs (MAI) kan nedbrydes til mindre farvandsområder end de nuværende HELCOM inddelinger og en vurdering af hvor små farvande, det vil være muligt at opdele i.</b>	<b>16</b>
<b>5 Beskrivelse af principperne for fastsættelsen af kompensationens størrelse ift. afstand og strømforhold mellem kompensation(sopdræt) og havbruget.</b>	<b>18</b>
<b>6 En beskrivelse af hvorledes det videnskabelige grundlag for, hvordan næringsstoffer fordeler sig med strømmen (fordeling til hhv. kystnære og åbne farvande, fordeling til forskellige farvandsområder, fordeling til hhv. vandsøjle og havbund), kan omsættes til generelle antagelser</b>	<b>19</b>
<b>7 Referencer</b>	<b>21</b>

# Indledning

Naturstyrelsen har bedt DCE, Aarhus Universitet besvare en række faglige spørgsmål som input til Naturstyrelsens regulering af havbrug. Besvarelsen omfatter seks spørgsmål, der besvares i dette notat (fase 1) og en nogle spørgsmål der skal besvares i en fase 2 i 2015.

Af bestillingen fra Naturstyrelsen fremgår at:

”Baggrunden for de faglige spørgsmål og udarbejdelse af faglige notater er, at både regeringen og EU Kommissionen ønsker vækst indenfor akvakulturen. I Danmark er forventningen, at flere havbrug på sigt kan placeres offshore i de åbne farvande. Produktionsforøgelsen skal ske inden for de til enhver tid gældende miljømæssige råderum. Rammerne for det miljømæssige råderum sættes af bl.a. den danske lovgivning i form af vandrammedirektiv og havstrategidirektiv, men også af vores internationale forpligtelser såsom HELCOMs reduktionsmål for udledning af næringsstoffer.”

NST har ønsket følgende beskrevet i Fase 1-notatet:

1. Kortfattet beskrivelse af forudsætningerne og usikkerhederne ved beregning af HELCOMs reduktionsmål (inkl. statistiske usikkerheder og klimaforandringer)
2. Kortfattet beskrivelse af den re-allokering/godskrivelse af merreduktioner fra et vandområde til et naboområde, herunder de anvendte procent-satser og forskelle mellem N og P
3. En opgørelse over de opnåede danske reduktioner fordelt på havområder med de nyeste tal fra november 2014
4. En beskrivelse af hvordan HELCOMs Maximum Allowable Inputs kan nedbrydes til mindre farvandsområder end de nuværende HELCOM inddelinger og en vurdering af hvor små farvande, det vil være muligt at opdele i
5. Beskrivelse af principperne for fastsættelsen af compensationens størrelse ift. afstand og strømforhold mellem compensation(sopdræt) og havbruget
6. En beskrivelse af hvorledes det videnskabelige grundlag for hvordan næringsstoffer fordeler sig med strømmen (fordeling til henholdsvis kystvande og åbne farvande, fordeling til forskellige farvandsområder, fordeling til henholdsvis vandsøjle og havbund) kan omsættes til generelle antagelser, som kan udvikles til praksis for myndighederne eller kan omsættes til myndighedernes krav til ansøgernes modellering.

Der er efterfølgende anmodet om uddybning af nogle af spørgsmålene i forhold til det beskrevne ovenfor.

# 1 Beskrivelse af forudsætninger og usikkerheder ved beregning af HELCOM's reduktionsmål (inklusiv statistiske usikkerheder og klimaforandringer)

HELCOM's reduktionsmål fremgår af HELCOM's Ministererklæring fra 2013 (HELCOM 2013b). Reduktionsmålet er baseret på en række forudsætninger, som der er redegjort for i en baggrundspublikation til HELCOM ministermødet i 2013 (HELCOM 2013c). Man har indledningsvis fastlagt eutrofieringsmål for 18 åbne havområder i Østersøen, se tabel 1.1. Eutrofieringsmålene er i HELCOM TARGREV projektet (HELCOM 2013a) bestemt ud fra en referencetilstand og acceptabel afvigelse. Referencetilstanden er bestemt ud fra tidsserier for ilt og sigtdybde, hvoraf det fremgik, at tilstanden var relativt stabil fra 1900 og frem til ca. 1940. I denne periode blev middelniveauet for iltgæld og sigtdybde bestemt som referencetilstand, og den øvre 95 % percentil for iltgæld og den nedre 5 % percentil for sigtdybde blev fastlagt som grænser for, hvornår der skete en signifikant overskridelse af variationen i referencetilstanden, dvs. disse percentiler udgør grænserne for acceptabel afvigelse. For næringsstofferne anvendtes 3 modeller til at estimere referencetilstanden (svarende til tilstanden ca. år 1900), som blev kombineret med målingerne, som startede omkring 1970. Ud fra udviklingstenden i ilt og sigtdybde, hvor den acceptable afvigelse svarede til situationen omkring 1960, blev de fastlagte udviklingstender for ilt og sigtdybde projiceret til næringsstofferne, og herefter fastlagde man acceptabel afvigelse ud fra estimerede værdier for omkring år 1960.

## 1.1 Forudsætninger

De anvendte data kommer fra BED. BED er en database hos Baltic Nest Institute (BNI), Stockholm Universitet med biologiske, fysiske, kemiske og hydrografiske data om Østersøen indsamlet og kvalitetssikret af BNI. Derudover blev der under TARGREV projektet gennemført en omfattende kvalitetssikring af data baseret på koblinger mellem flere parametre og frasortering af suspekterede data (outliers). Der er anvendt data for hele Østersøen fra perioden 1900-2002.

**Table 1.1.** HELCOM eutrofieringsmål for næringsstoffer, sommer klorofyl a og sommer sigtddybe for Østersøen opdelt i 18 åbne havområder. DIN og DIP er opløst uorganisk kvælstof (N) og fosfor (P). Ud over eutrofieringsmålene i tabellen blev der endvidere opstillet mål for iltgælden (forskellen det aktuelle iltindhold og iltindholdet ved mætning) som for Bothnian Bay og Bothnian Sea er 8,66 mg l<sup>-1</sup>, for Bornholm Basin: 6,37 mg l<sup>-1</sup>. Endvidere blev der opstillet en målsætning om, at iltkoncentrationen skal være > 2 mg l<sup>-1</sup> i Danish Straits og i Kattegat. Fra HELCOM 2013c.

Basin	Winter DIN ( $\mu\text{mol l}^{-1}$ )	Winter DIP ( $\mu\text{mol l}^{-1}$ )	Summer Chl a ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	Summer Secchi depth (m)
Kattegat	5.0	0.49	1.5	7.6
The Sound	3.3	0.42	1.2	8.2
Great Belt	5.0	0.59	1.7	8.5
Little Belt	7.1	0.71	2.8	7.3
Kiel Bay	5.5	0.57	2.0	7.4
Bay of Mecklenburg	4.3	0.49	1.8	7.1
Gdansk Basin	4.2	0.36	2.2	6.5
Arkona Sea	2.9	0.36	1.8	7.2
Bornholm Sea	2.5	0.30	1.8	7.1
Eastern Gotland Basin	2.6	0.29	1.9	7.6
Western Gotland Basin	2.0	0.33	1.2	8.4
Northern Baltic Proper	2.9	0.25	1.7	7.1
Gulf of Riga	5.2	0.41	2.7	5.0
Gulf of Finland	3.8	0.59	2.0	5.5
Åland Sea	2.7	0.21	1.5	6.9
Bothnian Sea	2.8	0.19	1.5	6.8
The Quark	3.7	0.10	2.0	6.0
Bothnian Bay	5.2	0.07	2.0	5.8

HELCOM har endvidere opgjort de årlige samlede kvælstof (N) og fosfor (P) tilførsler via vandløb, direkte spildevandsudledninger og atmosfærisk nedfald til 7 overoverordnede havområder i Østersøen. Beregning af de maksimalt tilladte udledninger (MAI) til havområderne som på sigt vil tillade at eutrofieringsmålene kan opfyldes, er beregnet ved hjælp af BALTSEM, som er en koblet fysisk-biogeokemisk model, som simulerer forskellige kredsløb og udvikling i stratificering i Østersøen (Gustavsson og Mörth, in prep. og HELCOM 2013c). Modellen drives af meteorologiske parametre, input via floder, vandløb og atmosfæren samt af randbetingelser til Nordsøen. Den simulerer cyklusser for både organiske og uorganiske næringsstoffer og dominerende plankton grupper og tager eksplicit højde for sediment biogeokemien, herunder den interne belastning. Selve fastlæggelsen af MAI er sket i en optimeringsproces, hvor der vil reelt være mange kombinationer af N-P tilførsler til de forskellige havområder, der ville kunne opfylde betingelserne. BNI har genereret 200 års meteorologiske data, fordi man vil simulere tilstanden i Østersøen så langt ud i fremtiden, at man får størst mulig sikkerhed for, at Østersøen er i balance med den belastning til de forskellige havområder, som er lagt ind i modellen. Herudover simulerer modellen yderligere 75 år frem som en ekstra sikring af, at der er balance mellem N-P tilførslerne og tilstanden. I større dele - herunder især i centrale dele - af Østersøen kan der gå mellem 80-120 år, før denne balance indtræder. Det betyder, at når næringsstofftilførslerne er reduceret til at svare til MAI, vil man i nogle dele af Østersøen skulle vente op til 80-120 år før miljøtilstanden er i balance med tilførslerne og eutrofieringsmålene opfyldes. For de danske dele af Østersøen vil der generelt gå væsentligt kortere tid, bl.a. grundet større vandskifte, mindre vanddybe, større salinitet m.fl.

BNI har lavet en lang række modelsimuleringer med forskellige kombinationer af tilførsler til de forskellige havområder for at finde en kombination

med den højest mulige næringsstofftilførsler til havområderne, der opfylder eutrofieringsmålene. Man endte med først at optimere tilførslerne til Den Centrale Østersø (som også udgør ca. 50 % af Østersøen), da man ellers ikke vil kunne opfylde eutrofieringsmålene i nabobassinerne. I nogle få tilfælde har man valgt ikke at følge modellens simulering for opfyldelse af miljømålene som f.eks. i relation til kvælstoftilførslen til Botniske Bugt og Riga Bugten, hvor der er ekstrem fosforbegrænsning af økosystemet (og man derved ellers skulle reducere kvælstoftilførslen betragteligt uden at få nogen effekt heraf). Mens man generelt har simuleret N- og P- tilførslerne, således at alle miljømål i et bassin på sigt ville blive opfyldt, har man i Finske Bugt anvendt HEAT<sup>1</sup> tilgangen, således at det accepteres, at man ikke fuldt ud opfylder opløst uorganisk kvælstof vinterkoncentrationsmålet (koncentrationen ligger højere end målet), men i stedet kræver at vinterkoncentrationen for opløst uorganisk fosfor ligger tilsvarende under målet herfor.

Man skal være opmærksom på, at for de danske farvande er Danske Stræder behandlet som et havområde. Endvidere er der som iltmål anvendt, at iltkoncentrationen skal være > 2 mg/l (fremfor > 4 mg/l som f.eks. Tyskland anvender som mål i deres del af Østersøen), og der ikke er noget fastlagt et mål for iltgælden. Såfremt der laves beregning på en underinddeling af Danske Stræder, med anvendelse af mere detaljerede belastningsopgørelser og eutrofieringsmål, må det forventes, at der kan være en del af dette havområde, som ville kræve reduktion i tilførslerne ift. reference perioden, selv om havområdet under et ikke har et reduktionskrav til næringsstofftilførslerne ift. referenceperioden.

Efter BNI fastlagde MAI til de syv overordnede havområder fandt man det samlede reduktionsbehov ved at trække MAI fra den normaliserede gennemsnit tilførsel af N og P i periode 1997-2003 også kaldet referenceperioden. Denne periode blev fastlagt allerede i forbindelse med den oprindelige Østersøhandlingsplan \_ fra 2007 (HELCOM 2007) og fastholdt for at sikre konsistens, da man reviderede planen i 2013 (HELCOM 2013b). De afledte reduktionskrav er beregnet ud fra nogle allokeringsprincipper besluttet af HELCOM's Head of Delegations (HOD). Overordnet anvendes "forurenere betaler"-princippet. Det betyder, at hvis man skal reducere P-tilførslerne til f.eks. Den Centrale Østersø med 65 % ift. tilførslerne i reference perioden, skal alle landene reducere deres respektive P-tilførsler med 65 % sammenlignet med reference perioden. Herudover vedtog HELCOM ministrene i 2013, at der skal tages højde for, at der kommer vand- og luftbårne N- og P-tilførsler fra lande udenfor HELCOM, hvilket betyder, at det er de enkelte medlemslandes nettotilførsler til Østersøen, der er beregnet reduktionskrav for. Desuden har man forudsat, at der på vandbårne N- og P-tilførsler og for luftbårne N-tilførsler fra lande udenfor HELCOM og på skibsfartens N-tilførsler skal ske de forholdsmæssige samme reduktioner, som pålægges HELCOM landene til de enkelte havområder i Østersøen. For Kattegat betyder dette, at der er reduktionskrav til N-tilførslen både for Danmark og Sverige, men også til de øvrige HELCOM lande, øvrige lande udenfor HELCOM samt skibsfarten på Østersøen, der alle bidrager med N-tilførsler til Kattegat. Der er således en række lande ud over Danmark og Sverige, der har bidraget til den reduktion i N-tilførslerne, der er opnået i forhold til Kattegat siden reference perioden (se spørgsmål 3).

---

<sup>1</sup> HEAT (HELCOM Eutrofication assessment tool) er et værktøj der anvendes af HELCOM til at vurdere målopfyldelse af eutrofieringsmål under f.eks. Havstrategi Direktivet, hvor der forskellige mål kan vægtes (se f.eks. HELCOM 2014c)

## 1.2 Usikkerheder

Det vil være en meget omfattende opgave at redegøre for alle statistiske usikkerheder, der er ved fastlæggelsen af reduktionsmålene (kravene), og hvordan den samlede usikkerhed kan fastlægges. BNI vil i en faglig rapport, der er under udarbejdelse, lave en detaljeret redegørelse omkring usikkerhedskomponenter delt op i bias og præcision for en række emner, og vurdere følsomheden heraf på de beregnede reduktionskrav og hvilke komponenter, som er de mest kritiske m.v.. Dette arbejde er ikke afsluttet (Gustavsson og Mörth, in prep). Nedenfor er der angivet nogle af de væsentlige usikkerhedsfaktorer, men uden at der er givet en samlet vurdering af usikkerheden:

- Fastlæggelsen af miljømålene: For nogle parametre er der relativt få gamle data fra den periode, hvor man anser tilstanden for at være upåvirket. Det medfører, at der for nogle parametre kan være relativt få data til at fastlægge dels den årlige variation ud fra under upåvirkede forhold og dels den årlige variation ved referencetilstande, som er anvendt ved fastlæggelse af miljømålet. Dette gælder især vinternæringsstofkoncentrationerne. Der findes mere herom i HELCOM 2013a
- Der er ovenfor omtalt nogle usikkerheder relateret til BALTSEM modellen, og hvor godt den kan modellere tilstanden i forskellige bassiner. Herunder omtales, at modellen er opsat for store åbne havområder og man derfor ikke umiddelbart kan bryde MAI ned til mindre havområder uden at skulle lave en række ekstra beregninger og modellering (se spørgsmål 4). Modellen er endvidere afhængig af hvor gode data, man har på meteorologi, næringsstofftilførsler, hvor godt man modellerer hydrodynamikken, udveksling af vand med Nordsøen og hele komplekset omkring de biogeokemiske processer og kredsløb
- Opgørelsen af næringsstofftilførslerne til havområderne er blevet væsentligt forbedret, harmoniseret og standardiseret i forbindelse med udviklingen af MAI og reduktionsmålsætningerne til HELCOM Ministermødet i 2013 og datahuller er udfyldt, så man har et mere sikkert og pålideligt estimat for tilførslerne. For de danske farvande skønnes N-tilførslerne at være opgjort med max. 15-25 % usikkerhed på de årlige tilførsler, mens den for fosfor er max. 20-30 % (HELCOM 2015). Til Riga Bugten og Finske Bugten er usikkerheden noget højere. Da man normaliserer tilførslerne for at reducere effekten af skiftende vejrlig, laver tidsserieanalyser m.v., bliver usikkerheden på vurdering af opfyldelse af MAI dog væsentlig lavere. Der er endvidere udviklet statistiske metoder, der implicit tager højde for usikkerhederne ved vurdering af opfyldelse af MAI og reduktionsmålene
- Danmark modtager ikke grænseoverskridende N- og P-tilførsler fra andre lande via vandløb. For de lande, som modtager grænseoverskridende næringsstofftilførsler, er der en ganske stor usikkerhed ved opgørelsen af disse, herunder hvor meget af det N og P, som løber ind over grænser til f.eks Polen fra Tjekkiet og Hviderusland, der reelt når frem til Østersøen grundet stofomsætning (retention), mens det strømmer gennem overfladevandet i Polen. Men dette betyder ikke noget for opgørelsen af den samlede stofmængde, der når til Østersøen, da dette måles tæt på, hvor vandløbene udmunder i havet. Usikkerheden på retention får derimod betydning for hvor stor en andel af tilførslerne, der kan allokeres til henholdsvis Polen, Tjekkiet og Hviderusland
- Der regnes på ret store bassiner, så der gives et gennemsnitsbillede for Danske Stræder. Fremadrettet bør der opdeles i flere del-havområder (de enkelte Bælter f.eks.), hvor der så kan vise sig at være reduktionsbehov til dele af de Danske Stræder.

I HELCOM 2014a konkluderes, at der er høj sikkerhed ved vurdering af reduktionskravene for kvælstof til f.eks. Kattegat og Den Centrale Østersø og for fosfor til f.eks. Den Centrale Østersø. Dette er baseret på de vurderinger, der vil fremgå af BNI's videnskabelig rapport om estimering af MAI med BALTSEM modellen (Gustavsson og Mörth, in prep). Til gengæld er sikkerheden kun moderat for kvælstof til Danske Stræder, fordi disse burde deles op i delbassiner, hvilket BALTSEM i den anvendte version ikke kunne. Det kan først afklares, når rapporten fra BNI foreligger, om der kan være en systematisk bias for nogle havområder, der generelt leder til en over eller underestimering af MAI. Som omtalt tager den anvendte statistiske metode til vurdering af om tilførslerne overholder MAI højde for usikkerheden i N og P-tilførslerne (Larsen og Svendsen, 2013) – se også spørgsmål 3.

### 1.3 Klimaforandringer i relation til HELCOM's miljømål

Parametrene i HELCOM's miljømål vil blive påvirket af klimaforandringer. Der er dog en meget høj grad af usikkerhed forbundet med vurderinger af klimaforandringernes effekt på miljøparametre og økosystemer.

Klimaforandringer er ikke et nyt vilkår. Klimaet har ændret sig markant inden for de seneste årtier, en udvikling som forventes at fortsætte og måske endda forstærkes i årene fremover. Havtemperaturen i de danske farvande er øget 1-1,5 °C i løbet af de sidste 30-40 år, vandstanden er steget 10-15 cm i samme periode, og der er kommet mere nedbør (DMI 2014, Hansen 2014). De fremtidige klimaforandringer vil bl.a. afhænge af udviklingen i udslippet af kuldioxid (CO<sub>2</sub>). Inden år 2100 forventes årsgennemsnittet for temperatur, nedbør og vandstanden at stige yderligere henholdsvis 0,3-4,8 °C, ca. 10 % og 30-80 cm, og vindmønstrene vil formodentlig også ændre sig (DMI 2014). Det er også vigtigt at forholde sig til udviklingen i ekstremhændelser, da de ofte har meget stor og i nogle tilfælde større betydning for de miljømæssige forhold end ændringer i årsgennemsnit. Der forventes generelt mere ekstremt vejr i fremtiden i form af flere og kraftigere nedbørshændelser, storme og hedeølger.

De fremtidige klimaforandringer forventes overordnet at have en negativ effekt på havmiljøet. Det gælder ved stigning i temperaturen; især hvis ændringen sker så hurtigt, at arter og havmiljøet som helhed ikke kan nå at tilpasse sig. En større eutrofiering som følge af en øget afstrømning fra land og en større våddeposition fra luften vil også hovedsageligt have en negativ indflydelse på havmiljøet. En øget afstrømning fra land påvirker især i de kystnære områder saltbalancen og hydrografien med en række overvejende negative konsekvenser til følge. Vandstandsstigning vil påvirke udvekslingen af vand mellem Kattegat og Østersøen samt forringe lysforholdene og dermed vækstbetingelserne for bundplanterne. Ændrede vindmønstre og flere tilfælde med kraftigt vind kan både have en negativ og en positiv effekt. Længere perioder med svage vinde vil fx stimulere iltsvind, mens flere kraftige storme i iltsvindssæsonen vil skabe øget omrøring i vandsøjlen og begrænse iltsvind. Men en øget omrøring som følge af flere storme vil også omfordele næringsstoffer fra bundvandet til overfladevandet, hvilket vil kunne skabe grundlag for fornyet algevækst i overfladevandet og dermed føre til fornyet eutrofiering. Endelig vil en øget mængde CO<sub>2</sub> betyde faldende pH, hvilket vil være et problem for de kalkdannende organismer såsom kiselalger, koraller og muslinger, mens plantevæksten formodentlig vil stimuleres i et vist omfang.



HELCOM's miljømål er primært angivet ved vandets klarhed (sigtdybde) og iltkoncentration (iltgæld) og sekundært ved mængden af planteplankton (klorofyl a) og koncentrationen af total-kvælstof (TN) og total-fosfor (TP) (HELCOM 2013). Miljømålene vil ifølge ovenstående samlet set blive påvirket i en u hensigtsmæssig retning af de forventede klimaforandringer. Da der ikke er taget højde for klimaforandringer ved beregning af miljømålene og dermed fastlæggelsen af MAI, må der forventes at være behov for yderligere tiltag, hvis de eksisterende miljømål skal opfyldes trods klimaforandringerne.

## 2 Beskrivelse af den re-allokering/godskrivelse af merreduktioner fra et vandområde til et naboområde, herunder anvendte procentsatser og forskelle mellem N og P

I HELCOMs Ministerdeklaration fra 2013 (HELCOM, 2013b) er det besluttet, at fordi reduktion i næringsstofftilførsler har vidtfnvendende effekt, kan man tage højde for en ekstra reduktion i næringsstofftilførsler til et havområde ved forholdsmæssigt at anvende merreduktionen i et nabohavområde. Det betyder at hvis Danmark tilfører mindre fosfor til Danske Stræder, end det tilladte loft (kaldet input ceilings - se under besvarelse af punkt 3), vil en andel af denne mindre tilførsel kunne anvendes til at opfylde det danske fosfor- (P) reduktionskrav i Den Centrale Østersø.

Baltic Nest Institute (BNI, Stockholm Universitet) har med deres model, BALTSEM, lavet beregningerne, der fastlægger de maksimale tilladte udledninger til farvandsområderne for at kunne overholde eutrofieringsmålsætningerne kaldet MAI (Maximum Allowable Inputs), og hvor meget de enkelte lande skal reducere kvælstof- (N) og P-tilførslerne til havområderne (Gustavsson og Mörth, in prep). I denne model indgår, at der tages højde for, at der er en udveksling og strømme af næringsstoffer mellem havområderne i Østersøen og hvilken effekt, det har for de samlede tilførsler til et nabohavområde, når der sker reduktioner til et havområde. Det betyder, at når man reducerer f.eks. tilførslerne til Danske Stræder, vil det også have en effekt på nettotilførslen af næringsstoffer til f.eks. Kattegat og Den Centrale Østersø. BNI har for både kvælstof og fosfor med modelsimuleringer med BALTSEM beregnet, hvor stor reduktion i tilførslerne til et havområde skal være for at give samme effekt som en direkte reduktion af den land- og luftbaserede (dvs. via vandløb, direkte spildevandsudledninger og luftdeposition) tilførsel i et andet bassin. Resultatet er vist i tabel 2.1 (for kvælstof) og tabel 2.2 (for fosfor). Tabellen 2.1 viser f.eks., at en reduktion i N-tilførslerne til Danske Stræder (DS) med 1,7 tons vil give samme effekt i Kattegat, som hvis man havde reduceret de land- og luftbaserede N-tilførslerne til Kattegat med 1 tons. Tilsvarende vil en reduktion i N-tilførslen på 4,6 tons til DS give samme effekt i Den Centrale Østersø, som hvis man reducerede den land- og luftbaserede N-tilførsel med 1 tons til Central Østersø (BAP).

Tilsvarende fremgår af tabel 2.2, at såfremt P-tilførslen til DS reduceres med 3,2 tons P, vil det give samme effekt som hvis man havde reduceret de eksterne P-tilførsler med 1 tons til BAP. Hvis man således vil undgå at skulle reducere tilførslen via vandløb og direkte spildevandsudledninger med 10 tons P til BAP kan man alternativt reducere P-tilførslerne til DS med 32 tons P under det tilførselsloft Danmark har til DS.

Det bemærkes at en reduktion på 0,8 tons P/år til Danske Stræder giver samme effekt i Kattegat som hvis der blev reduceret med 1 tons P/år til Kattegat via vandløb, direkte spildevandsudledninger og luften. Denne store effekt skal tilskrives at en temmelig stor del af tilførsler via vandløb, direkte

udledninger og luften direkte til Kattegat hurtigt ledes til Skagerrak og Nordsø, dette gælder bl.a. tilførslerne fra Göta Älv (Gustafsson, 2000).

Det skal understreges at tabel 2.1 og 2.2 er resultat af BNI's modellsimuleringer med BALTSEM modellen, og der kan være et behov for at landene skal vurdere dem ift. de lokale forhold og til hvilken del af havområderne man har haft ekstra reduktioner.

**Tabel 2.1.** Modellsimulering med BNI's BALTSEM model for hvor stor kvælstofreduktionen til et havområde skal være for at give den samme effekt som en reduktion i de eksterne (vand- og luftbårne) tilførsler til bassinet. Man starter med til venstre (en række) at finde et farvandsområde f.eks. Danske Stræder. Her står 1,7 tons N/år reduktion i kolonnen KAT: Det betyder, at 1,7 tons N/år reduktion til Danske Stræder (DS) giver samme effekt i Kattegat (KAT), som hvis man havde 1 tons N/år reduktion i tilførsler til KAT via vandløb, direkte spildevandsudledninger og luftdeposition (fremsendt af BNI Stockholm Universitet til brug i HELCOM in prep.).

Kvælstof		Giver den tilsvarende effekt af 1 tons reduktion i de direkte tilførsler til disse bassiner						
		KAT	DS	BAP	BOS	BOB	GUR	GUF
En reduktion af den angivne størrelse i disse havområder	KAT	1	7.3	15	-	-	-	-
	DS	1,7	1	4,6	-	-	-	-
	BAP	46	32	1	21	-	-	48
	BOS	-	-	15	1	7.8	49	-
	BOB	-	-	12	1,1	1	-	-
	GUR	-	-	1,3	22	-	1	62
	GUF	-	-	4,0	33	-	-	1

**Tabel 2.2:** Modellsimulering med BNI's BALTSEM model for hvor stor fosforreduktionen til et havområde skal være for at give den same effekt som en reduktion i de eksterne (vand- og luftbårne) tilførsler til bassinet. Man starter med til venstre (en række) at finde et farvandsområde f.eks. Danske Stræder: Her står 3,2 tons P/år reduktion i kolonnen BAP (DEN Centrale Østersø). Det betyder, at 3,2 tons P/år reduktion til Danske Stræder (DS) giver samme effekt i Central Østersø (BAP), som hvis man havde 1 tons P/år reduktion i tilførsler til BAP via vandløb, direkte spildevandsudledninger og luftdeposition (fremsendt af BNI, Stockholm Universitet til brug i HELCOM in prep.).

Fosfor		Giver den tilsvarende effekt af 1 tons reduktion i de direkte tilførsler til disse bassiner						
		KAT	DS	BAP	BOS	BOB	GUR	GUF
En reduktion af den angivne størrelse i disse havområder	KAT	1	4,0	11	-	-	-	43
	DS	0,8	1	3,2	12	27	49	12
	BAP	2,4	2,8	1	3,3	7,7	14	3,8
	BOS	3,8	4,6	1,5	1	2,6	18	5,8
	BOB	25	26	9,0	8,3	1	-	35
	GUR	3,6	4,3	1,6	4,8	14	1	6,5
	GUF	3,6	4,2	1,3	4,1	10	17	1

### 3 Opgørelse over de opnåede danske reduktioner fordelt på havområder med de nyeste tal fra november 2014

DCE/AU er p.t. sammen med BNI, Stockholm Universitet (Baltic Nest Institute) ved at vurdere status for opfyldelse af reduktionskravene for kvælstof- (N) og fosfor- (P)-tilførsler til de åbne havområder i Østersøen jf. HELCOM's Ministerdeklaration fra 2013. Institutionerne gennemfører disse beregninger baseret på de senest tilgængelige data, som inkluderer data til og med 2012, og resultaterne er endnu ikke publiceret. I tabel 3.1 og 3.2 vises normaliseret N og P input via vandløb og direkte udledninger (water) fra Danmark og luftdeposition på havet (air) fra danske kilder som et gennemsnit for perioden 2010-2012 sammenlignet med et tilsvarende gennemsnit for referenceperioden (1997-2003). Herudover er reduktionen vist. Til Kattegat (KAT), Danske Bælter (DS) og Den Centrale Østersø (BAP) er kvælstoftilførslen blevet signifikant reduceret med henholdsvis 20, 25 og 26 %. For fosfor er de tilsvarende reduktioner på henholdsvis 12, 6, og 12 %. For fosfor kan man ikke kvantificere kilder til P-depositionen per land, og den ses som et baggrundsbidrag. Det betyder, at der for Danmark kun er reduktionskrav/krav til maksimale udledninger for de havområder af Østersøen, hvortil Danmark har omliggende landområder (Kattegat, Danske Stræder og Centrale Østersø).

**Tabel 3.1.** Reduktion fra Danmark i de normaliserede kvælstoftilførsler via vandløb og direkte spildevandsudledninger (water) og luftdeposition (air) som gennemsnit i perioden 2010-2012 sammenlignet med gennemsnittet for referenceperioden (1997-2003). Data er normaliseret for at udjævne effekten af varierende vejrforhold på kvælstoftilførslerne. Enheden er tons på nær sidste kolonne som er procent. Fra HELCOM in prep.

TN	Reference 1997-2003			2010 - 2012			Reduction			
	Water	Air	Net	Water	Air	Net	Water	Air	Net	Rel. (%)
BOB	0	226	226	0	159	159	0	67	67	29
BOS	0	854	854	0	601	601	0	253	253	30
BAP	1864	8182	10046	1503	5919	7422	361	2263	2625	26
GUF	0	376	376	0	260	260	0	116	116	31
GUR	0	374	374	0	264	264	0	110	110	29
DS	23277	5311	28588	17407	3961	21368	5870	1350	7220	25
KAT	24392	5635	30027	19654	4313	23967	4739	1322	6061	20
<b>BAS</b>	<b>49533</b>	<b>20958</b>	<b>70491</b>	<b>38563</b>	<b>15478</b>	<b>54041</b>	<b>10970</b>	<b>5480</b>	<b>16450</b>	<b>23</b>

**Tabel 3.2** Reduktion fra Danmark i de normaliserede fosfor tilførsler via vandløb og direkte spildevandsudledninger (water) som gennemsnit i perioden 2010-2012 sammenlignet med gennemsnittet for referenceperioden (1997-2003). Enheden er tons på nær sidste kolonne som er procent. Fra HELCOM in prep.

TP	Reference 1997-2003		2010 - 2012		Reduction	
	Water	Net	Water	Net	Abs.	Rel. (%)
BAP	59	59	52	52	7	12
DS	1040	1040	982	982	58	6
KAT	829	829	732	732	97	12
<b>BAS</b>	<b>1928</b>	<b>1928</b>	<b>1767</b>	<b>1767</b>	<b>161</b>	<b>8</b>

For at opfylde MAI er der for hvert land beregnet et loft (input ceiling) for hvor meget vand- og luftbåren kvælstof henholdsvis fosfor hvert land må udlede til de syv overordnede havområder i Østersøen for at kunne opfylde HELCOM's eutrofieringsmålsætninger for de åbne havområder. I tabel 3.3 er

angivet Danmarks inputloft for kvælstof (ceiling – f.eks. Kattegat 29.319 tons), hvor meget Danmark har reduceret sine N tilførsler fra referenceperioden (1997-2003) til perioden 2010-2012 (f.eks. Kattegat 6.061 tons) og hvad den normaliserede tilførsel har været i perioden 2010-12 (input – f.eks. Kattegat 23.697 tons). Endvidere vises, hvor meget N-tilførslen i 2010-12 udgør af input loftet – f.eks. 82 % for Kattegat. Det betyder at Danmark som gennemsnit i perioden 2010-12 har udledt 18 % mindre kvælstof end det maksimalt tilladelige. En statistisk analyse udført af DCE viser for alle syv overordnede havområder i Østersøen, at Danmarks tilførsel i 2010-2012 lå statistisk signifikant under de maksimalt tilladte tilførsler (ceilings). De tilsvarende tal er vist for fosfor i tabel 3.4. De danske udledninger af fosfor i 2010-12 lå statistisk signifikant under det maksimalt tilladelige for Kattegat og Danske Stræder, men var mere end en faktor 2 (245 %) over loftet til den Centrale Østersø (BAP).

**Tabel 3.3.** Danmarks loft for kvælstofudledninger (ceiling) til de syv overordnede havområder i Østersøen, reduktion i normaliserede udledninger fra referenceperioden (1997-2003) til perioden 2010-2012 (Achieved), normaliserede udledninger 2010-2012 (Input) samt hvor meget udledningerne i 2010-2012 udgør af de maksimalt tilladte kvælstofudledninger. Enheden er tons på nær sidste kolonne som er procent. Fra HELCOM in prep.

	Ceiling	Achieved	Input	% of ceiling
<b>Denmark</b>				
BOB	231	67	159	69
BOS	904	253	601	66
BAP	7910	2625	7422	94
GUF	334	116	260	78
GUR	381	110	264	69
DS	30313	7220	21368	70
KAT	29319	6061	23967	82
<i>Sum</i>	<i>69392</i>	<i>16450</i>	<i>54041</i>	<i>78</i>

**Tabel 3.4.** Som tabel 3.3 men for fosfor.

	Ceiling	Achieved	Input	% of ceiling
<b>Denmark</b>				
BAP	21	7	52	245
DS	1040	58	982	94
KAT	829	97	732	88
<i>Sum</i>	<i>1890</i>	<i>161</i>	<i>1767</i>	<i>93</i>

Maksimum allowable inputs (MAI) til de syv overordnede havområder, som svarer til tilførselsloftet (inputs ceilings) fra alle lande og kilder, er vist for kvælstof (tabel 3.5) og fosfor (tabel 3.6). Heraf fremgår at MAI er opfyldt for Danske Stræder og Kattegat i perioden 2010-12 for både kvælstof og fosfor, men ikke for Centrale Østersø.

**Tabel 3.5** Maximum allowable inputs (MAI) (her kaldet ceilings) af kvælstof til de syv overordnede havområder i Østersøen, reduktion i normaliseret kvælstoftilførsel fra referenceperioden (1997-2003) til 2010-12, normaliserede input i 2010-12 (input) og hvor meget de udgør af MAI i % (% ceilings). Enheden er tons på nær sidste kolonne som er procent. Fra HELCOM in prep.

	<b>Ceiling</b>	<b>Achieved</b>	<b>Input</b>	<b>% of ceiling</b>
<b>Total Baltic Sea</b>				
BOB	57622	660	56962	99
BOS	79372	6526	72846	92
BAP	325001	53910	370012	114
GUF	101800	-316	116568	115
GUR	88418	-2840	91257	103
DS	65998	12453	53545	81
KAT	74001	15077	63685	86
<b>Sum</b>	<b>792212</b>	<b>85471</b>	<b>824875</b>	<b>104</b>

**Table 3.6** Som tabel 3.5 med for fosfor.

	<b>Ceiling</b>	<b>Achieved</b>	<b>Input</b>	<b>% of ceiling</b>
<b>Total Baltic Sea</b>				
BOB	2675	-149	2824	106
BOS	2773	246	2527	91
BAP	7360	3669	14651	199
GUF	3600	1031	6478	180
GUR	2020	-12	2340	116
DS	1601	87	1514	95
KAT	1687	141	1546	92
<b>Sum</b>	<b>21717</b>	<b>5013</b>	<b>31882</b>	<b>147</b>

Der forventes yderligere reduktioner i f.eks. tilførslerne i de kommende år som konsekvens af forskellige iværksatte og planlagte tiltag til at reducere udledningerne, f.eks. i relation til vandplaner, Gøteborg Protokollen, et kommende NECII direktiv m.v.

DCE har til det seneste HOD møde i HELCOM (HOD 47 9.-10 i HELCOM 2014b) beregnet, hvor langt under tilførselsloftet de normaliserede N- og P-tilførslerne har været i 2012 for de farvande, hvor tilførslerne statistisk sikkert var lavere end MAI, når der tages højde for den statistiske usikkerhed. Resultatet er vist i tabel 3.7 og 3.8. Denne analyse viser, at for Danske Stræder ligger N-tilførslerne mindst 14.300 tons under loftet (input ceilings) og tilsvarende ligger N-tilførslerne for Kattegat knap 8.000 tons under. Fosfortilførslerne til Danske Stræder og Kattegat ligger også statistisk sikkert under loftet (MAI), mindst 173 tons P til Danske Stræder og 88 tons for Kattegat. Hvis de 173 tons anvendes til at opfylde reduktionskrav i nabo-havområdet "Den Centrale Østersø", ville dette tælle for en reduktion i P-tilførslerne på  $173/3,2$  tons P = 54 tons P jf. tabel 2.2 (se spørgsmål 2). Det fremgår dog ikke af aftalen om HELCOM's reduktionsmål, hvordan en ekstra reduktion i et bassin kan fordeles mellem medlemslande, men i HELCOM 2014b er vist to metoder, hvordan den ekstra reduktion eventuelt kunne fordeles: i forhold til landets andel af reduktionskravet til havområdet, eller i forhold hvor stor en andel af den opnåede reduktion, det enkelte land har haft.

**Tabel 3.7.** Med fed skrift gives et estimat for hvor mange tons de statistisk estimerede normaliseret vand- og luftbårne N-tilførsler i 2012 er under tilførselsloftet (inputs ceiling) når der samtidigt tages højde for den statistiske usikkerhed på disse tilførsler. “-“ Tilførslerne ligger over loftet (input ceiling). Enheden er tons og “,” er tusinde adskiller. Fra HELCOM in prep.

	<b>BB</b>	<b>BS</b>	<b>BP</b>	<b>GF</b>	<b>GR</b>	<b>DS</b>	<b>KT</b>
<b>Input ceiling</b>	57,622	79,372	325,001	101,800	88,418	65,998	74,001
<b>Estimated input 2012</b>	59,032	72,856	364,152	117,679	91,222	50,157	64,287
<b>Input 2012 minus input ceiling</b>	1,410	<b>-6,876</b>	39,151	15,879	2,804	<b>-15,841</b>	<b>-9,714</b>
<b>Estimated Uncertainty</b>	1,764	2,220	13,298	2,440	7,153	1,533	1,734
<b>Fulfilment margin</b>	-	<b>4,656</b>	-	-	-	<b>14,308</b>	<b>7,980</b>

**Tabel 3.8.** Med fed skrift gives et estimat for hvor mange tons de statistisk estimerede normaliseret vand- og luftbårne P-tilførsler i 2012 er under tilførselsloftet (inputs ceiling) når der samtidigt tages højde for den statistiske usikkerhed på disse tilførsler. “no”: Tilførslerne i 2012 er under tilførselsloftet (input ceiling), men når der også tages højde for den statistiske usikkerhed på tilførslerne kan det ikke statistisk sikkert vurderes om tilførslerne er under loftet. “-“ Tilførslerne ligger over loftet. Enheden er tons og “,” er tusinde adskiller. Fra HELCOM in prep.

	<b>BB</b>	<b>BS</b>	<b>BP</b>	<b>GF</b>	<b>GR</b>	<b>DS</b>	<b>KT</b>
<b>Input ceiling</b>	2,675	2,773	7,360	3,600	2,020	1,601	1,687
<b>Estimated input 2012</b>	2,669	2,376	14,754	7,254	2,566	1,345	1,536
<b>Input2012 minus input ceiling</b>	<b>-6</b>	<b>-397</b>	7,365	3,654	546	<b>-256</b>	<b>-151</b>
<b>Uncertainty</b>	142	130	446	343	254	83	63
<b>Fulfilment margin</b>	no	<b>267</b>	-	-	-	<b>173</b>	<b>88</b>

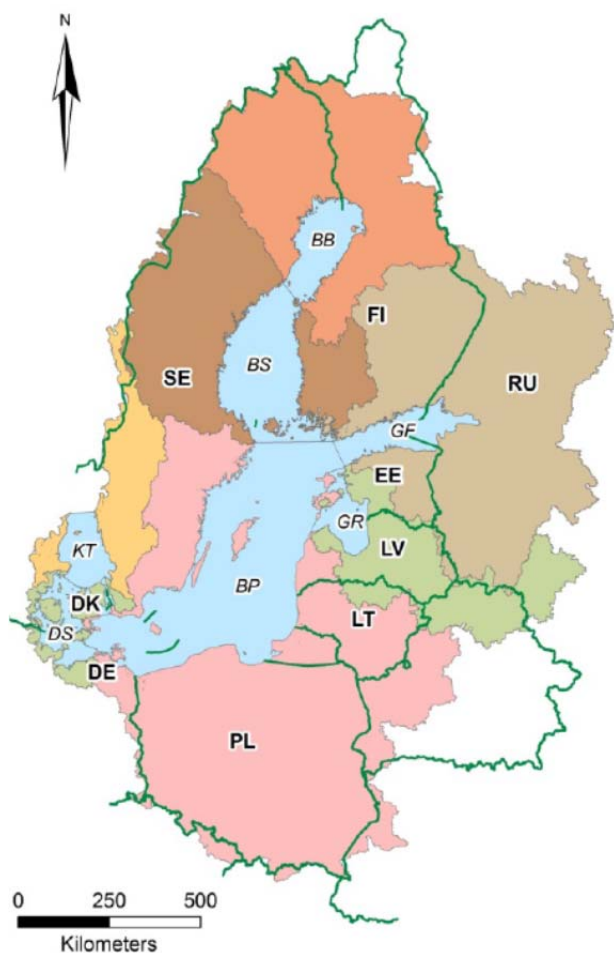
## 4 Beskrivelse af hvordan HELCOMs Maximum Allowable Inputs (MAI) kan nedbrydes til mindre farvandsområder end de nuværende HELCOM inddelinger og en vurdering af hvor små farvande, det vil være muligt at opdele i.

HELCOMs reduktionsmål er opgjort på bassinskala, hvor de danske maksimale tilladte udledninger (MAI) er fordelt på hhv. Kattegat, De Danske Stræder (Danish Straits) og Den Centrale Østersø (Baltic Proper) (HELCOM 2013b). Denne opdeling skyldes, at HELCOM anvender BALTSEM-modellen fra BNI i Stockholm, hvor de resulterende MAI opgøres for kun 7 bassiner i hele Østersøen (Figur 4.1) (HELCOM, 2013c). Det betyder, at den gennemsnitlige miljøtilstand i et bassin ikke nødvendigvis er repræsentativ for alle underområder, og at disse kan have forskellig sårbarhed overfor lokale udledninger. For de danske farvande vil det derfor være hensigtsmæssigt at nedbryde MAI i mindre områder, da der på lokal skala forekommer forskellige grader af vandudveksling med de tilstødende områder, opblanding/lagdeling, størrelse af NP-udledninger, næringsstofsætning og økologisk tilstand. Områderne må dog heller ikke være for små, da det ikke altid giver nogen mening af adskille dem f.eks. på grund af en stor vandudveksling og fordi man ikke har en så detaljeret opdeling af tilførsler fra luften.

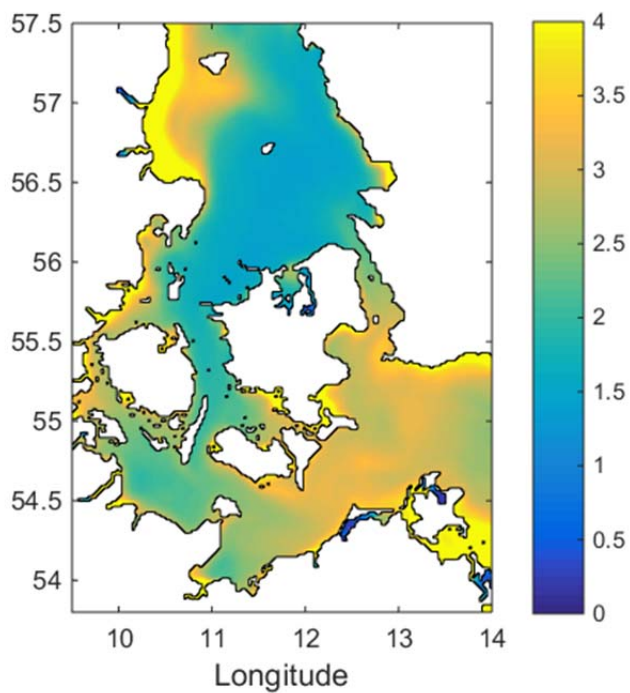
En opdeling af et bassin i mindre områder kræver en detaljeret rumlig viden om systemet, som ikke altid kan opnås ud fra monitoringsdata. I denne sammenhæng er 3d hydrodynamiske-økologiske modeller et nyttigt værktøj til at beskrive de komplicerede sammenhænge. En model med en horisontal opløsning på ca. 2x2 km og en vertikal opløsning på 1-2 m vil være egnet til at løse denne opgave i næste fase af projektet (Figur 4.2). Desuden skal den økologiske model kunne beskrive næringsstoffs-koncentrationer (N og P), chl *a* koncentrationer, secchidybde og iltforhold ved bunden, da disse parametre indgår som miljøindikatorer i Havstrategidirektivet og Østersøhandlingsplanen (the Baltic Sea Action Plan). Den økologiske model skal interkalibreres med BALTSEM modellen på bassinskala for at sikre, at de er konsistente. Modellen skal desuden dække de indre danske farvande, hvor det er påtænkt at etablere havbrug. DCE, Aarhus Universitet råder over en model, som består af den hydrodynamiske model HBM (fra DMI) og den biogeo-kemiske model ERGOM, som er sat op og valideret for Østersøen-Nordsøen (Figur 4.2) (Maar et al. 2011, 2014). ERGOM omfatter næringsstoffer (N, P og Si), 3 planteplanktongrupper (kiselalger, flagellater og blågrønner), mikro- og mesodyreplankton, detritus, ilt og organisk indhold i sedimentet. Modellen kan bruges til at beregne den bedste fordeling af MAI i forhold til opfyldelse af miljømålene i mindre områder. Det skal dog nævnes, at miljømålene pt. er opgjort for 13 subbassiner i BALTSEM modellen, som for de åbne danske farvande er inddelt i Kattegat, Lillebælt, Storebælt og Øresund. De samme miljømål vil blive anvendt for underområderne, da det vil kræve for store modelkørsler at genberegne miljømål på en mindre rumlig skala. Landbaserede tilførsler og miljøtilstand er dog opgjort på en mindre skala end for miljømålene og kan bruges til en opdeling i underområder. DCE



modellen vil kunne bruges til at definere størrelsen på underområderne, påpege hvilke underområder, der opfylder miljømålene, og om det er muligt at etablere havbrug i disse områder indenfor rammerne af MAI.



**Figur 4.1.** Bassinopdeling af Østersøen i NEST modellen. KT=Kattegat, DS=danske stræder, BP=centrale Østersø, GR=Rigabugten, GF= Finske Bugt, BS=Botniske Hav og BB=Botniske Bugt. Fra HELCOM.

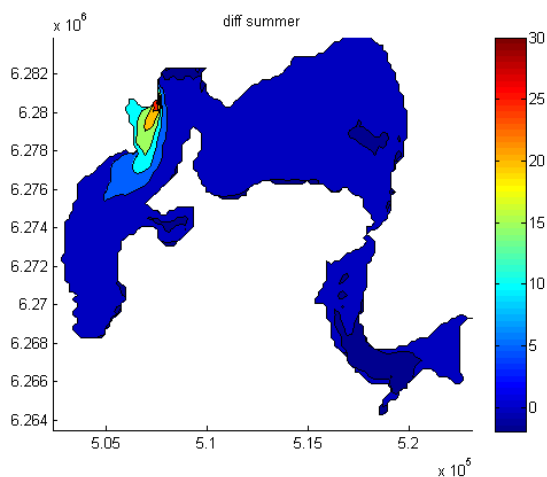


**Figur 4.2.** Eksempel på årlig gennemsnit af chl a værdier (mg/m<sup>3</sup>) fra DCE modellen for de danske farvande. Modellen har en horisontal opløsning på 1 sømil.

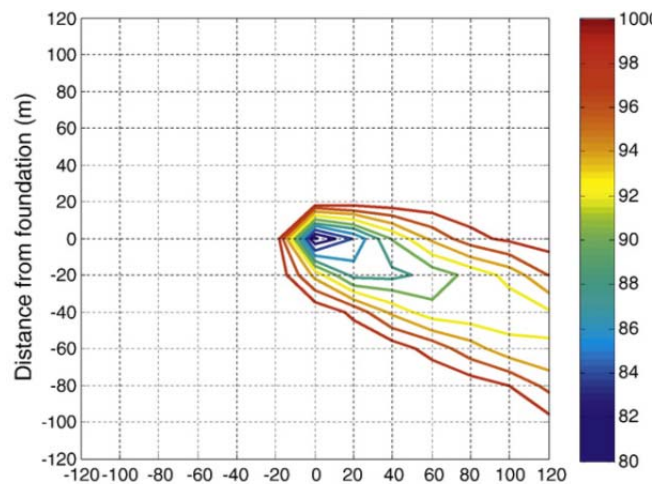
## 5 Beskrivelse af principperne for fastsættelsen af kompensationens størrelse ift. afstand og strømforhold mellem kompensation(sopdræt) og havbruget.

Tilladelse til produktion af havbrugsfisk kan være betinget af, der iværksættes en kompensationsproduktion af biomasse af tang og muslinger. Det antages, at udgangspunktet er, at merudledningen af N+P fra den forøgede fiskeproduktion skal balanceres ved høst af en tilsvarende mængde af N+P i form af tang og muslinger. For at kunne vurdere sikkerheden for at kompensationsproduktionen opfylder kravene, kræver det at produktionen af tang og muslinger er testet i fuldskala-anlæg i området. Udover N+P-fjernelse, er der også en miljøgevinst forbundet med kompensationsopdræt, idet muslinger filtrerer vandet for planktonalger og dermed forbedrer vandets klarhed i nærområdet. Omkring farmene belaster muslingekulturer dog den underliggende havbund med sort slam, og tangkulturer skygger for den naturlige tang- og ålegræsvegetation. Ideelt set skal kompensationsopdrættet placeres så tæt som muligt og nedstrøms havbruget for at opnå en tæt kobling mellem udledninger og kompensation. En anden mulighed er at placere kompensationsopdrættet mere kystnært, hvor det samtidig kan afhjælpe eutrofieringsproblemer og bidrage mest til at forbedre havområdet. Natur- og Miljøklagenævnets afgørelse for havbruget ved Endelave kan dog komme til at have en indflydelse på kravene til placering af kompensation i fremtiden.

Med modelscenarier for forskellige strøm- og miljøforhold, kan der opsættes principper for placeringen og størrelsen af et kompensationsanlæg ift. et havbrug, således at N-balancen opretholdes i området med den størst mulige miljøgevinst. Som eksempel kan der anvendes 3d modeller, som kan opsættes lokalt på forskellig skala (500 m til 2 km), der beskriver spredning af N fra havbruget, optagelsen af N i tang og muslinger i kompensationsopdræt samt miljøeffekter: Eksempler på 3d modellering fra DCE/AU er vist i figur 5.1 og 5.2.



**Figur 5.1.** Eksempel på modelresultat (%-ændring i chl a) fra en muslingefarm i Skive fjord. Fra DCE.



**Figur 5.2.** Eksempel på modelresultat af fortyndingen af chl a (%) omkring et vindmølle-fundament i midten af figuren. Fra DCE.

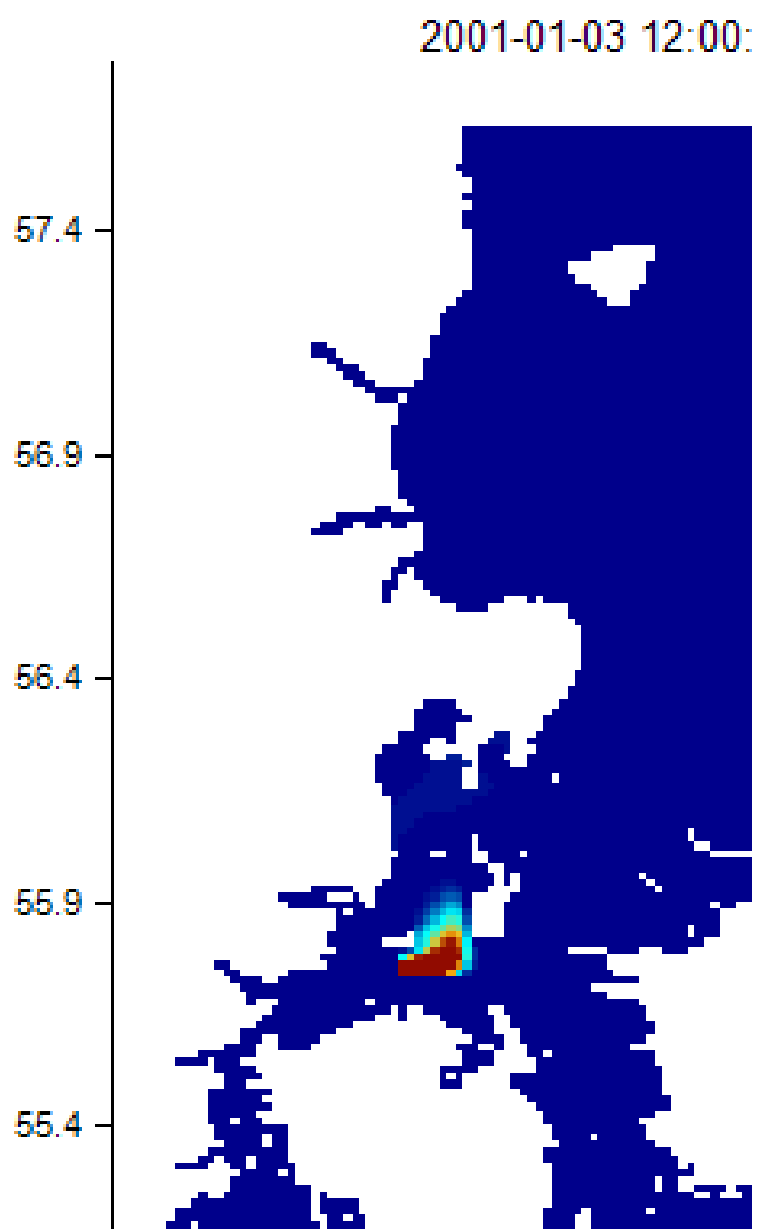
## **6 En beskrivelse af hvorledes det videnskabelige grundlag for, hvordan næringsstoffer fordeler sig med strømmen (fordeling til hhv. kystnære og åbne farvande, fordeling til forskellige farvandsområder, fordeling til hhv. vandsøjle og havbund), kan omsættes til generelle antagelser**

Havbrug vil medføre en lokal udledning af næringsstoffer (kvælstof og fosfor, N+P), som spredes via strømmen væk fra havbruget. Fordelingen af N+P afhænger af strømhastigheder og strømretning samt opblanding af vandsøjlen, hvor en relativ stor gennemstrømning i retningen væk fra kystnære områder vil være mest optimal. Næringsstoffernes fordeling er dog ikke kun afhængige af strømmen, idet de også omsættes i økosystemet. Der findes således ikke nogen generelle antagelser om fordeling mellem vandsøjle og havbunden, da de indre danske farvande er meget dynamiske og forskellige mht. lagdeling, opblanding, strømforhold, dybde osv. Hvordan næringsstofferne konkret vil sprede sig fra et havbrug vil kræve specifik modellering for hvert område.

Udledning af kvælstof fra havbruget kan medføre en øget biomasse og produktion af planteplankton, der vil kunne skygge for væksten af makroalger og ålegræs. En øget produktion af planteplankton samt tab af organisk stof fra produktionen kan endvidere medføre forringede iltforhold og iltsvind. Ekskrementer og foderspild fra havbruget kan desuden aflejres som slam på bunden og give negative effekter på bundsamfundet. Hvis NP-udledninger fra havbruget spredes til kystnære områder kan det medføre en forværring af miljøtilstanden i forhold til Vandrammedirektivet. Fordelingen af N+P og størrelsen af miljøpåvirkninger kan modelleres ved anvendelse af avancerede 3d modeller, der kobler fysiske og biologiske forhold i havet.

Modellen bør indeholde en 3d hydrodynamisk model med en horisontal opløsning på <2 km og en vertikal opløsning på 1-2 m, samt en biogeokemisk model, der beskriver omsætningen af næringsstoffer (N+P) i vandsøjlen samt sedimentation/resuspension og sedimentprocesser. Modellen skal derfor indeholde N+P, planteplankton, dyreplankton, detritus, ilt og organisk indhold i sedimentet, som bl.a. er indeholdt i ERGOM modellen som anvendes af DCE (Maar et al. 2011, 2014). Modelscenarier for forskellige strømforhold og underområder kan belyse, hvor stor afstand fra kysten havbruget bør placeres for at overholde miljømålene, størrelsen af N-eksporten til nærliggende åbne havområder og hvor stor en del af N-udledningen, der ender i form af detritus og synker ned på havbunden. Resultaterne fra disse modelscenarier kan danne grundlag for generelle antagelser omkring fordelingen af næringsstoffer med strømmen fordelt på underområder. DCE, Aarhus Universitet råder over sådanne 3d modeller, der kan sættes op for forskellige underområder efter behov (Figur 6.1).

**Figur 6.1.** Eksempel på model-simulering af spredning af N fra et havbrug i Kattegat. Fra DCE.



## 7 Referencer

DMI 2014. Fremtidige klimaforandringer i Danmark. Danmarks Meteorologiske Institut. Danmarks Klimacenter rapport nr. 6 2014.

Gustafsson, B.G 2000: Time-Dependent Modeling of the Baltic Entrance Area.1. Quantification of Circulation and Residence Times in the Kattegat and the Straits of the Baltic Sill. *Estuaries* Vol. 23, No. 2, p. 231–252 April 2000.

Gustafsson, B.G & Mörth, C.M. In prep. Revision of the Maximum Allowable Inputs and Country Allocation Scheme of the Baltic Sea Action Plan V. 3 with contributions from the BNI team: Bärbel Müller-Karulis, Erik Gustafsson, Bonghi Hong, Christoph Humborg, Steve Lyon, Marmar Nekoro, Miguel Rodriguez-Medina, Oleg Savchuk, Erik Smedberg, Alexander Sokolov, Dennis Swaney, & Fredrik Wulff. Baltic Nest Institute, Stockholm University, SE-106 91 Stockholm.

Hansen, J.W. (red.) 2014: Marine områder 2013. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 142 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr.

HELCOM (in prep): CART follow-up assessment. Evaluating progress in fulfilling the revised Baltic Sea Action Plan nutrient reduction targets based on input data for 1994-2012.

HELCOM 2007. HELCOM Baltic Sea Action Plan (BSAP). HELCOM Ministerial Meeting. Adopted in Krakow, Poland, 15 November 2007.

HELCOM 2013a. Approaches and methods for eutrophication target setting in the Baltic Sea region. *Balt. Sea Environ. Proc.* No. 133

HELCOM 2013b. HELCOM Copenhagen Declaration "Taking Further Action to Implement the Baltic Sea Action Plan - Reaching Good Environmental Status for a healthy Baltic Sea". Adopted 3 October 2013.

HELCOM 2013c. Summary report on the development of revised Maximum Allowable Inputs (MAI) and updated Country Allocated Reduction Targets (CART) of the Baltic Sea Action Plan. Supporting document for the 2013 HELCOM Ministerial Meeting.

HELCOM 2014a: Draft Core Pressure Indicator on nutrient inputs. Draft for HELCOM HOD 47-2014 (endelig version publiceres til marts 2015), 25 pp.

HELCOM 2014b: Proposal for a CART follow-up system. Draft for HELCOM HOD 47-2014 (endelig version til HOD-48 juni 2014), 42 pp.

HELCOM 2014c: Eutrophication status of the Baltic Sea 2007-2011 - A concise thematic assessment. *Baltic Sea Environment Proceedings* No. 143

HELCOM 2015: Updated Fifth Baltic Sea Pollution load compilation (PLC-5.5). *Baltic Sea Environment Proceedings*. No. xxx

Larsen, S.E. and Svendsen, L.M. (2013). Statistical aspects in relation to Baltic Sea Pollution Load Compilation. Task 1 under HELCOM PLC-6. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 34 pp. Technical Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy No. 33.

Maar, M., Larsen, J., Møller E.F., Madsen K.S., Wan Z., She J., Jonasson L., Neumann, T. (2011). Ecosystem modelling across a salinity gradient from the North Sea to the Baltic Sea. *Ecol Model.* 222:1696-1711.

Maar, M., Rindorf, A., Møller E.F., Madsen, K.S., Christensen A., van Deurs, M. (2014). Zooplankton mortality in 3D ecosystem modelling considering variable spatial-temporal fish consumption in the North Sea. *Prog Oceanogr.* 124:78-91.