

Eutrofiering i Østersøen: Kuren virker

Genopretningen af miljøet i Østersøen, specielt hvad eutrofiering angår, er på rette vej. Et omfattende studie baseret på 112 års data har dokumenteret, hvornår miljøproblemerne startede, hvornår de toppede og hvordan Østersøen, nu efter et par årtiers reduktioner i tilførslerne af næringsstoffer, som et samlet system er på vej mod bedre miljøforhold. En yderligere reduktion af tilførslerne er dog påkrævet, hvis de opstillede mål om en god miljøtilstand skal nås.

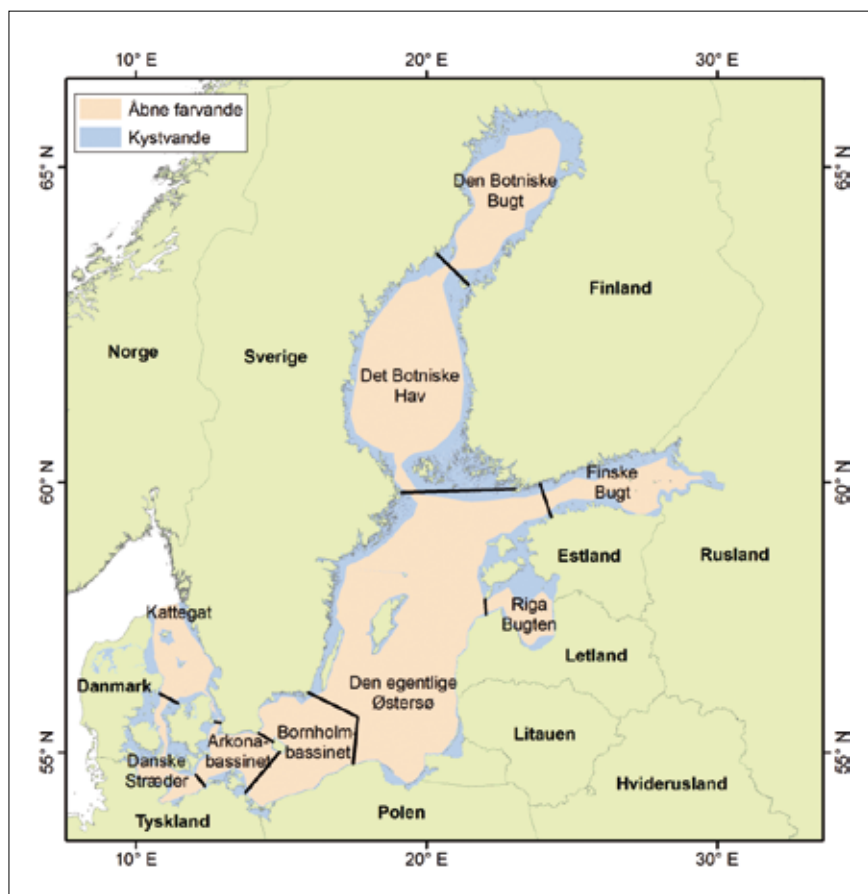
JESPER H. ANDERSEN, JACOB CARSTENSEN
& CIARAN MURRAY

Indledning og baggrund

Store dele af Østersøen har i mange år været eutroferet som følge af, at der gennem mange år er tilført store mængder af kvælstof og fosfor fra byer, industrier og dyrkede arealer /1/.

Landene omkring Østersøen har arbejdet målrettet på at forbedre miljøtilstanden, herunder nedbringe tilførslerne af både kvælstof og fosfor. Denne 'genoprettningsplan' har været faseopdelt. Første fase indeholdt et 50% reduktionsmål for både kvælstof og fosfor. Anden fase, betegnet som Østersøhandlingsplanen, blev vedtaget i 2007 og revideret i 2013. Denne indeholder et såkaldt 'eutrofieringssegment' med sub-regionale økologiske målsætninger og tilhørende maksimalt tilladelige tilførselskvoter per bassin for kvælstof og fosfor samt nationale maksimalt tilladelige udledningsmængder for disse næringsstoffer.

Man kan så spørge sig selv om denne form for genopretning af de økologiske forhold i de åbne dele af Østersøen virker? Østersølandene har udarbejdet en række tematiske vurderinger af eutrofieringstilstanden i Østersøen. Den første, som er fra 2009 og dækker perioden 2001-2006, er reelt en baseline-rapport for Østersøhandlingsplanen og dokumenter at hovedparten af Østersøen er påvirket af eutrofiering og dermed må klassificeres som problemområder /1/. Kun de åbne dele af Den Botniske Bugt, de nordøstlige åbne dele af Kattegat samt enkelte kystområder i Det Bot-



Figur 1. Østersøen og bassiner anvendte i klassifikationen af eutrofieringstilstanden i de åbne dele (violette område) af Østersøen 1902-2012. Bemærk at data fra kystvande ikke er inkluderet i undersøgelse. Figuren er baseret på /3/.

niske Hav er vurderet som ikke-problemområder. Den anden vurdering af eutrofieringstilstanden udkom i 2014 og dækker perioden 2007-2011. I denne rapport konkluderes det dels, at eutrofiering er et storskala problem i Østersøen, og at de åbne dele af Den Botniske

Bugt, på grund af reviderede målsætninger og et forbedret vurderingsværktøj, nu også betragtes som et problemområde /2/.

De gennemførte vurderinger dækker begge over flerårige perioder og data er således midlet over disse perioder. I de områder hvor til-

standen er tæt på grænsen for, hvad der kan betragtes som problemområder og ikke-problemområder betyder opgørelsen imidlertid et informationstab. Vi har derfor sammen med kollegaer fra Sverige og Finland sammenstillet et mangeårigt datasæt dækkende perioden 1901-2012 og, i de år, hvor der foreligger data, vurderet eutrofieringstilstanden i de forskellige dele af Østersøen /3/.

Metodik

Østersøen er et brakvandsområde omgivet af 9 lande: Danmark, Sverige, Finland, Rusland, Estland, Letland, Lithauen, Polen og Tyskland. Det er også et af de bedst undersøgte regionale havområder i verden (Figur 1).

Miljøtilstanden er generelt set ikke tilfredsstillende, blandt andet som følge af tilførsler af forurenende stoffer (både næringssalte og miljøfarlige stoffer), fiskeri og fysisk forstyrrelse /4/. Konsekvenserne af eutrofiering er udbredt i store dele af Østersøen, bl.a. er der permanent iltvind i store dele af de centrale dybe bassiner, ligesom der er sæsonbetnende iltvind i mange kystvande /3/. For at forstå den tidlige og rummelige udvikling i eutrofieringen af Østersøen har vi sammenstillet et større datasæt bestående af indikatorer for næringsstoffer (DIN og DIP), fytoplankton (CHL), sigtddybe (SD), iltvind (OD) og bundfauna (BI) i perioden 1901-2014 og sammenholdt disse med specifikke målsætninger for hvert bassin (Tabel 1). For en detaljeret beskrivelse af dette unikke datasæt henvises til /3/.

Baseret på de nævnte indikatorer har vi klassificeret eutrofieringstilstanden i de år og for de bassiner, hvor der var tilstrækkeligt med data. Klassifikationen er foretaget med den seneste version af HEAT, som er HELCOM's officielle værktøj til vurdering af eutrofieringstilstanden /5/.

HEAT er kort fortalt et indikatorbaseret tilstandsvurderingsværktøj. For at kunne klassificere eutrofieringstilstande skal man for hver enkelt indikator have to tal, et for den bassin-specifikke målsætning og et for den basinspecifikke tilstand, for at kunne beregne 'eutrofieringsratioen' (ER). For indikatorer med en

Tabel 1. Miljømål anvendt i undersøgelserne. Tabellen er baseret på /3/.

	G1: Næringssalte		G2: Direkte effekter		G3: Indirekte effekter	
	DIN	DIP	CHL	SD	OD	BI
Kattegat	5,0	0,49	1,5	7,6	-	0,68 ¹
Danske Stræder	4,6	0,53	1,6	8,0	-	0,68 ¹
Arkona-bassinet	2,9	0,36	1,8	7,2	-	0,68 ¹
Bornholm-bassinet	2,5	0,30	1,8	6,8	6,4	7,20 ²
Den egentlige Østersø	2,5	0,29	1,6	7,7	8,7	5,25 ^{2,3}
Riga Bugten	5,2	0,41	2,7	5,0	-	-
Finske Bugt	3,8	0,65	2,0	5,5	8,7	3,91 ²
Det Botniske Hav	2,8	0,19	1,5	6,8	-	2,11 ^{2,4}
Den Botniske Bugt	5,2	0,07	2,0	5,8	-	1,37 ²

¹ Dansk Kvalitets Indeks (DKI), det danske bundfaunaindeks som rangerer fra 1,0 to 0,0.

² Gennemsnitlig regional diversitet.

³ Kun data fra de sydøstlige dele af Gotland-bassinet indgår.

⁴ Miljømålet for Det Botniske Hav er for perioden 2004 – 2011 korrigeret til 2,98 grundet forekomst af invasive børsteorme (Marenzelleria spp). For detaljerede forklaringer henvises til /3/.

Tabel 2. Eutrofierings-ratio (ER), intervaller for de enkelte klasser og den tilhørende status-klassifikation med dens fortolkning. Tabellen er baseret på /3/.

ER	Status	Klasse	Afvigelse fra målsætning
$0,0 \leq ER \leq 0,5$	Ikke-problemområde	Høj	Ingen eller ubetydelig afvigelse fra målsætningen
$0,5 < ER < 1,0$		God	Mindre afvigelse under målsætningen
$1,0 \leq ER < 1,5$	Problemområde	Moderat	Mindre afvigelse fra målsætningen
$1,5 \leq ER < 2,0$		Ring	Større afvigelse fra målsætningen
$ER \geq 2,0$		Dårlig	Væsentlig afvigelse fra målsætningen

numerisk positiv respons beregnes ER for en indikator som:

$$ER = ET/EM (+ \text{respons}), \quad (1)$$

hvor ET er eutrofieringstilstanden og hvor EM er den indikator-baserede eutrofieringsmålsætning. For indikatorer med en numerisk negativ respons (SD og OD) beregnes ER som:

$$ER = EM/ET (\div \text{respons}) \quad (2)$$

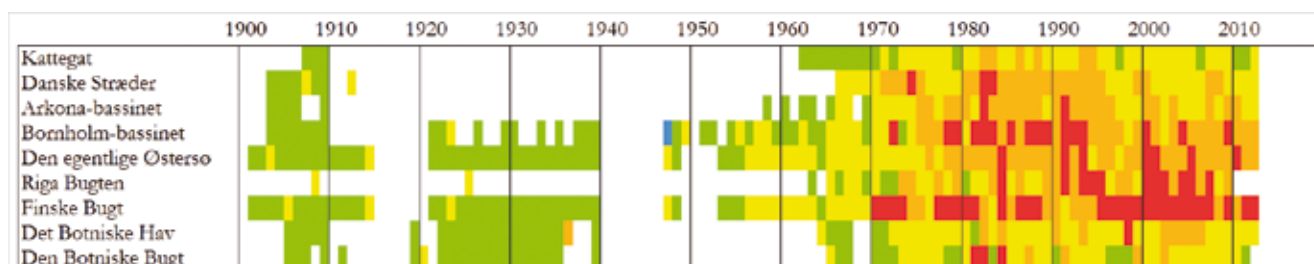
Indikatorerne er opdelt i tre grupper: G1 er 'næringssalte', G2 er 'direkte effekter' og G3 er 'indirekte effekter', jvf. EU's Havstrategidirektiv. Et gennemsnit eller et vægtet gennem

sit er beregnet for hver af de tre grupper (se /5/ for detaljer). Statusværdien 1,0 repræsenterer målsætningen for gruppen. Værdier < 1,0 betragtes om 'målopfyldelse', mens områder med værdier > 1,0 betragtes som 'problemområder'. Disse to klasser er underopdelt i 5 klasser jvf. Vandrammedirektivet (Tabel 2).

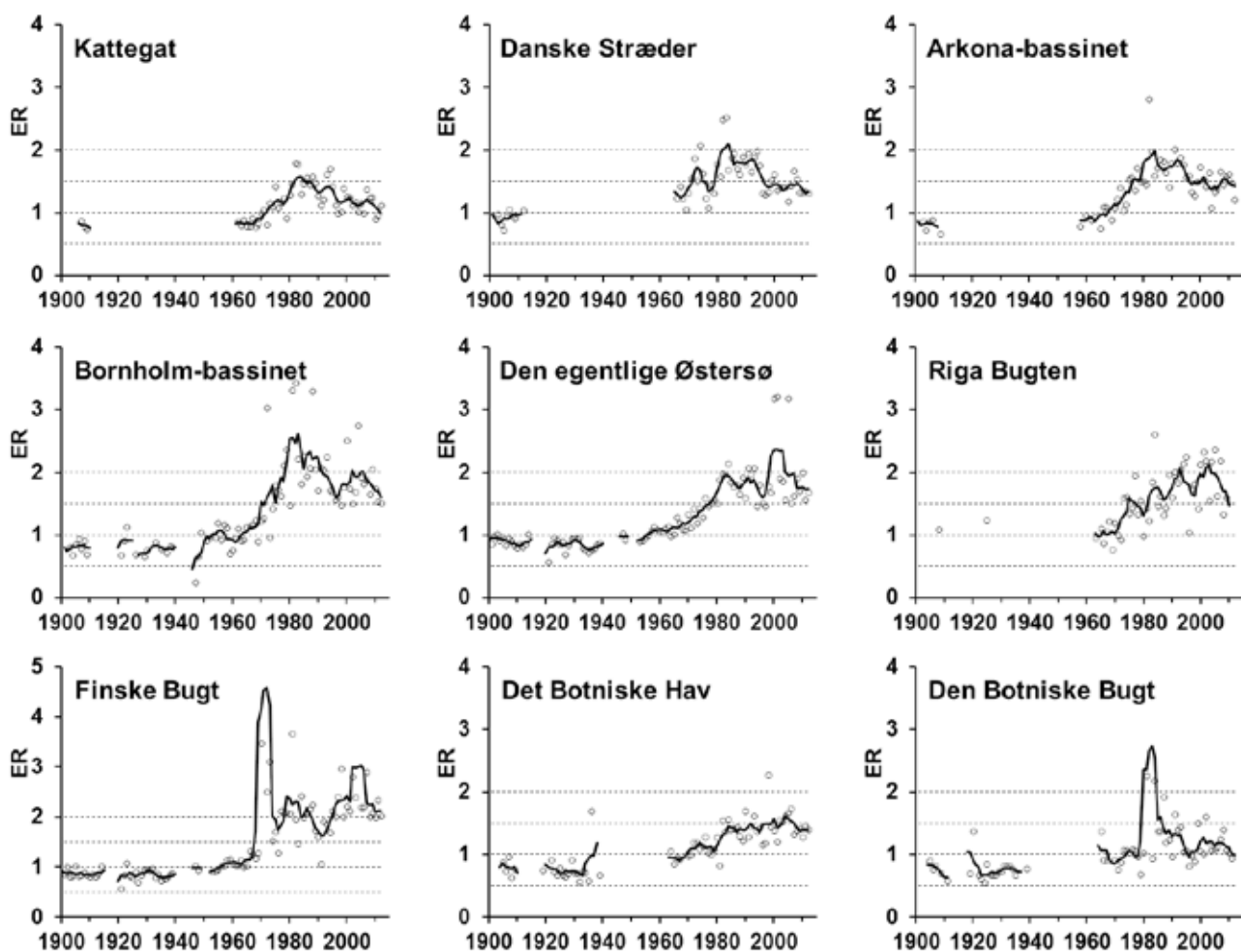
Afslutningsvis gennemføres en vurdering, hvor man på tværs af de tre grupperinger og under hensyntagen til det såkaldte 'one-out-all-out'-princip når frem til en integreret klassifikation af eutrofieringstilstanden.

Resultater

Antallet af potentielle klassifikationer af eutrofieringstilstanden er 9 gange 112, altså



Figur 2. Integreret årlig klassifikation af eutrofieringsstatus. Figuren er baseret på /3/.



Figur 3. Integreret vurdering af eutrofieringsstatus i perioden 1901-2012 i Østersøens ni bassiner. Figuren er baseret på /3/.

1008. Grundet huller i data, bla. under Den Første og Anden Verdenskrig, er der kun gennemført 621 klassifikationer. På trods af disse huller i data fremstår et klart billede af historien om eutrofiering i Østersøen. Frem til den sidste del af 1950'erne var der stort set ikke eutrofieringsproblemer i de åbne dele af Østersøen, og i de danske dele af Østersøen (Arkona-bassinet og Indre Danske Farvande, herunder Kattegat) fortsatte denne tendens frem til midten af 1960'erne (Figur 2).

Fra sidste i 1950'erne kan der identificeres flere udviklingsforløb og perioder. Generelt skiftede tilstande fra ikke-eutrofieret til moderat op gennem 1960'erne. De største ændringer i tilstanden, som gik fra 'moderat' til 'ringe' og i flere bassiner til 'dårlig', indtraf i 70'erne, hvor stort set alle områder af Østersøen var eutrofierede, og eutrofieringstilstanden kulminerede i 1980'erne. Fra starten af 1990'erne er tilstanden gradvist forbedret. I både et dansk og et miljømæssigt perspektiv er det glædeligt at de åbne dele af Kattegat i enkelte år kan klassificeres som ikke-eutrofieret.

De ovenfor beskrevne tendenser bliver

tydeligere, hvis man fokuserer på udviklingen i eutrofierings-ratioen (ER) over tid i de enkelte bassiner. Fire forskellige faser ses tydeligt. Første fase (præeutrofiering) er karakteriseret ved ER-værdier på 1,0 eller mindre og forløb frem til omkring 1960 i de fleste bassiner. Under den næste fase (eutrofiering) blev miljøtilstanden forværret, hvilket er karakteriseret ved stigende ER-værdier frem til starten af 1980'erne. I den tredje fase frem til midten af 1990'erne var eutrofieringstilstanden uændret (stagnation), men i den seneste fase (oligotrofiering) viser Østersøen en gradvis forbedring kendetegnet ved faldende ER-værdier. Udviklingen i de 9 undersøgte bassiner fremgår af Figur 3.

De åbne dele af Kattegat var således i en præeutrofieringsfase indtil slutningen af 1960'erne. Eutrofieringsfasen toppede omkring 1980 og lå derefter på et stabilt niveau frem til slutningen af 1980'erne. Siden da er miljøtilstanden løbende forbedret – i enkelte år så meget at Kattegat ikke klassificeres som eutrofieret.

For de åbne dele af de danske stræder, som i denne sammenhæng er Lillebælt, Storebælt,

Øresund og farvande mellem Danmark og Tyskland, kan det ikke med sikkerhed siges, hvornår eutrofieringen startede, men miljøtilstanden blev ringere i perioden mellem 1960 og 1980. Siden midten af 1990'erne er tilstanden blevet bedre.

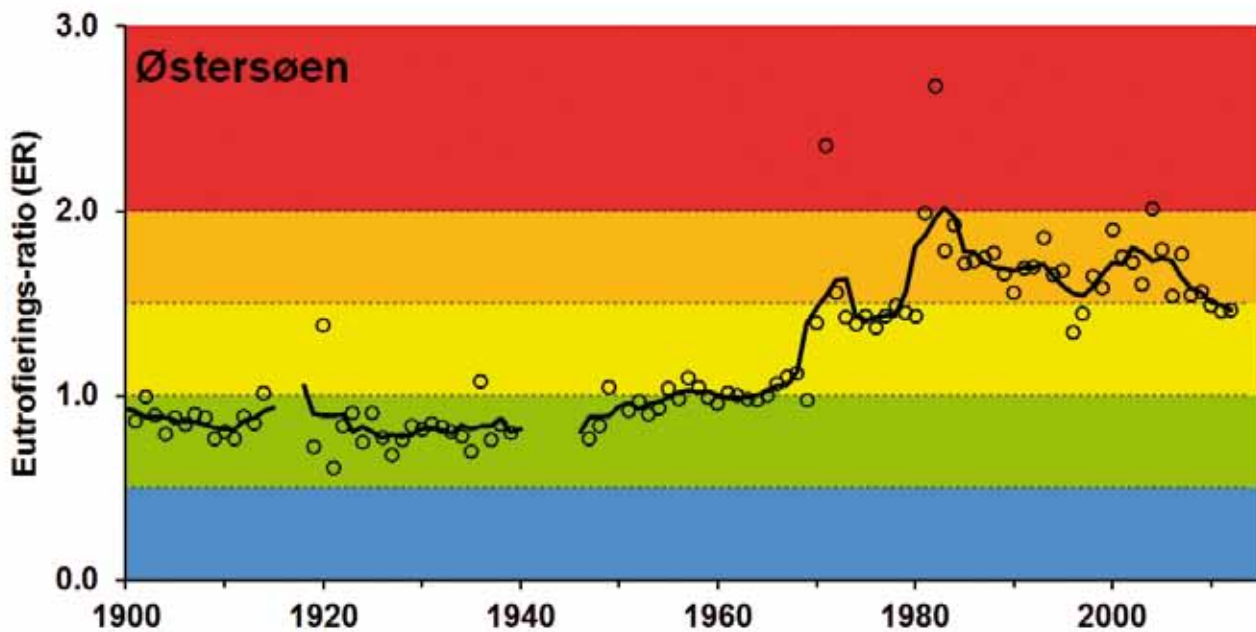
For Arkona- og Bornholm-bassinerne gælder det, at eutrofieringen slog igennem i 1960'erne og toppede i 1980'erne, samt at tilstanden er forbedret siden da.

For de øvrige åbne dele af Østersøen med undtagelse af Den Botniske Bugt er billedet det, at eutrofieringen blev tydelig fra omkring 1960, og at der siden midten af 1980'erne er tale om svagt forbedrede forhold, selvom der er langt til målopfyldelse.

Diskussion og konklusioner

De gennemførte 621 klassifikationer af eutrofieringstilstanden i de åbne dele af Østersøens 9 bassiner over 112 år giver et klart historisk billede af udviklingen, omend der er regionale forskelle og i visse tilfælde timings forskelle.

Overordnet set har vi fået en bedre forståelse af, hvornår eutrofieringen satte ind, og



Figur 4. Integreret vurdering af eutrofieringsstatus for hele Østersøen i perioden 1901-2012 baseret på 621 individuelle klassifikationer af eutrofieringstilstanden. Farvekoder som i Tabel 2. Den gennemgående linje er et 5-års løbende gennemsnit. Figuren er baseret på /3/.

hvornår politiske tiltag, først og fremmest rensning af spildevand fra punktkilder og indgreb mod tab af kvælstof fra dyrkede arealer, begyndte at virke. Kombineres klassifikationerne fra de 9 bassiner sammen i en fælles integreret klassifikation af eutrofieringstilstanden for hele Østersøen bliver udviklingen endnu tydeligere (Figur 4).

Præ-eutrofieringsfasen og selve eutrofieringsfasen fremgår tydeligt, ligesom det ses at oligotrofieringsfasen startede omkring midten af 1980'erne, og at man siden da har opnået en ikke ubetydelig forbedring i tilstanden. Analyserne viser med al tydelighed, at Østersølandenes arbejde med at reducere tilførslerne af næringsstoffer nu medfører varige positive forbedringer.

Vort arbejde er også en dokumentation af værdien af langsigtet forskning og overvågning. Uden adgang til data fra mange forskellige nationale og internationale kilder, ville det ikke være muligt at gennemføre de beskrevne analyser og dokumentere forløbet i Figur 4.

Det siger sig selv, at der er stor variation i robustheden af de gennemførte klassifikationer, specielt i perioden 1901-1970, hvor analyserne er baseret på få indikatorer. Tilsvarende gælder, at eutrofieringsklassifikationer fra 1970'erne og frem, hvor Østersølandene har gennemført en koordineret og harmoniseret overvågning, er særdeles robuste, hvor-

for de observerede forbedringer er veldokumenterede. Dog er det bekymrende, at vi i de senere år tilsyneladende ser stigende usikkerheder på disse ellers robuste resultater, hvilket skyldes kraftige reduktioner i den overvågning landene gennemfører.

Østersøen har som helhed endnu ikke opnået en god miljøtilstand. Det er derfor vigtigt, at tilførsler af næringsstoffer bliver nedbragt til de niveauer som Østersølandene har aftalt i Østersøhandlings-planen. Med en konsekvent gennemførelse af aftalte reduktioner kan man håbe, at den positive udvikling i Figur 4 vil fortsætte, og at ER-værdien vil nærme sig 1, som er grænsen for om Østersøen er problematisk påvirket af eutrofiering.

Referencer

- /1/ HELCOM (2009): Eutrophication in the Baltic Sea. An integrated thematic assessment of eutrophication in the Baltic Sea region. Baltic Sea Environmental Proceedings No. 115B. Helsinki Commission. 148 pp.
- /2/ HELCOM (2014): Eutrophication status of the Baltic Sea 2007-2011. Baltic Sea Environmental Proceedings No. 143. 41 pp.
- /3/ Andersen, J.H., J. Carstensen, D.J. Conley, K. Dromph, V. Fleming, B. Gustafsson, A. Josefson, A. Norkko, A. Villnäs & C. Murray (2015): Long-term temporal and spatial trends in eutrophication status of the Baltic Sea. *Biological Reviews*. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/brv.12221/epdf>

/4/ HELCOM (2012): Ecosystem Health of the Baltic Sea. Baltic Sea Environmental Proceedings 122. Helsinki Commission. 63 pp.

/5/ Fleming-Lehtinen, V., J.H. Andersen, J. Carstensen, E. Lysiak-Pastuszek, C. Murray, M. Pyhälä & M. Laamanen (2015): Recent developments in assessment methodology reveal an expanding eutrophication problem area in the Baltic Sea. *Ecological Indicators* 48:380-388.

JESPER H. ANDERSEN er forskningschef (PhD) og ansat ved NIVA Danmark og arbejder bl.a. med eutrofiering, udvikling af indikator-baserede vurderingsværktøjer og økosystem-baseret forvaltning.

JACOB CARSTENSEN er professor ved Institut for Bioscience, Aarhus Universitet og arbejder bl.a. med forstå og beskrive den menneskelige påvirkning af havmiljøet.

CIARAN MURRAY er forsker (PhD) ved NIVA Danmark og arbejder med lys i akvatiske systemer, analyser af store datasæt og udvikling af indikator-baserede vurderingsværktøjer.

En stor tak til vore kollegaer Daniel J. Conley, Karsten Dromph, Vivi Fleming-Lehtinen, Bo G. Gustafsson, Alf B. Josefsson, Emilie Kallenbach, Alf Norkko og Anna Villnäs, og til alle de der har bidraget til indsamlingen af de overvågningsdata, som analyserne er baseret på.