

# Vurdering af overholdelse af danske reduktionskrav til kvælstof- og fosfortilførsel til Kattegat, Danske Stræder og Den Centrale Østersø i henhold til Østersøhandlingsplanen (BSAP) baseret på tilførselsdata til og med 2014

---

Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi

Dato: 07. marts 2016

Lars M. Svendsen<sup>1</sup> & Søren E. Larsen<sup>2</sup>

<sup>1</sup>DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi

<sup>2</sup>Institut for Bioscience

Rekvirent:  
Naturstyrelsen  
Antal sider: 15

Faglig kommentering:  
Brian Kronvang  
Kvalitetssikring, centret:  
Poul Nordemann Jensen



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

Indledning	3
Baggrund	3
HELCOM's vurdering af om Danmark overholder HELCOM reduktionskrav	5
Supplerende vurdering af om Danmark overholder HELCOM reduktionskrav	7
Sammenfatning	13
Referencer	15

## Indledning

Naturstyrelsen har i december 2015 i forlængelse af udkast til en HELCOM rapport (som efterfølgende er blevet publiceret, Svendsen et al., 2015), der indeholder den første vurdering af, om HELCOM landene overholder deres reduktionsmålsætninger i Østersøhandlingsplanen (HELCOM 2013a), bedt DCE lave en supplerende vurdering af status for overholdelse af reduktionsmålsætningerne for de danske tilførsler, som baseres på:

- At data for kvælstof- og fosfortilførsler fra 2013 og 2014 tilføjes til den tidsserie for 1995-2012, som HELCOM har anvendt i Svendsen et al. (2015)
- At det vurderes om den lineære trend for udvikling i kvælstof- og fosfortilførslerne i perioden 1995-2012, der er fundet i Svendsen et al. (2015) til en række farvande i Østersøen, fortsat er gældende, eller om der skal indføres knæpunkt(er) ved vurdering af udvikling i tilførslerne for perioden 1995-2014.

## Baggrund

HELCOM's miljøministre vedtog et opdateret "nutrient reduction scheme" (reduktions skema for næringsstoffer) som en del af HELCOM Copenhagen Ministerial Declaration i 2013 (HELCOM 2013a) som opfølgning på Østersøhandlingsplanen (BSAP – Baltic Sea Actions Plan) fra 2007. Reduktionskemaet består af:

- maksimale tilladelige tilførsler af kvælstof og fosfor, kaldet MAI (Maximum Allowable Inputs) til de syv marine farvande som Østersøen er delt op i
- reduktionskrav pr. medlemsland for henholdsvis kvælstof og fosfor, kaldet CART (Country Allocated Reduction Targets) for at opfylde MAI.

De vedtagne MAI og CART fremgår af tabel 1 og 2 nedenfor.

Reduktionskravene er beregnet ift. et gennemsnit af normaliserede årlige tilførsler i perioden 1997-2003, idet tilførsler via vandløb er flow-normaliserede, mens den atmosfæriske kvælstofdeposition er klimanormaliseret, og samlet betegnes tilførslerne som normaliserede, se Svendsen et al. (2015).

**Tabel 1.** Maksimal tilladelige tilførsler (MAI) til de syv farvande Østersøen er delt op i, jf. "HELCOM Copenhagen Ministerial Declaration" (HELCOM 2013a).

Baltic Sea Sub-basins	Maximum Allowable Inputs		Reference inputs 1997-2003		Needed reductions	
	TN, tons	TP, tons	TN, tons	TP, tons	TN, tons	TP, tons
Kattegat (KAT)	74,000	1,687	78,761	1,687	4,761	0
Danish Straits (DS)	65,998	1,601	65,998	1,601	0	0
Baltic Proper (BAP)	325,000	7,360	423,921	18,320	98,921	10,960
Bothnian Sea (BOS)	79,372	2,773	79,372	2,773	0	0
Bothnian Bay (BOB)	57,622	2,675	57,662	2,675	0	0
Gulf of Riga (GUR)	88,417	2,020	88,417	2,328	0	308
Gulf of Finland (GUF)	101,800	3,600	116,252	7,509	14,452	3,909
Baltic Sea	792,209	21,716	910,344	36,894	118,134	15,078

**Tabel 2.** Reduktionskrav til de enkelte HELCOM medlemslande (CART) for tilførsel (normaliseret) af kvælstof og fosfor ift. et gennemsnit af normaliserede årlige tilførsler i perioden 1997-2003 (værdier i tons pr. år). Efter HELCOM (2013a).

	<b>Nitrogen</b>	<b>Phosphorus</b>
Denmark	2890	38
Estonia	1800	320
Finland	2430+600*	330+26*
Germany	7170+500*	110+60*
Latvia	1670	220
Lithuania	8970	1470
Poland <sup>1</sup>	43610	7480
Russia	10380*	3790*
Sweden	9240	530

<sup>1</sup> Polen har indtil videre kun accepteret polske CART som indikative og er i gang med en intern afklaring heraf.

\* Reduktionskrav som stammer fra:

- Tysklands tilførsler til Oder, baseret på modellering med MONERIS modellen;
- Finske tilførsler til Neva oplandet (via floden Vuoksi);
- Russiske reduktionskrav inkluderer Ruslands tilførsler til Daugava, Nemunas og Pregolia floderne.

Disse grænseoverskridende bidrag via floder i medlemslandene, som når Østersøen gennem andre medlemslande, er foreløbige og kræver yderligere drøftelser i de kommissioner og grupper, der håndterer grænseoverskridende tilførsler via floder.

Foruden kravene til HELCOM medlemslandene om reduktion i tilførsler af kvælstof og fosfor forudsættes der i HELCOM Copenhagen Ministerial Declaration 2013 følgende reduktioner (HELCOM 2013a):

- 18.720 tons atmosfærisk kvælstof deposition inden 2020 fra landene, der ikke er medlemmer af HELCOM under forudsætning af fuld implementering af Göteborg Protokollen vedrørende grænseoverskridende luftforurening
- 3.320 tons kvælstof og 800 tons fosfor tilført via floder til Østersøen fra lande udenfor HELCOM, som har opland, der dræner til Østersøen via floder, der løber igennem et eller flere HELCOM medlemslande
- 6.930 tons atmosfærisk kvælstof deposition fra skibsemissioner over en 30 årig periode.

For hvert land er beregnet CART til de syv farvande som Østersøen er delt op i (HELCOM 2013b). BNI (Baltic Nest Institute, Stockholm Universitet) og DCE (Aarhus Universitet) har også - ud fra MAI og CART og nogle aftalte fordelings principper - beregnet et loft for, hvor meget kvælstof og fosfor et land må tilføre til hvert af de 7 farvande til Østersøen (Svendsen et al, 2015) - se tabel 3a og 3b. loftet er beregnet som: Gennemsnittet af normaliserede tilførsler i referenceperioden fra et land til et farvand minus landets reduktionskrav til dette farvand. Eksempel (tal findes i Svenden et al., 2015): Danmark tilførte i gennemsnit 30.027 tons kvælstof i perioden 1997-2003 (normaliserede vand og luftbårne tilførsler) til Kattegat, reduktionskravet for Danmark til Kattegat er beregnet til 708 tons og dermed er det danske loft for kvælstof tilførsel til Kattegat  $30.027 - 708 = 29.319$  tons, som det fremgår af tabel 3a. Et land overholder reduktionskravet til f.eks. fosfor, når de normaliserede tilførsler af fosfor til landet + en usikkerhed på disse ligger under loftet.

**Table 3a.** Loftet for årlige normaliserede kvælstoftilførsler fordelt pr. land/kilde til syv farvande i Østersøen. Værdier i tons. Danmark har tilførsler til alle farvande, da der er danske kvælstoftilførsler via atmosfærisk deposition til disse. Fra Svendsen et al. (2015). MAI = Maximum Allowable Inputs til et farvand. Farvandsnavne fremgår af tabel 1.

Country	BOB	BOS	BAP	GUF	GUR	DS	KAT
Denmark	231	904	7.910	334	381	30.313	29.319
Estonia	95	317	1.413	11.265	13.029	18	20
Finland	35.081	29.619	1.569	20.653	255	64	77
Germany	817	3.170	27.473	1.312	1.465	21.957	3.285
Latvia	63	273	6.091	183	53.898	24	25
Lithuania	110	491	33.093	261	5.795	54	60
Poland	644	2.802	160.857	1.166	1.361	1.125	1.106
Russia	710	1.551	9.253	62.522	2.516	174	174
Sweden	17.924	33.350	30.942	502	449	6.224	34.206
Other countries	1.876	6.603	33.002	3.455	2.804	5.880	5.579
Baltic Sea Shipping	72	292	1.434	147	112	165	149
Belarus	0	0	7.322	0	6.352	0	0
Czech Rep.	0	0	2.693	0	0	0	0
Ukraine	0	0	1.948	0	0	0	0
Sum (MAI)	57.622	79.372	325.000	101.800	88.418	65.998	74.001

**Table 3b.** Loftet for årlige normaliserede fosfortilførsler fordelt pr. land/kilde til syv farvande i Østersøen. Værdier i tons. For fosfor tages der ikke hensyn til evt. atmosfærisk deposition af fosfor fra medlemslandene på Østersøen, der er derfor kun danske fosfortilførsler til tre farvand (BAP, DS og KAT). Fra Svendsen et al. (2015). MAI = Maximum Allowable Inputs til et farvand. Farvandsnavne fremgår af tabel 1.

Country	BOB	BOS	BAP	GUF	GUR	DS	KAT
Denmark	0	0	21	0	0	1.040	829
Estonia	0	0	8	236	239	0	0
Finland	1.668	1.255	0	322	0	0	0
Germany	0	0	101	0	0	351	0
Latvia	0	0	74	0	541	0	0
Lithuania	0	0	831	0	166	0	0
Poland	0	0	4.309	0	0	0	0
Russia	0	0	277	2.892	185	0	0
Sweden	826	1.125	308	0	0	105	740
Atm. Dep.	181	394	1046	150	93	105	118
Belarus	0	0	244	0	797	0	0
Czech Rep.	0	0	108	0	0	0	0
Ukraine	0	0	33	0	0	0	0
Sum (MAI)	2.675	2.773	7.360	3.600	2.020	1.601	1.687

### HELCOM's vurdering af om Danmark overholder HELCOM reduktionskrav

HELCOM har i 2015 publiceret den første vurdering af, om landene overholder de reduktionskrav, som blev vedtaget af miljøministrene i 2013 – se tabel 4a og 4b for Danmark senere i notatet (Svendsen et al., 2015). Den anvendte vurderingsmetode, der er beskrevet i Svendsen et al. (2015) og Larsen og Svendsen (2013), er baseret på normaliserede årlige tilførsler af kvælstof (vand og luftbårne) og fosfor (vandbårne) i perioden 1995-2012 og går overordnet ud på:

- Vurderingen af om reduktionskravene overholdes sker ved statistisk at vurdere om de årlige normaliserede tilførsler af kvælstof og fosfor fra et givent land (eller kilde, som f.eks. er skibsfart på Østersøen, Nordsøen) til et givent Østersøfarvand plus en statistisk beregnet usikkerhed på tilførslerne ligger under det loft over tilførsler et land/kilden har til farvandet. Der anvendes et estimat for det seneste års normaliserede tilførsel af kvælstof og fosfor i tidsserien (som i HELCOM's vurdering er 2012) ved vurdering af overholdelse af loftet for tilførsel af kvælstof og fosfor
- Først etableres en tidsserie af normaliserede årlige tilførsler fra hvert land/kilde af vand- og luftbårne tilførsler af kvælstof og af vandbårne fosfortilførsler til de syv farvande i Østersøen i perioden 1995 til og med 2012
- Der testes herefter for en signifikant udvikling (trend) i de normaliserede kvælstof- og fosfortilførsler (pr. land/kilde pr. Østersø farvand). Ved at analysere på tidsserier for de 7 største floder til Østersøen (som står for ca. 50 % af de samlede tilførsler af kvælstof fosfor) blev det vurderet, om der evt. skulle indføres knæpunkter ved tidsserieanalysen. Da der ikke var knæpunkter i tidsserierne for de syn store floder, blev der ikke testet for og anvendt knæpunkter i tidsserierne for tilførsler til de syv farvande for 1995-2012 jf. Svendsen et al. (2015), selv om det efterfølgende har vist sig, der måske kunne være identificeret knæpunkter i 3 tilfælde, herunder fosfortilførsler fra Danmark til Danske Stræder
- Analysen for udvikling i de normaliserede tilførsler (trend-analysen) udføres med Mann-Kendall metoden (Hirsch et al., 1982). Metoden tester for monotone ændringer i tidsserien. Efterfølgende er Theil-Sen's hældningsestimator anvendt til at fastlægge et estimat for en årlig ændring (lineær ændring) i kvælstof- og/eller fosfortilførslen (Hirsch et al., 1982)
- Såfremt der er en signifikant trend i tidsserien af f.eks. normaliseret kvælstoftilførsel fra Danmark til Kattegat, anvendes den fastlagte trend til at estimere en værdi for den normaliserede kvælstoftilførsel i 2012. Er der ingen trend i tilførslen anvendes middelværdien af de årlige normaliserede tilførsler i tidsserien (se Larsen og Svendsen, 2013)
- Der beregnes en statistisk usikkerhed på de normaliserede tilførsler af hhv. kvælstof og fosfor i 2012 pr. land/kilde til hvert Østersøfarvand. Denne usikkerhed er et statistisk udtryk for, hvor godt modellen fitter til data, og indeholder implicit også år til år variationer og usikkerheden på belastningsopgørelserne
- Endeligt testes der for, om tilførslen ligger signifikant under det fastsatte loft for tilførsler. For at opfylde reduktionskravet til et givet farvand, skal den estimerede årlige normaliserede tilførsel fra et land/kilde af f.eks. kvælstof til farvandet tillagt den estimerede usikkerhed på tilførslerne ligge under landets/kildens loft for kvælstoftilførsel som vist i tabel 4a og 4b (metoden beskrevet i deltaljer i Larsen og Svendsen, 2013).

I tabel 4a og b er vist HELCOM's vurdering af, om Danmark overholder sine reduktionskrav for henholdsvis kvælstof (tabel 4a) og fosfor (tabel 4b) i 2012 til de syv Østersøfarvande, baseret på de årlige normaliserede tilførsler 1995-2012 (fra Svendsen et al., 2015). Det fremgår heraf, at de danske normaliserede kvælstoftilførsler - også når der tages højde for den estimerede usikkerhed på disse - er lavere end loftet for tilførsel af kvælstof for alle syv farvande. For Danske Stæder (DS) og Kattegat (KAT) ligger den estimerede normaliserede tilførsel i 2012 inklusiv usikkerhed henholdsvis godt 9.600 tons N og 5.600 tons N under loftet, og dette kaldes merreduktion ift. reduktionskravet. For fosfor, hvor Danmarks kun har tilførsel til tre af syv farvande i Østersøen, er den normaliserede tilførsel i 2012, når der tages højde for usikkerhed, også under loftet for Danske Stæder (134 tons under) og Katte-

gat (121 tons under), mens tilførslerne er 28 tons fosfor over loftet for Den Centrale Østersø (Baltic Proper = BAP).

I HELCOM Copenhagen Ministerial Declaration 2013 (2013a) er der angivet en mulighed for, at et medlemsland kan indregne ekstra reduktioner i et farvand (altså når den normaliserede tilførsel inklusiv usikkerhed ligger under loftet) til at kompensere for manglende reduktioner i et nabo-farvand ud fra en omsætningsfaktor, der fremgår af Svendsen et al. (2015). Disse faktorer er beregnet med den samme model som BNI har anvendt ved beregning af MAI (BALTSEM modellen). Denne model angiver at for at opnå en effekt i Den Centrale Østersø (BAP), der svarer til en reduktion i fosfortilførslerne på 1 tons til Den Centrale Østersø, vil det kræve en reduktion på 3,2 tons fosfor i Danske Stræder. Da der estimeres at være en ekstra reduktion på 134 tons fosfor i 2012 i Danske Stræder, vil det kunne omsættes til en reduktion i den Central Østersø på  $134 \text{ tons P} / 3,2 = 41,8 \text{ tons P}$ , som dermed fuldt ud kan kompensere for de manglende 28 tons P, som fremgår af tabel 4b.

**Tabel 4a.** Vurdering af opfyldelse af kvælstof reduktionskrav fra Danmark til de syv farvande i Østersøen i henhold til Østersø-handlingsplanen (BSAP) i 2012 ud fra normaliserede tilførsler fra Danmark via vandløb og atmosfærisk deposition i perioden 1995-2012. A er loftet for tilførsel til et farvand beregnet ud fra MAI og CART. B er de statistisk estimerede normaliserede input i 2012 og C den estimerede usikkerhed på tilførslerne i 2012. Værdier markeret med fed viser, at den samlede tilførsel til det givne farvand fra alle lande/kilder er under MAI for farvandet (som angivet i tabel 1). Farvandsnavne fremgår af tabel 1. Værdier angivet i tons. Efter Svendsen et al. (2015).

Danmark TN	BOB	BOS	BAP	GUF	GUR	DS	KAT
A: Loft for kvælstoftilførsel (input ceiling)	231	904	7.910	334	381	30.313	29.319
B: Estimeret input i 2012	148	558	6.880	242	245	20.041	23.267
C: Estimeret inputs 2012 plus estimeret usikkerhed	152	573	7.021	249	252	20.657	23.631
Merreduktion (A-C) (reduceret ud over reduktionskravet)	79	<b>331</b>	889	85	129	<b>9.656</b>	<b>5.688</b>
Manglende reduktion for at opfylde MAI							

**Tabel 4b.** Samme som tabel 4a, men for fosfor. Atmosfæriske fosfortilførsler indgår ikke ved fastlæggelse af reduktionskrav og loftet for hvor meget fosfor, der må tilføres et farvand. Derfor er det alene vandbårne fosfortilførsler, der angives, hvorfor Danmark kun har tilførsler til KAT, DS og BAP. Værdier angivet i tons. Fra Svendsen et al. (2015).

Danmark TP	BOB	BOS	BAP	GUF	GUR	DS	KAT
A: Loft for fosfortilførsel (input ceiling)			21			1.040	829
B: Estimeret input i 2012			46			847	695
C: Estimeret inputs 2012 plus estimeret usikkerhed			49			906	708
Merreduktion (A-C) (reduceret ud over reduktionskravet)						<b>134</b>	<b>121</b>
Manglende reduktion for at opfylde MAI			28				

### Supplerende vurdering af om Danmark overholder HELCOM reduktionskrav

I dette kapitel foretages en ny vurdering af overholdelse af de danske reduktionskrav (Loft for tilførsel) af kvælstof og fosfor til Kattegat, Danske Stræder og Den Central Østersø (BAP). Det sker ud fra Naturstyrelsens ønske om en supplerende vurdering heraf ved at inddrage kvælstof og fosfor tilførslerne i 2013 og 2014, og vurdere, om det statistisk kan påvises, at der skal indtages knæpunkter i tidsserierne 1995-2014 af normaliserede kvælstof- og fosfortilførsler. Sammenlignet med HELCOM's første vurdering af overholdelse af reduktionskravene jf. Svendsen et al. (2015) har DCE derfor foretaget følgende ændringer:

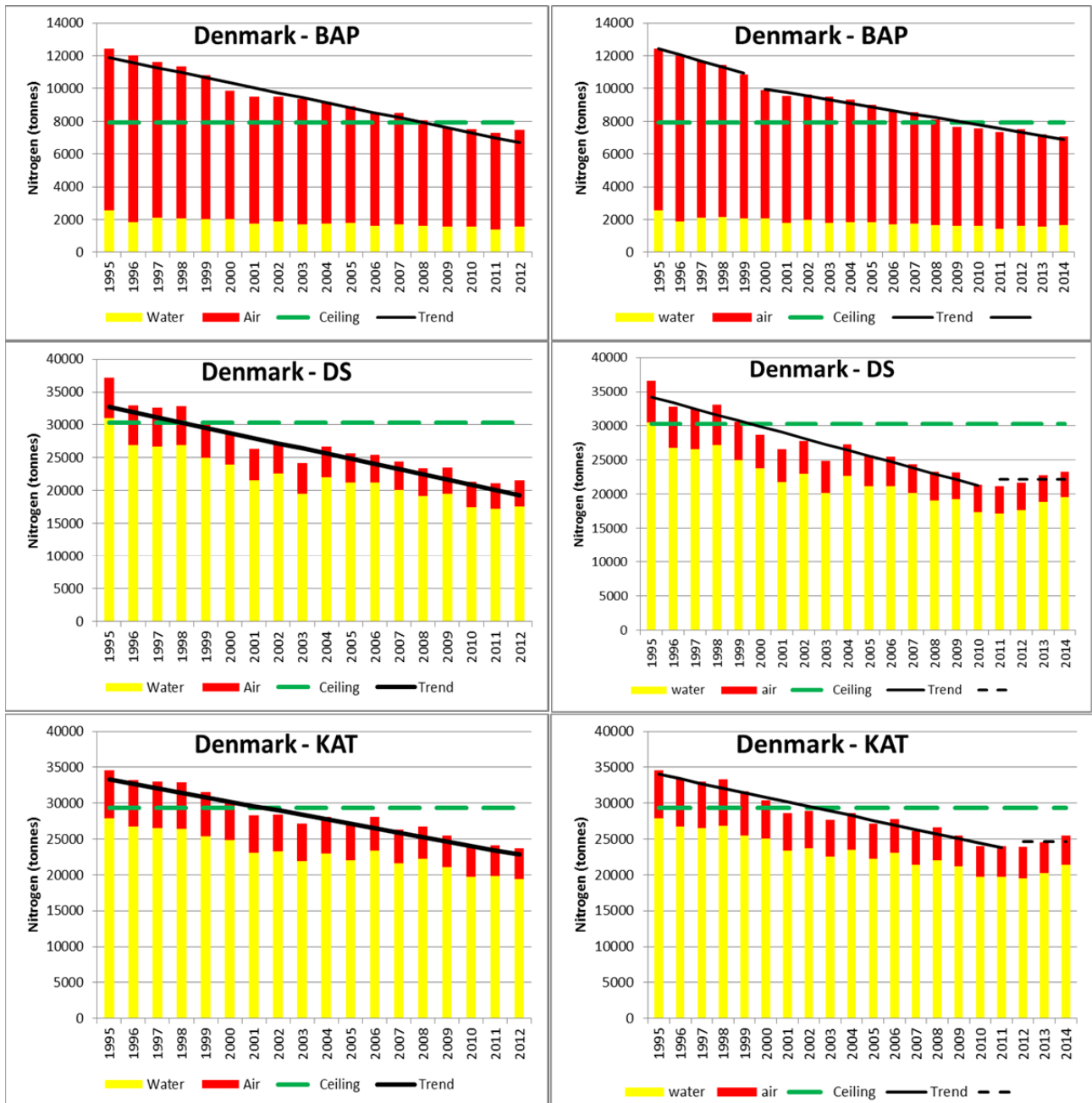
- der anvendes normaliserede data for perioden 1995-2014, dvs. tilførsler for 2013 og 2014 er medtaget
- de vandbårne tilførsler for hele perioden er genberegnet, og der er foretaget ny flownormalisering for de vandbårne tilførsler i perioden 1995-2014
- de danske atmosfæriske kvælstoftilførsler til Kattegat, Danske Stræder og Den Centrale Østersø i 2013 og 2014 er baseret på den tidsserie af normaliserede tilførsler til disse områder for 1995-2012 som EMEP (The European Monitoring and Evaluation Programme) har lavet. I perioden 1995-2012 er der en signifikant lineær trend, og den årlige ændring beregnet herfra er anvendt til at beregne den normaliserede deposition i 2013 og 2014 (EMEP har først en ny opgørelse klar med normaliserede kvælstof deposition data for både 2013 og 2014 i efteråret 2016)
- der er testet for knæpunkter i tidsserierne, og hvor det er statistisk signifikans for knæpunkter, er disse anvendt. Når der er knæpunkt i en tidsserie, anvendes den sidste del af tidsserien ved estimering af tilførslen i 2014, mens hele tidsserien anvendes til at estimere usikkerheden på den estimerede tilførsel i 2014.

De vandbårne danske vand-, kvælstof- og fosfortilførsler til de danske farvande genberegnes hvert år af DCE, og dermed ændres tilførslerne for tidligere år også, dog typisk kun nogle ganske få procent (Wiberg-Larsen et al., 2015). Tilførsler er baseret på målinger, der på landsplan dækker ca. 55 % af oplandet, men hvor der f.eks. for oplandet til Den Centrale Østersø kun måles på ca. 10 % af oplandet. Der anvendes modelestimer for den umålte del af oplandet baseret på modeller udviklet i regi af NOVANA – Nationale Overvågningsprogram for vandmiljøet og Naturen (Larsen et al., 2015 og Wiberg-larsen et al., 2015). En model justering i fosformodel for Danmarks umålte opland til Den Centrale Østersø har medført at de danske fosfortilførsler hertil er øget ganske betydeligt for alle år i perioden 1995-2012 sammenlignet med de tidligere rapporterede tilførsler (Larsen et al., 2016 og Wiberg-Larsen et al., 2015), som har været anvendt i HELCOM's vurdering af overholdelse af CART jvf. Svendsen et al. (2015). Der er stor usikkerhed knyttet til de estimerede fosfortilførsler især til Den Centrale Østersø, hvor der er en meget lille andel målt opland (ca. 10 %), og hvor den anvendte fosforbelastningsmodel ser ud til entydigt at overestimere tilførslerne (Larsen et al., 2016).

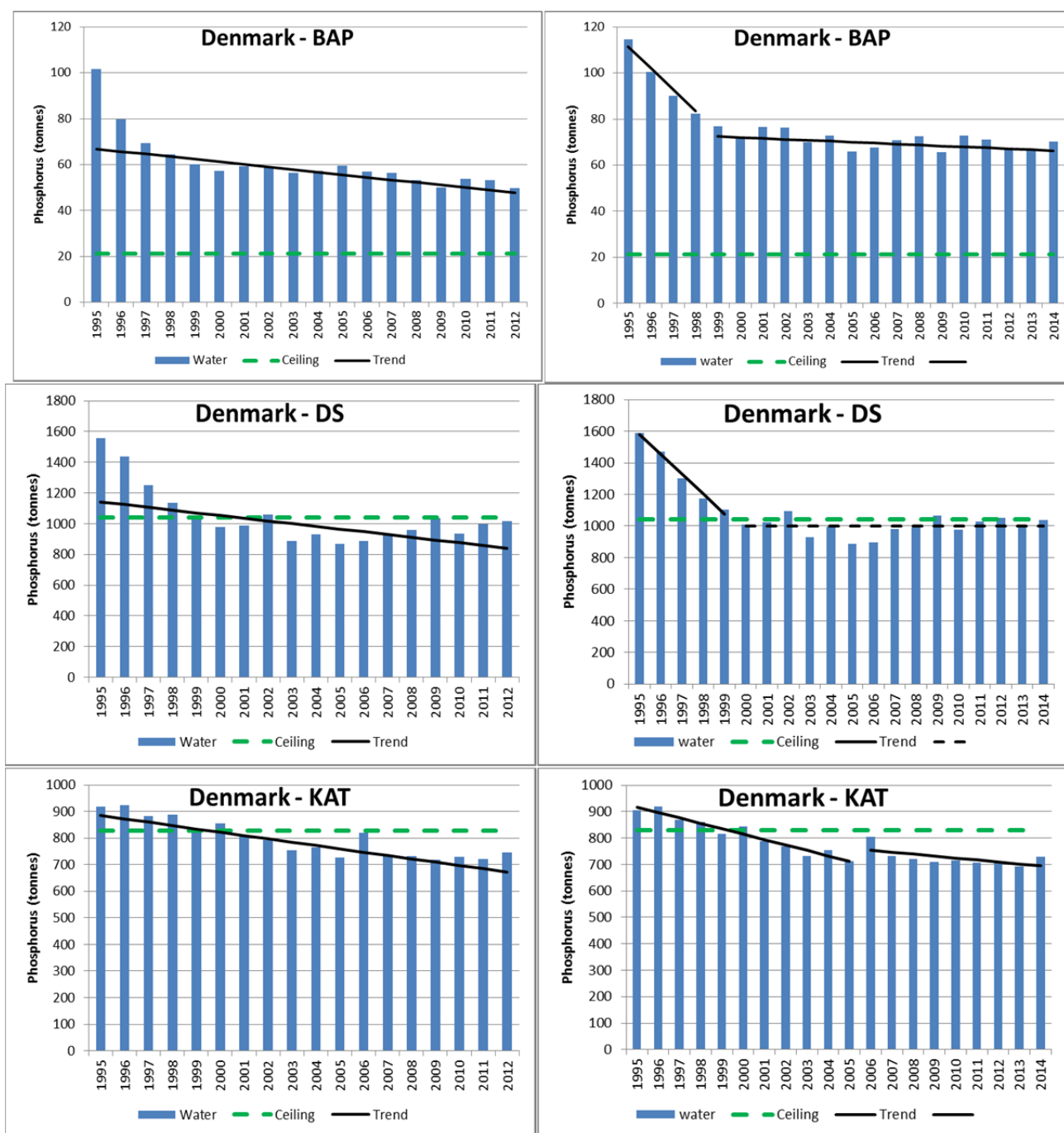
Hver gang der tillægges et år til en tidsserie og laves en ny flow normalisering, vil det ændre på alle flow-normaliserede kvælstof- og fosfortilførsler, også selv om de ikke-normaliserede tilførsler fra tidligere år var uændrede. Da tidsserien 1995-2014 er relativ lang (20 år), er indflydelsen af at medtage et ekstra år og lave ny flow-normalisering typisk meget beskednen (under 1-2 %) for de årlige flow-normaliserede tilførsler.

De årlige normaliserede tilførsler til Kattegat, Danske Stræder og Den Centrale Østersø er vist i figur 1 (kvælstof) og 2 (fosfor). Plottene til venstre i figur 1 og 2 er fra HELCOM's første vurdering af opfyldelse af CART for de normaliserede danske tilførsler (jf. Svendsen et al., 2015) for perioden 1995-2012. Plottene til højre viser de genberegnete normaliserede tilførsler i perioden 1995-2012 inklusiv de tilsvarende tilførsler for 2013 og 2014. Det fremgår tydeligt, at der er beregnet en væsentligt højere årlig tilførsel af fosfor til Den Centrale Østersø sammenlignet med tidligere indberetninger for 1995-2012 jf. forklaringerne ovenfor om betydningen af en opdateret fosformodel.





**Figur 1.** Årlige normaliserede tilførsler af vand- og luftbåret kvælstof (tons) fra Danmark til Den Centrale Østersø (BAP), Danske Stræder (DS) og Kattegat (KAT) i perioden 1995-2012 (figurer til venstre efter Svendsen et al., 2015) og genberegnete normaliserede tilførsler for 1995-2012 suppleret med tilførsler for 2013 og 2014 (figurer til højre) sammenlignet med loftet for tilførsler (stiplet grøn linje) beregnet ud CART jf. HELCOM Copenhagen Ministerial Declaration (HELCOM 2013a) som gennemsnittet af Danmarks normaliserede tilførsel af kvælstof i referenceperioden 1997-2003 til et givent bassin minus det danske "kvælstof" CART til det givne bassin. Der er endvidere indsat trendlinje(r), hvor der på figurerne til venstre er anvendt estimeret lineær trend for hele perioden (1995-2012), mens der er fastlagt et knæpunkt i udviklingen i tilførsler på figurerne til højre for perioden 1995-2014. Stiplet "trendlinje" er indsat for de perioder uden signifikant udvikling, og disse stipulede linjer angiver gennemsnitsværdien for perioden.



**Figur 2.** Årlige normaliserede tilførsler af vandbærent fosfor (tons) fra Danmark til Centrale Østersø (BAP), Danske Stræder (DS) og Kattegat (KAT) i perioden 1995-2012 (figurer til venstre efter Svendsen et al. 2015) og genberegnete normaliserede tilførsler for 1995-2012 suppleret med tilførsler for 2013 og 2014 (figurer til højre) sammenlignet med loftet for tilførsler (stiplet grøn linje) beregnet ud CART jf. HELCOM Copenhagen Ministerial Declaration (HELCOM 2013a) som gennemsnittet af Danmarks normaliserede tilførsel af fosfor i referenceperioden 1997-2003 til et givent bassin minus den danske "fosfor" CART til det givne bassin. Der er endvidere indsat trendlinje(r), hvor der på figurerne til venstre er anvendt estimeret lineær trend for hele perioden (1995-2012), mens der er fastlagt et knæpunkt i udviklingen i tilførsler på figurerne til højre for perioden 1995-2014. Stiplet "trendlinje" er indsat for de perioder uden signifikant udvikling, og disse stiplede linjer angiver gennemsnitsværdien for perioden.

På tidsserierne 1995-2014 (plottene til højre i figur 1 og 2) er der først testet på hele tidsserien for udvikling i tilførslerne (trend-analysen) med Mann-Kendall metoden. Herefter er der kørt gentagende iterationer for at teste, om der ved indførelse af et (eller flere) knæpunkter i tidsserien opnås en bedre beskrivelse af udviklingen end ved at lave denne på hele tidsserien (metoden er beskrevet i Carstensen og Larsen, 2006). Når et (flere) knæpunkter er fastlagt, er der afviklet en regressionsanalyse på de perioder som tidsserien er delt op i,

dvs. er der et knæpunkt, som deler tidserien i 1995-2010 og 2011-14, så er der med regressionsanalyse lavet lineær trend for de to perioder og testet for, om udviklingen er signifikant. Herefter er der estimeret en tilførsel i 2014 og en usikkerhed for denne for henholdsvis kvælstof og fosfor til Kattegat, Danske Stræder og Den Centrale Østersø med samme metode, som er beskrevet tidligere i dette notat, og som HELCOM har anvendt i Svendsen et al. (2015). Er der ikke en signifikant udvikling for den sidste periode (2011-14 i eksemplet ovenfor), anvendes (som angivet i Larsen og Svendsen, 2013) gennemsnittet af de normaliserede tilførsler i den sidste periode som estimatet for tilførslen i 2014, mens usikkerheden på dette estimat, bestemmes ud fra hele tidsserien 1995-2014. Resultatet fremgår at tabel 5a og 5b.

Det bemærkes af figur 1 og 2, at der fremtræder et knæpunkt i alle tidsserierne. For normaliserede kvælstoftilførsler til Danske Stræder og til Kattegat og for normaliserede fosfortilførsler til Danske Stræder er der ingen signifikant udvikling i perioden efter knæpunktet, og der er derfor i de tre tilfælde anvendt gennemsnittet af de normaliserede tilførsler i den sidste periode som estimat for tilførslerne i 2014 jf. metoden beskrevet i Larsen og Svendsen (2013). For alle øvrige perioder er der en signifikant udvikling i tilførslerne af kvælstof og fosfor.

For kvælstof (tabel 5a) er vurderingen af, hvorvidt Danmark overholder sine reduktionsmålsætninger (har tilførsler signifikant under loftet) uændret sammenlignet med HELCOM's første vurdering heraf jf. Svendsen et al. (2015). Tilførslerne til de tre farvande (BAT, DS og KAT) ligger signifikant under loftet for normaliseret kvælstoftilførsel til de respektive farvande og med en væsentlig merreduktion ift. reduktionskravene og vil dermed få vurderingen "grøn" i tabel 1 i Svendsen et al. (2015) jf. HELCOM's klassifikationssystem. Det er dog værd at bemærke, at den merreduktion ift. reduktionskrav i Østersøhandlingsplanen (Extra reduction (A-C)) som Danmark har haft, estimeres at være noget mindre efter, at tilførslerne for 1995-2012 er genberegnet, tilførsler for 2013 og 2014 er tilføjet tidsserien, og fordi der kan identificeres et knæpunkt i udviklingen i tidsserien og dette knæpunkt indgår ved vurdering af udvikling i normaliserede kvælstoftilførsler fra 1995 til 2014. Det gælder især for Danske Stræder, hvor merreduktionen er faldet fra 9.656 tons N (tabel 4a) til 6.875 tons N og for Kattegat, hvor merreduktionen ændres fra 5.688 tons N til 3.778 tons N. Den væsentligste årsag hertil er, at indførelse af knæpunkter udskiller perioden 2011-2014 i tidsserierne for Danske Stræder og 2012-14 for Kattegat, hvor der i de to perioder ikke findes nogen statistisk signifikant udvikling i de normaliserede tilførsler af kvælstof (figur 1). I HELCOM's vurdering er der estimeret et lineært fald i hele perioden 1995-2012. Der estimeres nu en større normaliseret kvælstoftilførsel i 2014 sammenlignet med, hvad HELCOM har estimeret for 2012 baseret ud fra tidsserien 1995-2012.

For fosfor ændres vurderingen af overholdelse af loftet for tilførsler ikke sammenlignet med HELCOM's første vurdering heraf jf. Svendsen et al. (2015), når der anvendes reviderede tilførsler for 1995-2012, tilføjes fosfortilførsler for 2013 og 2014, og der indføres knæpunkt i tidsserien og anvendes estimeret normaliseret tilførsel i 2014. Men vurderingen af, hvor langt tilførslerne er fra udledningsloftet ændres væsentligt for Danske Stræder og Den Centrale Østersø. DCE estimerer, at der baseret på den estimerede normaliserede fosfortilførsel i 2014 til Den Centrale Østersø mangler en reduktion på 49 tons P, hvor der manglede 28 tons P i HELCOM's vurdering ud fra estimeret tilførsel for 2012 og baseret på 1995-2012 data. Dette skyldes

primært, at de normaliserede fosfortilførsler for hele perioden er blevet væsentligt opjusteret. Årsagen er en justering i den danske model, der estimerer danske tilførsler af fosfor til Den Centrale Østersø fra umålt opland (Larsen et al., 2016), og at der er indført et knækpunkt i tidserien, som betyder, at faldet i tilførslerne i perioden 1999-2014 estimeres at være lavere end i HELCOM's vurdering ud fra tidsserien for 1995-2012 uden knækpunkter. For Danske Stræder estimerer DCE, at der i 2014 kun er en merreduktion på 17 tons P mod HELCOM's estimat, at der i 2012 var en merreduktion på 134 tons P. Dette skyldes primært, at der er fastlagt et knækpunkt i tidsserien, så der for 2000-2014 ikke er nogen udvikling i den normaliserede fosfortilførsel, hvor HELCOM's analysen estimerede et fald i perioden 1995-2012 uden at anvende knækpunkt. For Kattegat er merreduktion estimeret til 114 tons fosfor mod 121 tons i HELCOM's analyse. Selv om der introduceres et knækpunkt, findes der fortsat et signifikant fald i fosfortilførslerne i perioden 2006-2014.

Når der kun estimeres en merreduktion på 17 tons fosfor til Danske Stræder, kan denne maksimalt kompensere for  $17/3,2 = 5$  tons af de manglende 49 tons fosfor, der skal reduceres i tilførslen til Den Centrale Østersø, og dermed er reduktionskravet hertil for fosfor ikke opfyldt i 2014 i modsætning til, hvad der kan konkluderes ud fra HELCOM's rapport baseret på en vurdering af 2012 tilførslerne (Svendsen et al., 2012).

**Tabel 5a.** Vurdering af opfyldelse af kvælstofreduktionskrav fra Danmark til de syv farvande i Østersøen ud fra normaliserede tilførsler fra Danmark via vandløb og atmosfærisk deposition baseret på perioden 1995-2014 og en estimeret tilførsel i 2014, og hvor der er testet for knækpunkt i udviklingen i perioden 1995-2014. A er loftet for tilførsel til et farvand beregnet ud fra MAI og CART. B er de statistisk estimerede normaliserede input i 2014 og C den estimerede usikkerhed på tilførslerne i 2014. Farvandsnavne fremgår af tabel 1. Værdier i tons.

Danmark TN	BOB	BOS	BAP	GUF	GUR	DS	KAT
A: Loft for tilførsel af kvælstof (input ceiling)			7.910			30.313	29.319
B: Estimeret input i 2014			6.920			22.226	24.655
C: Estimeret inputs 2014 plus estimeret usikkerhed			7.013			23.438	25.541
Merreduktion (A-C) (reduceret ud over reduktionskravet)			897			6.875	3.778
Manglende reduktion for at opfylde MAI							

**Tabel 5b.** Som tabel 5a, men for fosfor. Atmosfæriske fosfortilførsler indgår ikke ved fastlæggelse af reduktionskrav og loft for hvor meget fosfor der må tilføres et farvand. Derfor er det alene vandbårne tilførsler, der angives, og Danmark har kun fosfortilførsler til KAT, DS og BAP. Værdier i tons.

Danmark TP	BOB	BOS	BAP	GUF	GUR	DS	KAT
A: loft for tilførsel af fosfor (input ceiling)			21			1.040	829
B: Estimeret input i 2014			67,6			999	695
C: Estimeret inputs 2014 plus estimeret usikkerhed			69,6			1.023	715
Merreduktion (A-C) (reduceret ud over reduktionskravet)						17	114
Manglende reduktion for at opfylde MAI			49				

Der er ikke vurderet på kvælstoftilførslerne til de resterende 4 farvande (Botniske Bugt, Botniske Hav, Finske Bugt og Riga Bugten). Danmark har alene atmosfærisk kvælstoftilførsel til disse farvande, og de danske tilførsler er i følge Svendsen et al. (2015) i 2012 signifikant under reduktionsmålet. Eftersom emissioner og depositioner af kvælstof har været signifikant faldene i hele perioden 1995-2012 (HELCOM, 2015) og der ikke rapporteres om at emissionerne i 2013 eller 2014 er steget, forventes de normaliserede tilførsler til disse fire

farvande fra Danmark i 2014 ikke at kunne være højere men snarere lavere end i 2012, således at reduktionskravene fortsat overholdes.

## Sammenfatning

Naturstyrelsen har ønsket, at DCE gennemfører en supplerende vurdering af, om Danmark overholder sine reduktionsmålsætninger til Kattegat, Danske Stræder og Den Centrale Østersø, hvis den tidsserie af årlige normaliserede tilførsler af kvælstof og fosfor, som HELCOM har anvendt ved sin vurdering heraf (Svendsen et al., 2015), udvides med data for 2013 og 2014, og der – hvor det testes statistisk signifikant – indføres knæpunkter i tidsserierne for disse tilførsler.

DCE har genberegnet tilførslen af kvælstof og fosfor i perioden 1995-2012 til Kattegat, Danske Stræder og Den Centrale Østersø og tilføjet de tilsvarende tilførsler for 2013 og 2014. Efterfølgende er de normaliserede tilførsler i perioden 1995-2014 beregnet til de tre farvande. Tidsserierne for normaliserede tilførsler 1995-2014 er blevet testet for knæpunkter, der er lavet regressionsanalyse for de perioder tidsserien deles op i, og for de delperioder, hvor der er fundet en signifikant udvikling, er den årlige ændring i tilførslerne beregnet. Der anvendes de samme metoder som i HELCOM's første vurdering af, om landene overholder deres reduktionskrav til de syv farvande, som Østersøen er delt op i, når det vurderes om Danmark overholder reduktionskravene. Reduktionskravene er omsat til et loft for, hvor meget Danmark årligt må tilføre af kvælstof og fosfor (normaliserede tilførsler) til de enkelte farvande i Østersøen. Resultaterne sammenlignes med, hvad HELCOM finder i deres første vurdering af landenes overholdelse af reduktionskravene (Svendsen et al., 2015).

HELCOM's vurderinger er baseret på normaliserede tilførsler for 1995-2012 og en statistisk vurdering af tilførslerne i 2012 tillagt en usikkerhed på disse tilførsler, der sammenlignes med loftet for tilførslerne af kvælstof og fosfor fra hvert land/kilde til et farvand. Svendsen et al. (2015) har ikke knæpunkter i tidsserierne for 1995-2012. I DCE's nye vurdering er der - ud over opdaterede data for tilførsler i 1995-2012 og to ekstra års data (2013, 2014) tilføjet tidsserierne - blevet identificeret et knæpunkt i alle normaliserede tidsserier for kvælstof- og fosfortilførsler fra Danmark til Kattegat, Danske Stræder og Den Centrale Østersø.

I forhold til HELCOM's første vurdering af overholdelse af reduktionskravene (jf. Svendsen et al., 2015) finder DCE i dette notat baseret på estimerede normaliserede kvælstof- og fosfortilførsler i 2014:

- Danmark overholder reduktionskravene for de normaliserede kvælstoftilførsler til Kattegat, Danske Stræder og Den Centrale Østersø, som det også konkluderes i Svendsen et al. (2015). Men de merreduktioner der beregnes, er lavere end i HELCOM's vurdering baseret på estimerede tilførsler i 2012 (sammenlign tabel 4a og 5a). Den estimerede merreduktion i 2014, når der tages højde for usikkerhed på de normaliserede tilførsler, er henholdsvis 897 tons N (Den Centrale Østersø), 6.875 tons N (Danske Stræder) og 3.778 tons N (Kattegat). HELCOM's tilsvarende merreduktioner baseret på de estimerede normaliserede 2012 tilførsler er: 889 tons N (Den Centrale Østersø) 9.656 tons N (Danske Stræder) og 5.688 tons N (Kattegat). Revurderingen skyldes primært, at der med indførelse af knæpunkter identificeres en periode fra 2010-2014 for Danske Stræder og 2012-2014 for Kattegat, hvor der ikke findes nogen statistisk signifi-

kant udvikling, hvorimod der i HELCOM's vurdering er et fald frem til 2012 (figur 1). Når der ikke er nogen udvikling i den sidste periode af tidsserierne, anvendes gennemsnittet af de normaliserede tilførsler ved estimering af tilførslen i 2014 (f.eks. gennemsnittet af 2012-2014 ved estimering af tilførslen i 2014) tillagte en usikkerhed baseret på hele tidsserien 1995-2014 (Larsen og Svendsen, 2013)

- Danmark overholder reduktionskravet for de normaliserede fosfortilførsler til Kattegat og Danske Stræder. For Kattegat estimeres en merreduktion på 114 tons fosfor, der ca. svarer til estimatet i HELCOM's vurdering (Svendsen et al., 2015) på 121 tons fosfor, selv om der er indført knæpunkt, der opdeler tidsserien i to perioder 1995-2005 og 2006-2014. Reduktionskravet til Danske Stræder opfyldes med en beskedne merreduktion på 17 tons fosfor, når der tages højde for usikkerhed på de estimerede normaliserede tilførsler (se tabel 4b og 5b). I HELCOM's vurdering ud fra de estimerede 2012 fosfortilførsler, var der en merreduktion på 134 tons P for Danske Stræder bestemt ud fra et lineært fald i tilførslerne i perioden 1955-2012. Årsagen til den ændrede vurdering er, at der er fastlagt og indført et knæpunkt i tidsserien, som deler den op i 1995-1999 med signifikant fald i tilførslerne og 2000-2014 uden nogen udvikling i de normaliserede fosfortilførsler, hvorfor de normaliserede tilførsler i 2014 bestemmes som et gennemsnit af denne periode tillagt usikkerheden. DCE's nye vurdering viser, at Danmark i 2014 mangler at reducere med 49 tons P til Den Centrale Østersø sammenlignet med HELCOM's vurdering, der estimerede, at der mangler 28 tons P. Forskellen i de to vurderinger er primært at DCE har estimeret væsentligt højere normaliserede fosfortilførsler til Den Centrale Østersø for perioden 1995-2012 (figur 2) end tidligere indberettet som resultat af en ændring i den model, der estimerer de danske fosfor fra det umålte opland til dette farvand (Larsen et al., 2016 og Wiberg-Larsen, 2015). Der er endvidere introduceret et knæpunkt i tidsserien, som betyder, at der i perioden 1999-2014 estimeres et mindre årlig fald i de normaliserede fosfortilførsler, sammenlignet HELCOM's vurdering, hvor der er et større årligt fald i perioden 1995-2012
- DCE's supplerende vurdering af overholdelse af Østersøhandlingsplanens reduktionskrav medfører en justering omkring overholdelse af reduktionskravene. For kvælstof justeres merreduktionen til Danske Stræder og Kattegat ned med ca. 30 %, men ligger stadig hhv. knap 7.000 og knap 4.000 tons under lofterne for tilførsel. For Den Centrale Østersø er vurdering fortsat, at der er en merreduktion på knap 900 tons kvælstof. For fosfor estimeres fortsat en merreduktion til Kattegat på over 110 tons. Til gengæld er merreduktionen kun på 17 tons fosfor til Danske Stræder, hvilket kun giver  $17/3,2 = \text{ca. } 5$  tons fosfor, der kan anvendes til at kompensere for manglende fosforreduktioner til Den Centrale Østersø. HELCOM's vurdering baseret på trendanalysen fra 1995-2012 gav en merreduktion på 134 tons P til Danske Stræder. Den supplerende vurdering estimerer samtidigt, at der mangler at blive reduceret med 49 tons fosfor til Den Centrale Østersø (ud af en samlet tilførsel på 70 tons P eller svarende til 70 %), således at der selv med de overførte 5 tons fra Danske Stræder mangler en reduktion i fosfortilførslerne på 44 tons. Baseret på HELCOM's vurdering var reduktionskravet opfyldt til Den Centrale Østersø, da der kun manglede en reduktion på 28 tons, der kunne kompenseres af merreduktionen i Danske Stræder. Det skal tilføjes, at fosformodellen for estimering af tilførsler fra umålt opland med stor sandsynlighed overestimerer fosfortilførslerne fra umålt opland til Centrale Øster-

sø ganske væsentligt, og da ca. 90 % af oplandet er umålt, medfører det en meget stor usikkerhed på disse tilførsler (Larsen et al., 2016). Der er derfor behov for flere måledata i dette opland til bedre kalibrering, validering og forbedring af fosformodellen.

## Referencer

Carstensen, J. & Larsen, S.E. 2006: Statistisk bearbejdning af overvågningsdata - Trendanalyser. NOVANA. Danmarks Miljøundersøgelser. 38 s. - Teknisk anvisning fra DMU nr. 24. <http://www.dmu.dk/Pub/TA24.pdf>

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

HELCOM 2013a. 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 2013b. 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. [Available online](#).

HELCOM 2015. Updated Fifth Baltic Sea pollution load compilation (PLC-5.5). Baltic Sea Environment Proceedings No. 145.

Hirsch, R.M., Slack, J.R. & Smith, R. A. 1982. Techniques of trend analysis for monthly water quality data. Water Resources Research, 18, 107-121.

Larsen, S.E. & 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. <http://dce2.au.dk/pub/TR33.pdf>.

Søren E. Larsen, Jørgen Windolf & Brian Kronvang, 2016: Validering af fosformodellen Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 16 s. [http://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater\\_2016/Validering\\_af\\_fosformodellen.pdf](http://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater_2016/Validering_af_fosformodellen.pdf)

Svendsen, L.M., Gustafsson, B., Pyhälä, M. 2015. Assessment for fulfilment of nutrient reduction targets of the HELCOM Nutrient Reduction Scheme. Online: <http://helcom.fi/baltic-sea-action-plan/progress-towards-reduction-targets/>

Wiberg-Larsen, P., Windolf, J., Bøgestrand, J., Larsen, S.E., Tornbjerg, H., Ovesen, N.B., Nielsen, A., Kronvang, B., & Kjeldgaard, A. 2015. Vandløb 2014. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 54 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 165. <http://dce2.au.dk/pub/SR165.pdf>