



VURDERING AF TILSTANDEN I DANSKE HAVOMRÅDER FOR HAVSTRATEGI D8

Teknisk rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 286

2023



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

VURDERING AF TILSTANDEN I DANSKE HAVOMRÅDER FOR HAVSTRATEGI D8

Teknisk rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 286

2023

Martin M. Larsen
Jakob Strand
Zhanna Tairova
Cordula Göke

Aarhus Universitet, Institut for Ecoscience



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Serietitel og nummer:	Teknisk rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 286
Kategori:	Rådgivningsrapporter
Titel:	Vurdering af tilstanden i danske havområder for Havstrategi D8
Forfattere:	Martin M. Larsen, Jakob Strand, Zhanna Tairova og Cordula Göke
Institutioner:	Aarhus Universitet, Institut for Ecoscience
Udgiver:	Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi ©
URL:	http://dce.au.dk
Udgivelsesår:	Oktober 2023
Redaktion afsluttet:	Oktober 2023
Faglig kommentering:	Kim Gustavson og Jørgen L. Hansen
Kvalitetssikring, DCE:	Iben Boutrup Kongsfelt og Lars M. Svendsen
Sproglig kvalitetssikring:	Helene Nyegaard Hvid
Ekstern kommentering:	Miljøministeriet. Kommentarerne findes her: http://dce2.au.dk/pub/komm/TR286_komm.pdf
Finansiel støtte:	Ingen ekstern finansiering
Bedes citeret:	Forfattere, 2023. Vurdering af tilstanden i danske havområder for Havstrategi D8. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 85 s. - Teknisk rapport nr. 286
Sammenfatning:	Denne rapport giver baggrunden for basisanalysen for havstrategi III i Danmark ift. indikator D8: miljøfarlige forurenende stoffer, baseret på data anvendt af OSPAR til deres kvalitetsstatus rapport QSR 2023 og HELCOM til deres HOLAS 3 holistiske assessment, med værktøjet Hazardous Substance Tool. For at harmonisere resultaterne fra de danske farvandsområder anvendes HELCOMs indikatorværdier, der stemmer overens med de danske miljøkvalitetskrav. Udover tærskelværdier (TV baseret på EQS) og relaterede værdier for miljøfarlige stoffer er HELCOMs indikatorer for radioaktive stoffer (137Cs) og biologiske effekter behandlet. De fleste resultater svarer til HELCOMs HOLAS 3 vurderinger, men HELCOM har medtaget flere kystnære områder og vurderet dem individuelt, hvor denne rapport fokuserer på den samlede tilstand af Nordsøen (OSPAR-område), Kattegat (HELCOM og OSPAR-område) og Østersøen (HELCOM område). Værktøjet indikerer ikke-opnåelse af god miljøtilstand (GES) for indikatorerne Cd, Pb, Hg, ΣPBDE, og anthracen i sediment udviser generelt ikke-opnåelse af god miljømæssig tilstand (GES), hvilket svarer til udkommet i HELCOMs assessment, hvorimod OSPARs alternative indikatorværdier ikke er helt sammenlignelige med HELCOM og denne rapport, især for ΣPBDE.
Emneord:	Havstrategi, miljøfarlige stoffer, OSPAR, HELCOM, NOVANA, Miljøtilstandsvurdering
Illustrationer:	Martin M. Larsen
Foto forside:	Udsigt over Aalborg Havn fra Havforskermødet på Aalborg Universitet 2022. Martin M. Larsen, iPhone XS
ISBN:	978-87-7156-809-7
ISSN (elektronisk):	2244-9991
Sideantal:	86

Supplerende oplysninger kan downloades herunder:

- Individuelle biota tidstrends: <https://dce2.au.dk/pub/TR286BiotaGraphics.zip>
- Individuelle snegle og TBT tidstrends: https://dce2.au.dk/pub/TR286GraphicsAll_ImposexTBT.zip
- Sediment resultater (ikke tidstrend da der ikke er nok punkter): <https://dce2.au.dk/pub/TR286SedimentGraphics.zip>
- GIS-figurerne fra rapporten: <https://dce2.au.dk/pub/TR286GISfigurer.zip>
- Regionale vurderinger: <https://dce2.au.dk/pub/TR286RegionalGraphics.zip>

Indhold

Datablad	2
Forord	4
Sammenfatning	5
Summary	8
1 Kriterier, indikatorer og tærskelværdier for vurdering af miljøtilstanden	11
1.1 Potentielle indikatorer for biota	12
1.2 Potentielle indikatorer for sediment	12
1.3 Potentielle indikatorer for vand	13
1.4 Potentielle indikatorer for biologiske effekter (D8C2)	13
1.5 Data og værktøj til vurdering af miljøtilstanden.	15
2 Beskrivelse af belastningen og påvirkningen	17
2.1 Luftforurening	17
2.2 Belastning fra vandløb	22
2.3 Punktkilder	25
3 Værktøjer til vurdering af miljøtilstanden	29
3.1 Vurdering for biota (muslinger og fisk) MFS-indikatorer	30
3.2 Vurdering for sediment MFS-indikatorer	42
3.3 Vurdering af radioaktivitet indikator	45
3.4 Vurdering af biologiske effektindikatorer	49
3.5 Vurdering af usikkerhed på indikatorer	58
4 Konklusioner	59
5 Referencer	63
6 Appendiks	66
6.1 Statistisk metode anvendt af OSPAR og HELCOM	66
6.2 MFS i biota supplerende figurer og tabeller	74
6.3 MFS i Sediment supplerende tabel	81
6.4 Biologiske effekter supplerende figurer og tabeller	84

Forord

Dette arbejde er finansieret af Miljøministeriets Departement som opgavenr. 7436 – Basisanalysen Havstrategi.

Nationale vurderinger ifm. Basisanalysen for havstrategi III: Vurdering af tilstanden i de danske havområder for elementer under Havstrategiens deskriptor 8 (miljøfarlige forurenende stoffer). Formålet er at lave en vurdering af tilstanden i de danske havområder for Havstrategiens deskriptor 8, kriterie 1 og 2 i perioden 2016-2021. Denne skal, om muligt, inddrage indikatorer fra HELCOM HOLAS 3 og suppleres af nationale vurderinger for danske OSPAR-områder, hvor der ikke er anvendt samme tærskelværdier som i HELCOM. Vurderingen skal, så vidt det er muligt, være i overensstemmelse med EU's GES beslutning fra 2017 og Kommissionens Artikel 8 MSFD Assessment Guidance fra maj 2022

Databehandling baseres på data indrapporteret til ICES for OSPAR og HELCOMs seneste assessment produkter, og suppleres med data fra 2021 og for biologiske effekter af ældre data, der ikke er indrapporteret til ICES. Den anvendte statistik svarer til den, der anvendes af HELCOM og OSPAR i det fælles Hazardous substances Assessment Tool (HHAT/OHAT), der er udviklet i OSPAR regi over de sidste 15 år, og adopteret af HELCOM og AMAP indenfor de sidste 2-4 år som værktøj. Der anvendes HELCOMs miljøvurderingskriterier og normaliseringsparametre ved forbehandling af data. Den adapterede version anvendt i denne rapport kan kaldes DK-HAT, og ICES-ekstraktet er suppleret med enkelte data fra for fiskestationer i Nordsøen, og indsamling af danske biologiske effektmålinger fra hele perioden.

Sammenfatning

Havkonventionerne for Nordsøen og Østersøen (Oslo-Paris konventionen OSPAR og Helsinki-konventionen HELCOM) bruger et værktøj til vurdering af data om miljøfarlige stoffer: Hazardous Substances Tool (OHAT/HHAT). Danske data fra det Nationale Overvågning af Vand og Natur-program (NOVANA) rapporteres til det internationale havforskningsråd (ICES) database for det marine miljø (DOME), og data herfra anvendes i forbindelse med de regionale havkonventioners vurdering af havområderne omkring Danmark: OSPARs Quality Status Report for Nordsøen (QSR 2023) og HELCOMs holistiske assessment 3 for Østersøen i 2023 (HOLAS 3). Der er i samarbejde mellem OSPAR, HELCOM og AMAP iværksat et projekt HARSAT for harmonisering af xHAT-værktøjet, så det kan anvendes i alle konventionerne, og som vil blive gjort offentligt tilgængeligt, ligesom dataunderlaget i dag er det fra både miljøportalen og ICES DOME. Til denne rapport blev et mellemtrin af det kommende fælles værktøj anvendt til at behandle alle danske data i en "DK-HAT"-opsætning i maj. På basis af HELCOMs kriterier og normaliseringsparametre blev tidstrend-analyser for stationer beregnet, og regionale aggregeringer af dataene efter OSPARs metodologi blev brugt for vurdering af dataene i relation til Deskriptor 8 i havstrategidirektivet.

Belastning fra atmosfæren, vandløb og punktkilder er opgjort for danske forhold og sammenlignet med OSPAR og HELCOMs opgørelser. Ud fra eksisterende NOVANA overvågning i ferskvand og punktkilder er belastningen fra ferskvand og punktkilder estimeret med relativ stor usikkerhed. Den anvendte metodik kan forfines til at give mere sikre estimater i fremtidige opgørelser, men dette var ikke hovedfokus for denne rapport.

Alle rapporterede data fra NOVA- og NOVANA-programmet (1998 til 2021) indgår i tidstrend-analyser, men kun stationer med data i perioden 2016-2021 er anvendt i den videre vurdering. Der er foretaget aggregering af tre marine områder: Østersøen (inklusive Øresund og Storebælt og Lillebælt/Århus Bugt), Kattegat (inklusive Roskilde Fjord, Isefjorden og Limfjorden) og Nordsøen (inklusive Skagerrak). For imposex i havsnegle behandles Øresund og Storebælt dog separat pga. salinitetsskiftet fra Kattegat, der kan påvirke havsneglene. Der er foretaget normalisering af data som forudsat for HELCOMs HOLAS 3 (se kapitel 1.5), og der er anvendt de indikator-kriterier, som HOLAS 3 var baseret på, hvilket svarer til det danske vandrammedirektivs miljøkvalitetskrav (TV) for muslinger, fisk og sediment, samt enkelte supplerende HELCOM-accepterede kriterier for ^{137}Cs og OSPAR/HELCOM/ICES-accepterede kriterier for biologiske effekter. Hvor der har været data til rådighed, er der for muslinger og fisk lavet regionale aggregeringer baseret på tidstrendanalyse-serierne fra hvert af de tre havområder og en "maximum likelihood" statistisk model for områdernes tidslige udvikling og koncentrationsmæssige status. De resulterende koncentrationer er derefter vurderet i forhold til EU's god miljøtilstand (GES) beslutning fra 2017 og havstrategiens (MSFD) assessment guidance dokumentet fra EU 2022, med tærskelværdien (TV) sat til HOLAS 3 værdierne, svarende til de TV for vandrammedirektivet.

I forbehandlingen af data er enkelte fejl i ICES-indrapporteringerne rettet, og stationer, der ikke var rapporteret, er tilføjet, men det udgør < 1 % af de anvendte data i forhold til HELCOM og OSPARs datagrundlag. For de biologiske effekter er data fra alle NOVANA kilder samlet, og disse er behandlet

selvstændigt uden at indgå i DK-HAT vurderingen, da der kun er få stationer med data fra 2016-2021 (to per emne bortset fra imposex). For sediment er der ikke nok data til at lave tidstrendanalyser generelt, og derfor er der kun lavet en uformel (kvalitativ) vurdering af koncentrationerne overfor TV for sediment, da der maksimalt er 2 målinger pr station. Overvågningen af radioaktive stoffer ligger udenfor NOVANA, og data fra DTU Risø's overvågningsprogram af vand og muslinger indgår kun via DTUs publikationer og HELCOMs vurdering af ^{137}Cs for de Danske dele af Østersøen og Kattegat.

Ved anvendelse af HELCOMs indikator-kriterier opnås en god sammenhæng mellem vurderingerne foretaget i denne rapport og HOLAS 3, til trods for at især aggregeringen af data for havområder er væsentligt forskelligt.

For metaller (bly, cadmium, kobber og kviksølv) blev der generelt fundet ikke-god miljøtilstand i alle havområder, hvilket for stemmer med vurderingen fra HELCOM for Østersøen og Kattegat, dog finder HELCOM for bly i Kattegat god miljøtilstand. For Nordsøen vurderer OSPAR kun kviksølv for biota til ikke-god miljøtilstand, svarende til denne rapport.

Tjærestoffer blev fundet i god miljøtilstand for benz(a)pyren og fluoranthen i muslinger, og sediment for fluoranthen, men ikke anthracen i sediment. HELCOM når til samme resultat for de tre PAH'er, og i OSPAR findes den sydlige Nordsø i god miljøtilstand for 10 PAH'er både i sediment (også for anthracen), muslinger og biologiske effekter i fisk, vurderet i forhold til EAC og ERL

For de halogenerede stofgrupper (PFOS, PCB og dioxiner, bromerede flammehæmmere og HBCDD) var der kun data nok til at foretage regional aggregering for Østersøen, men de uformelle vurderinger af Kattegat og Nordsøen følger stort set samme mønster: PFOS, PCB og HBCDD er i god miljøtilstand, hvorimod bromerede flammehæmmere er i ikke-god miljøtilstand. Miljøtilstanden for dioxinerne varierer noget mere, men er flere steder i ikke-god miljøtilstand. For dioxiner var der meget få stationer med tidstrend data, da dioxiner kun indgår i de største analysepakker for NOVANA, der kun analyseres på få stationer.

HELCOMs vurdering af ^{137}Cs er god miljøtilstand i de danske farvande, tæt på niveauerne før Chernobyl-katastrofen i 1986.

Effekter som imposex og kemiske målinger af tributyltin i muslinger og fisk viser, at niveauerne er faldende, og påvirkningen af havsnegle er på et niveau, der ikke truer arternes reproduktion. For sediment er koncentrationerne stadig så høje, at der er ikke-god miljøtilstand i de fleste områder, men TV-grænsen er tæt på detektionsgrænsen for analyserne, så der er en stor analytisk usikkerhed på niveauerne, oven i en meget langsom nedbrydning i sedimentet. For biologiske effekter i ålekvabber ser der ikke ud til at være nogen tidstrend i den reproduktive succes, men for både PAH-metabolitter og EROD er der signifikante tidstrend på Roskilde-stationen (Pyren-metabolit F-test $\alpha = 0,0003$; $r^2 = 0,75$ hhv. EROD F-test $\alpha = 0,0016$; $r^2 = 0,64$), men ikke på Kalvebod (F-test $\alpha = 0,881$ for Pyren-metabolit og $\alpha = 0,543$ for EROD). På grund af de få stationer er det dog ikke muligt at udtale sig om havområdets status og udvikling.

Metoden til databehandling og aggregering bygger på statistiske modeller (beskrevet i kapitel 6.1) og giver information om både status og usikkerhed på status, som kan bruges til at lave kvantitative estimater af sikkerheden for

de foretagne vurderinger samt foretage fremskrivninger af havområders fremtidige miljøstatus ved uændret belastning. For de områder, hvor der har været tilstrækkelige data til regionale aggregeringer, er vurderingerne derfor med høj sikkerhed, især fordi det er den øvre 95%-konfidensgrænse, der skal være opfyldt for at få god miljøtilstand, med kun 5% chance for falsk positive gode miljøtilstande. For de kvalitativ vurderede områder kan one-out-all-out eller simpel gennemsnits-/medianværdi betragtninger anvendes til aggregeringen, ligesom vurderingen af den samlede miljøtilstand kan foretages med one-out-all-out eller CHASE beregning for alle parametre, men det ligger udenfor denne rapport's formål, så her henvises til en kommende publikation, der ser på forureningsindeks for overfladevand (Gustavson et al, in prep).

Summary

The marine conventions for the North Sea and Baltic Sea (OSPAR and HELCOM) uses a tool to assess Hazardous substances data, the Hazardous Substances Tool (OHAT/HHAT). Danish NOVANA data are reported to the ICES DOME database, and data from DOME is used to drive the regional sea conventions assessment of the marine areas around Denmark: OSPARs Quality Status Report for the North Sea (QSR 2023) and HELCOMs holistic assessment 3 (HOLAS 3). In corporation between OSPAR, HELCOM and AMAP a project HARSAT is working on harmonizing the xHAT tool, to make a public available tool, with the data to go into the tool already available from ICES today. For this report, the end of May developmental version of the upcoming HARSAT public tool was used on an extract of all Danish ICES data. This "DK-HAT" setup was based on HELCOMs assessment criteria and normalization procedures to derive time trend analysis, and further a regional aggregation of the data based on OSPARs methodology was used in an assessment related to the descriptor 8 in the marine framework directive.

The input from the air, rivers and point sources have been estimated for Danish marine environment and compared to OSPAR and HELCOM estimates. Based on the existing NOVANA monitoring in freshwater and point sources, the input from streams and point sources are estimated, with relative high uncertainty. The method used should be fine-tuned to give less uncertain estimates in the future, but this was not the main focus of this report.

All data from the Danish monitoring NOVA and NOVANA (1998 to 2021) are available for the time-trend analysis, but only stations with data within the period 2016 to 2021 are included in the further analysis. An aggregation of the stations into three marine areas is performed: The Baltic (including The Sound and Great Belt, treated as separate areas for imposex in marine snails, and Little Belt/Bay of Aarhus), Kattegat (including Roskilde Fjord, Isefjord and Limfjorden) and the North Sea (including Skagerrak). Data are treated according to the HELCOM HOLAS 3 with regard to normalization and recalculations between organs, and the indicator target values agreed in HOLAS 3 are used, in good agreement with the Danish Environmental quality standards (TV) for mussels, fish and sediments, supplemented with some HELCOM accepted criteria for ¹³⁷Cs and OSPAR/HELCOM/ICES accepted criteria for biological effects. When enough time-trend stations are available for regional aggregation (i.e. three stations of mussels or fish), based a maximum likelihood statistical model for an aggregated time-trend and concentration based status assessment. The resulting concentrations are assessed based on EU's GES decision from 2017 and the MSFD assessment guidance document from EU 2022.

In the preparatory work, a few errors in the ICES reporting were corrected, and stations not reported previously was added, but changed less than 1 % of the data used in HELCOM and OSPARs assessments. For the biological effects, data from all NOVANA sources was collated, and treated separately, not going through the DK-HAT assessment system, as there are only few stations with these data from 2016 to 2021 (two per parameter except for imposex). For sediment, time-trend stations are not generally available due to few samples for the metals and PAHs in 2016 to 2021, resulting in only informal

assessments of concentrations versus the TV for sediment. Monitoring of radioactive substances is outside of the NOVANA program, so data from DTU Risø's monitoring program for water and fish are only reported from their own publications and HELCOMs assessment of ^{137}Cs for the Danish parts of the Baltic and Kattegat.

Using HELCOMs indicator criteria, a good correlation between the assessment done in this report and the HOLAS 3, despite the difference in particularly aggregating of data for the marine areas.

For metals (lead, cadmium, copper and mercury) all was generally found non-compliant GES in all marine areas, in accordance with HELCOM findings and OSPARs mercury in biota assessment.

For PAHs (anthracene, benz(a)pyren and fluoranthene) GES was achieved for benz(a)pyren and fluoranthene in all marine areas, whereas anthracene in sediment generally was non-compliant with GES in the informal assessments.

For Halogenated substances (PFOS, PCB and dioxiner, Brominated flame-retardant and HBCDD) only the Baltic had enough data to perform the regional aggregation, but the informel assessment available in the North Sea and Kattegat by and large followed the same pattern as in the Baltic region: PFOS, PCB and HBCDD achieved GES, whereas brominated flame-retardants was non-compliant with GES in all areas, and dioxins varied more between stations, but generally had non-compliant stations in all regions. Very few dioxin data with time-trends was available as dioxins are only included in the largest analytical packages in the NOVANA program.

HELCOMs assessment of ^{137}Cs is GES for the Danish regions, with the possibility of achieving levels as those measured before the Chernobyl disaster in 1986.

The effects of imposex in marine snails and chemical measurements of organotins in mussels and fish shows decreasing concentration levels, and effects in marine snails are at a level where the species reproduction are not impacted. For sediment, concentration levels are still above the GES criteria in most areas, but the threshold value (EQS) is close to the detection limit of the analytical method, so the analytical uncertainty is high at the EQS levels. On top of this, a very slow degradation rate in sediments leaves burial as the normal way of lowering surface sediment concentrations.

Biological effects in eelpouts reproductive success does not seem to have any time-trend associated with them. On the other hand, both for PAH metabolites and EROD there is an indication that time-trends can be tracked, with significant LINESST timetrends for Roskilde station (Pyrene-metabolit F-test $\alpha=0,0003$; $r^2 = 0,75$ respectively EROD F-test $\alpha= 0,0016$; $r^2 = 0,64$), but not for Kalvebod (F-test $\alpha = 0,881$ for Pyrene-metabolit og $\alpha = 0,543$ for EROD). But due to the small number of stations, it is not possible to assess status and development at a more regional level.

The method of data treatment and aggregation is built on statistical models and gives information on both status and uncertainty of the status, which can be used to make quantitative estimates of the uncertainty for the established assessment and make prediction of future GES status for sea regions with un-

changed inputs, including uncertainty of the predictions possible. For the areas with regional aggregation, the assessment has a high safety factor when utilizing the upper 95% confidence limit as concentration to compare to the EQS, as this only leaves 5% false positive GES assessments. For the informally assessed areas, a one-out-all-out or simple average or median value for aggregation of areas can be used for comparison with EQS criteria. Likewise, the assessment of the set of parameters can be used either with a one-out-all-out or a CHASE calculation for all parameters, but this is outside the scope of this report, but is discussed in an upcoming report for the Ministry of the Environment, Gustavson et al (in prep).

1 Kriterier, indikatorer og tærskelværdier for vurdering af miljøtilstanden

Havstrategiens deskriptor 8 om miljøfarlige forurenende stoffer fastlægger beskrivelse af god miljøtilstand for indholdet af forurenende stoffer (kriterium D8.1.1 og D8.2.1) som (MFVM, 2019):

- Tilførslen af forurenende (miljøfarlige) stoffer må ikke skabe forureningsvirkninger i havmiljøet.

Fastsættelse af miljømål for indholdet af forurenende stoffer (kriterium D8.1.1 og D8.2.1):

- Indholdet af forurenende stoffer i vand, sediment og levende organismer må ikke overskride fastlagte miljøkvalitetsstandarder.

Indikator(er) der anvendes er:

- Koncentration i sediment og biota af kviksølv, cadmium, zink, kobber, bly, krom, nikkel, arsen, TBT og PAH'er.
- Celleskader, lysosomal stabilitet og imposex hos ålekvabber, muslinger og snegle.

God miljøtilstand for koncentrationer og arters sundhed er således defineret ved, at stoffer ikke overskrider fastsatte tærskelværdier (MFVM, 2019). Til det formål er der udviklet både nationale og EU-definerede tærskelværdier (TV) eller Environmental Quality Standards (EQS) på engelsk, fortrinsvis til arbejdet med vandrammedirektivets kystnære områder, men de samme TV'er anvendes også i havstrategiens mere åbne farvande.

De regionale havkonventioner for Østersøen (HELCOM) og Nordsøen (OSPAR) bruger også de udviklede EQS/TV-værdier som grænse for god miljøtilstand (GES), men hvor HELCOM stort set kun bruger europæiske TV-værdier, har OSPAR en tradition med at udvikle egne eller anvende relevante kriterier fra Canada og USA. Det betyder, at vurderinger foretaget for OSPAR ikke nødvendigvis stemmer overens med vurderinger foretaget i HELCOM, og det er især et problem for Danmark og Sverige da Kattegat indgår i begge konventioners arbejdsområde.

EQS/TV-krav fastlægges ud fra EU-guideline 27 (EU, 2018) og er baseret på økotoksikologiske data. Målet med de fastlagte TV er at sikre, at der ikke sker negative biologiske effekter på marine organismer, og at miljøfarlige stoffer ikke opkoncentreres i fødekæder og belaster bl.a. sæler, marsvin eller fugle – og mennesker som toppen af fødekæden. I fastlæggelsen af TV'er ses der, udover bioakkumulerbarhed, særligt på stoffer, der er giftige og svært bionedbrydelige.

Supplerende til EQS-baserede TV er der udviklet EU-miljøkriterier for en række miljøfarlige stoffer i vand og biota EU (EU, 2013), som anvendes i vandrammedirektivet og i HELCOM. I HELCOM er der udviklet miljøkvalitetskriterier for sediment for radioaktive stoffer udviklet af HELCOM MORS og biologiske effekter, som direkte påviser effekter på dyr, udviklet af OSPAR, HELCOM og ICES i biologiske effekt-undergrupper (Tairova & Strand, 2021).

Baggrunden for HELCOM indikatorer kan findes på <https://indicators.helcom.fi/#>

De enkelte potentielle indikatorer for biota (fisk og muslinger), sediment, radioaktivitet og biologiske effekter er gennemgået i de følgende afsnit. Der er så vidt muligt anvendt TV og HELCOM accepterede kriterier og set bort fra OSPARs egne udviklede baggrunds-assessment og økotoksikologiske assessment kriterier (BAC/EAC) og amerikanske/canadiske alternativer, som kunne være anvendt i stedet for. De alternative kriterier er ikke dokumenteret i henhold til EU's guideline 27 (EU, 2018) og er derfor fravalgt.

1.1 Potentielle indikatorer for biota

Indikatorer for miljøfarlige stoffer i biota, som er anvendt i denne rapport, er angivet i tabel 1.1. I tabellen er angivet TV, om stoffet indgår i NOVANA, og om det indgår i HELCOMs og OSPARs vurderinger. OSPAR anvender for nogle indikatorer alternative værdier, hvis oprindelse er angivet i parentes: FEQG er Canada's føderale miljøkvalitetsguideline, og BAC er OSPARs baggrunds assessment koncentration.

Tabel 1.1. Potentielle indikatorer og deres anvendelse i regionale konventioner

Stof	TV _{biota} [µg/kg]	Type	NOVANA	HELCOM	OSPAR
Bly	110	National	Ja	Ja	(BAC)
Cadmium	160	National	Ja	Ja	(BAC)
Kviksølv	20	EU	Ja	Ja	Ja
PFOS	9,1	EU	Ja	Ja	Ja
HBCDD	167	EU	Ja	Ja	Ja
ΣPBDE	0,0085	EU	Ja	Ja	(FEQG)
Ikke-dioxinlignende PCB	75	EU	Ja	Ja	Ja
dioxinlignende PCB	0,0065	EU	Ja	Ja	Ja
Benz(a)pyren	5	EU	Ja	Ja	Ja
Fluoranthen	30	EU	Ja	Ja	Ja
¹³⁷ Cs	20 Bq kg ⁻¹ Vådvægt	HELCOM	DTU	Ja	Nej

Der er tre stoffer, hvor der foreligger TV/EQS, men som ikke indgår i HELCOMs core indicators, og de er derfor ikke medtaget i denne rapport: Hexachlorbenzen (HCB), Hexachlorbutadien (HCBd) og Dicofol. Dicofol indgår derudover ikke i NOVANA overvågningen.

1.2 Potentielle indikatorer for sediment

Indikatorer for miljøfarlige stoffer i sediment anvendt i denne rapport er beskrevet i tabel 1.2. De svarer til indikatorerne i HELCOM HOLAS 3. Metaller, PAH'er og TBT blev kun målt i delprogrammet for havstrategi med 10 stationer 2 gange i perioden 2016-2021, så der er ikke mange data til rådighed for vurderingen. Der er ingen accepterede EQS værdier for sediment, der kan anvendes som TV, da guideline 27 (EU, 2018) foreløbig kun har midlertidige standarder til brug for udvikling af sediment standarder, baseret på enten sediment toxicitets-data eller ligevægtsfordeling mellem sediment og vand (EqP). Der er en generel advarsel om, at QS_{sediment} baseret på EqP bør suppleres med yderligere toxicitetstests eller vil have en høj grad af usikkerhed, der skal tages hensyn til ved fortolkningen af resultatet (Guideline 27 afsnit 5.2.1.2).

OSPAR anvender for nogle indikatorer alternative værdier, hvis oprindelse er angivet i parentes: ERL er Effect Range Low værdier fra US-EPA. For TBT er anvendt den nationalt udviklede TBT-værdi, men normaliseret til 2,5% TOC i stedet for de 5% TOC, der anvendes i HELCOM og EU guideline 27.

Svenske og præliminære Danske QS_{sediment} op til HELCOM HOLAS 3. HELCOMs tærskelværdi for fluoranthen stemmer med det danske udkast til sedimentkvalitetskriterie men anthracen svarer til ferskvandskriteriet, som i Danmark er skærpet til 4,8 $\mu\text{g}/\text{kg}$ for saltvand. Udover de her rapporterede indikatorer er der et antal andre danskudviklede miljøkvalitetskriterier (<https://mst.dk/er-hverv/sikkerkemi/kemikalier/graensevaerdier-og-kvalitetskriterier/kvalitetskriterier-for-miljoefarlige-forurenende-stoffer-i-vand-miljoet>), der ikke er accepteret internationalt eller sat som krav endnu, og derfor ikke indgår i vurderingerne i denne rapport.

Tabel 1.2. Sediment indikatorer og deres tærskelværdi anvendt i HELCOM HOLAS 3. Enheder $\mu\text{g}/\text{kg}$ tørret materiale (TS).

Stof	TV_{sediment} [$\mu\text{g}/\text{kg}$ TS]	Type	NOVANA	HELCOM	OSPAR
Bly	120 000	HELCOM QS_{Sediment}	Ja	Ja	(ERL)
Cadmium	2 300	HELCOM QS_{Sediment}	Ja	Ja	(ERL)
Kobber	30 000	HELCOM QS_{Sediment}	Ja	Ja	(ERL)
Anthracen	24	HELCOM QS_{Sediment}	Ja	Ja	(ERL)
Fluoranthen	3 500 (5%TOC)	HELCOM QS_{Sediment}	Ja	Ja	(ERL)
TBT	1,3 (5%TOC)	HELCOM QS_{Sediment}	Ja	Ja	Ja (2,5% TOC)

1.3 Potentielle indikatorer for vand

For HELCOM anvendes indikatorer for metaller i vand, men der overvåges ikke i vandige prøver for MFS i NOVANA programmet for Danmark. Dog er der et særligt overvågningsprogram for den radioaktive isotop for cæsium (^{137}Cs), som vurderes under HELCOMs assessment kriterier for præ-chernobyl (baggrundsniveau) og har en højere grænse for god miljøtilstand (HELCOM GES). HOLAS 3 kriterierne for radioaktiv indikator i vand er vist i tabel 1.3. OSPAR har et overvågningsprogram for udledning af radioaktive stoffer fra boreplatforme i Nordsøen, men der er ikke fundet danske rapporteringer af disse, så de er ikke behandlet nærmere.

Tabel 1.3. Potentielle indikatorer og deres anvendelse i regionale konventioner

Stof	HELCOM [Bq m^{-3}]	Type	NOVANA	HELCOM	OSPAR
^{137}Cs	40	HELCOM GES	Nej – særprogram	Ja	Nej
^{137}Cs	15	Præ-Chernobyl	Nej – særprogram	Ja	Nej

Det danske overvågningsprogram for radioaktive stoffer i miljøet udføres af DTU Risø, og data ligger ikke i ICES databasen, men i HELCOM MORS databasen, så der er kun anvendt figurer fra HELCOM MORS' rapport ved gennemgangen af resultater i afsnit 3.3 (HELCOM, 2023a).

1.4 Potentielle indikatorer for biologiske effekter (D8C2)

De potentielle indikatorer for biologiske effekter, som anvendes i NOVANA-programmet, samt de organismer, som målingerne er foretaget på, er angivet i tabel 1.4. For hver indikator er der angivet navnet og typen af indikator.

Tabel 1.4. Arter der indgår i NOVANA, hvor der overvåges for biologiske effekter af miljøfarlige stoffer

Indikator art	Type af indikator	Navn
Fisk (ålekvabbe, <i>Zoarces viviparus</i>)	PAH-specifikke effekter	CYP1A (EROD) aktivitet, PAH-metabolitter (FAC)
	Generelle effekter	Reproduktive succes
Musling (blåmuslinger, <i>Mytilus edulis</i>)	Generelle effekter	Lysosomal membran stabilitet (LMS)
Marine gastropods (<i>Neptunea antiqua</i> , <i>Nucella lapillus</i> , <i>Hinia reticulata</i> , <i>Buccinum undatum</i> , <i>Littorina littorea</i>)	TBT-specifikke effekter	Imposex og intersex

For de potentielle biologiske effekt-indikatorer i Tabel 1.5 er den fastsatte type miljøkvalitetskrav angivet, og om indikatoren indgår i NOVANA, og om det bruges i HELCOM og OSPARs vurderinger. Oplysninger i tabellen er baseret på notat fra DCE, 59 (Tairova & Strand, 2021). Bemærk, at bortset fra Imposex er biologiske effekter i HELCOM HOLAS 3 rapporteret som et pilot-studie i den tematiske assessment af miljøfarlige stoffer, marin støj, undervands støj og ikke-hjemmehørende arter (HELCOM, 2023) og i OSPAR QSR 2023 er biologiske effekter rapporteret som et case study (Bourgeot et al, 2023). Der indgår flere biologiske effekter i OHAT end dem nævnt i tabel 1.5, men de indgår ikke i NOVANA overvågningen og indgår ikke i dansk overvågning.

Tabel 1.5. Potentielle indikatorer og deres anvendelse i regionale konventioner, samt i hvilke dyr indikatormålingerne er foretaget. NOVANA delprogrammet for havstrategi er angivet som (Ja), da der kun er data fra 1-2 stationer hvert år. HELCOM indikator er angivet (Ja) fordi den indikator var fravalgt i perioden op til HOLAS II udgivet i 2018.

Indikator/Dyr	Vurderings kriterie (OSPAR)	Type	NOVANA	HELCOM	OSPAR
TBT- specifikke effekt indikatorer: imposex og intersex/snegle	Klasse A-F	National	Ja	Ja	Ja
VDSI / snegle <i>Neptunea antiqua</i> og <i>Nucella lapillus</i>	BAC: index 0,3 EAC: index 2	National	Ja	Ja	Ja
<i>Buccinum undatum</i> og <i>Tritia nitida</i> / <i>reticulata</i>	EAC: index 0,3				
Misdannelser af yngel (typer B-G) / fisk	BAC: 1% EAC: 2%	National	(Ja)	(Ja)	Nej
Sent døde unger (type A) / fisk	BAC: 2% EAC: 4%	National	(Ja)	(Ja)	Nej
Tidligt død yngel (type 0) / fisk	BAC: 2,5% EAC: 5%	National	(Ja)	(Ja)	Nej
Abnorm udvikling af yngel (alle typer) / fisk	BAC: 5% EAC: 10%	National	(Ja)	(Ja)	Nej
CYP1A (EROD) aktivitet / fisk	BAC: 10 pmol min ⁻¹ mg protein ⁻¹	National	(Ja)	(Ja)	Ja (arts specifik BAC)
PAH metabolitter / fisk	BAC: 92 ng ml ⁻¹ (EAC: 483 ng ml ⁻¹)	National	(Ja)	Ja	Ja (arts specific BAC/EAC)
Lysosomal membran stabilitet (LMS) / blåmusling	BAC: 120 EAC: 50	National	Ja	Ja	Ja (andet mål end LMS)

Resultaterne af de enkelte biologiske effekter er gennemgået i afsnit 3.4

1.5 Data og værktøj til vurdering af miljøtilstanden.

Der er kun udtaget stationer med data imellem 2016 og 2021, og stationer uden data efter 2015 indgår ikke i denne rapport. Undtaget for dette er imposex, som kun undersøges hvert andet år, her er data fra 2022 medtaget, hvor de findes, og Nordsøen er vist, selvom de seneste data er fra 2023.

På basis af OSPAR og HELCOMs fællesværktøj for vurdering af miljøfremmede stoffer (OHAT og HHAT for OSPAR/HELCOM Hazardous Assessment Tool) er vurderingskriterierne for HELCOM samlet og anvendt i et dansk værktøj (DK-HAT).

Værktøjet er en samling R-scripts (kørt i R-Studio Version 2023.06.0+421) med R-pakken "tidyverse", som tager et ekstrakt af data fra ICES-databasen, og foretager al normalisering til HELCOMs vurderingskriterier i HOLAS 3 (lipid-normalisering af PCB, dioxin og bromerede flammehæmmere i biota, 5% TOC for sediment for kobber, PAH). Beregning af WHO-TEQ fra de individuelle dioxiner og dioxinlignende PCB-resultater fra ICES og tidstrend analyser med tilhørende usikkerhedsestimater beregnes på basis af antal tilgængelige år på de enkelte tidstrends datasæt. Alle data er log-transformeres før tidstrend analyserne, dette er standardfremgangsmåden for miljøfremmede stoffer, som normalt gør data mere normalfordelte, hvilket er et krav for den anvendte statistik. I figurerne anvendes en logaritmisk skala, så prøverne kan vises i deres normale enhed uden at tilbage-konvertere log-transformationen.

Tidstrenddata deles op i tre længder af tidstrend:

≤2 år: Data anvendes til uformel status.

3-4 år: data formodes ikke at have tidstrend, og der regnes middelværdi og 95% konfidensinterval ud fra data til en status tidstrend.

5-6 år: Der testes for lineær tidstrendtrend med udkommet faldende, stigende eller ingen tendens. Et 95% konfidensinterval estimeres.

>7 år: Der fittes en "blød" kurve til data og tidstrend testes. For de sidste 6 år testes for lineær tidstrend. Et 95% konfidensinterval estimeres for den tilpassede kurve.

Resultaterne fra tidstrendskurver sammenholdes med indikatorværdierne fra tabel 2.1 til 2.3 ved at tage det øvre 95% konfidensinterval og sammenligne det med indikatorværdien. Resultater over TV vurderes som ikke-opfyldelse af GES (grøn statistik: Der er 5% chance for at få en falsk negativ opfyldelse).

Det forventes, at systemet bliver offentligt tilgængelig under et fælles projekt HARSAT fra OSPAR, HELCOM og AMAP, som forventes at blive hostet på ICES hjemmeside i løbet af 2024.

Under OSPAR laves herudover regionale vurderinger baseret på en statistisk samling af mindst tre tidstrend-stationer indenfor en region med en "passende" geografisk dækning. Der fittes en maximum likelihood funktion til alle stationerne, og denne anvendes som den mest sandsynlige værdi for parameteren. Modsat tidstrends anvendes den fittede middelværdi for hele regionen til at sammenligne med TV værdien, og værdier over denne angives som ikke-opfyldelse af GES (brun statistik: når den fittede værdi svarer til TV værdien, er der 50% chance for falsk negativ opfyldelse). De estimerede usikkerheder

på den fittede værdi viser dog stadig 95% konfidensintervallerne, men pga. regionale forskelle i koncentrationsniveauer forventes usikkerheden at være større end på enkelt stationer, hvor der "kun" indgår år til år-variationer, så det øvre 95% konfidensinterval kan være nærmest uopnåeligt for regionerne. Det skal bemærkes, at stationer, der er kendt påvirket (havne, klappladser o.l.), er fjernet fra datasættene, før de indgår i OSPAR og HELCOMs databehandling, da der kun arbejdes med diffust forurenede og baggrundsstationer for konventions vurderinger, og punktkilde problematikken håndteres separat.

I denne rapport er der samlet data fra tre regioner: Nordsøen (Vesterhavet og Skagerrak), Kattegat (inklusive Limfjorden og Roskilde Fjord) ned til Odden-Ebeltoft-linjen og Nordsjælland-Kullen-linjen. Resten er samlet som Østersøen, inklusive Storebælt, Lillebælt og Øresund (figur 3.1). For tributyltingennemgangen sammen med imposex er Øresund og Storebælt behandlet selvstændigt fra Kattegat, da salinitetsgradienten fra Kattegat til Bælthavet har indflydelse på havsnegles vilkår, og de to farvande er væsentligt mere trafikerede med skibe pr. overfladeareal end Kattegat udenfor sejlruterne (hovedkilden til TBT var fra bundmaling).

Mere uddybende beskrivelse fra OHAT-hjælpefilerne er givet i appendiks 6.1 (på engelsk).

For biologiske effekter er der ikke mange stationer med data i perioden 2016-2021, og derfor er der anvendt funktionen LINEST i Excel for tidstrend af EROD og PAH-metabolitter for de to stationer. Der anvendes ikke log-transformation af data for biologiske effekter, da deres udfaldsrum i mange tilfælde ikke er så stort som for kemiske målinger.

Forbehandling af data til estimering af tilførsler fra punktkilder og vandløb er ligeledes foretaget i Excel, fortrinsvis ved brug af Pivot-tabeller og simple sammentællinger/multiplikation som beskrevet i teksten.

2 Beskrivelse af belastningen og påvirkningen

De forskellige vandområder belastes forskelligt, og der er flere kilder til forurening. Som udgangspunkt er der følgende kilder til belastning af havmiljøet:

- Luftbårne forurening af miljøfarlige stoffer, både fra lokale kraft-varmeværker, nogle industrier, brændeovne og langtransport fra landene omkring Danmark.
- Ferskvandsafstrømning med tilhørende tilførsel af miljøfarlige stoffer.
- Direkte og indirekte (via vandløb) udledning fra kommunale og industrielle renselanlæg, samt udledninger og udsivning fra akvakulturer, lossepladser og giftdepoter.

Den luftbårne forurening er beregnet for land- og vandområder i HELCOM og OSPAR via det danske luftovervågningsprogram, med fokus på metaller og PAH'er. Herudover rapporteres emissioner fra industrielle anlæg til EU hvert år. En beskrivelse og vurdering af kilderne fremgår af afsnit 2.1.

Ferskvandsafstrømningen er rapporteret fra det danske ferskvandsovervågningsprogram i NOVANA og er opgjort i HELCOM og OSPAR for metaller fra de fleste lande, men der er ikke tidligere foretaget vurdering af den samlede belastning fra ferskvand til det marine miljø i Danmark. I afsnit 2.2 er et forslag til beregning af ferskvandsbelastningen opstillet og sammenlignet med OSPAR og HELCOMs opgørelser.

Direkte forurening fra punktkilder og renselanlæg er opgjort i afsnit 2.3. Det er et første estimat, da der ligesom for ferskvandsbelastningen ikke tidligere er forsøgt opgjort en samlet belastning fra renselanlæg til vandmiljøet. Resultaterne er sammenstillet med OSPAR og HELCOMs forventede tilførsler, men er opgjort for alle udløb, ikke kun dem til det marine miljø, hvilket gør, at en del af opgørelsen også medregnes i ferskvandsbelastningen.

2.1 Luftforurening

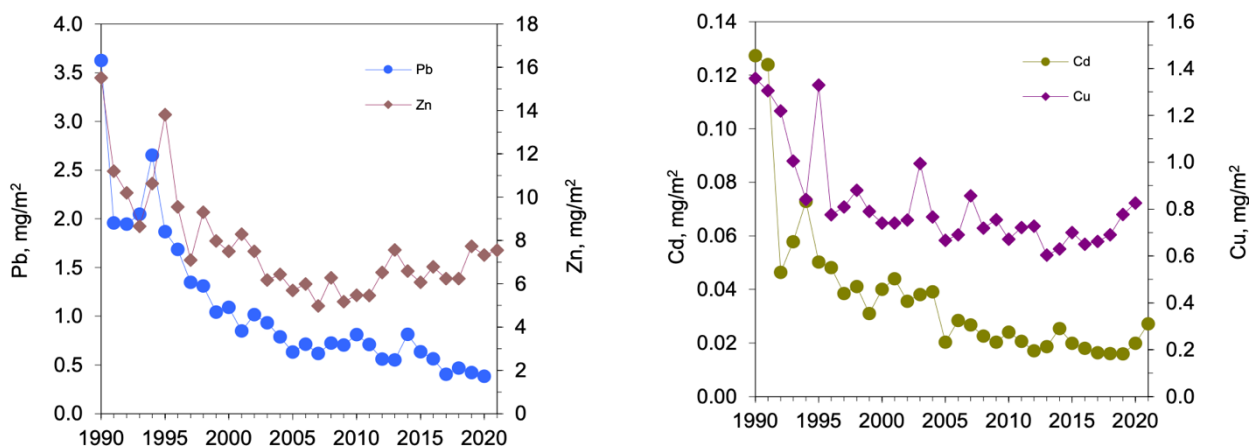
Luftforurening måles i Danmark på 6 stationer med nedbørsopsamling (våd-deposition) og 3 stationer med filteropsamling (tørdeposition). Resultaterne indrapporteres til EMEP og anvendes i HELCOM- og OSPAR-regi til at følge udviklingen i luftforurening for Østersøen og Nordsøen.

2.1.1 Nationale opgørelser

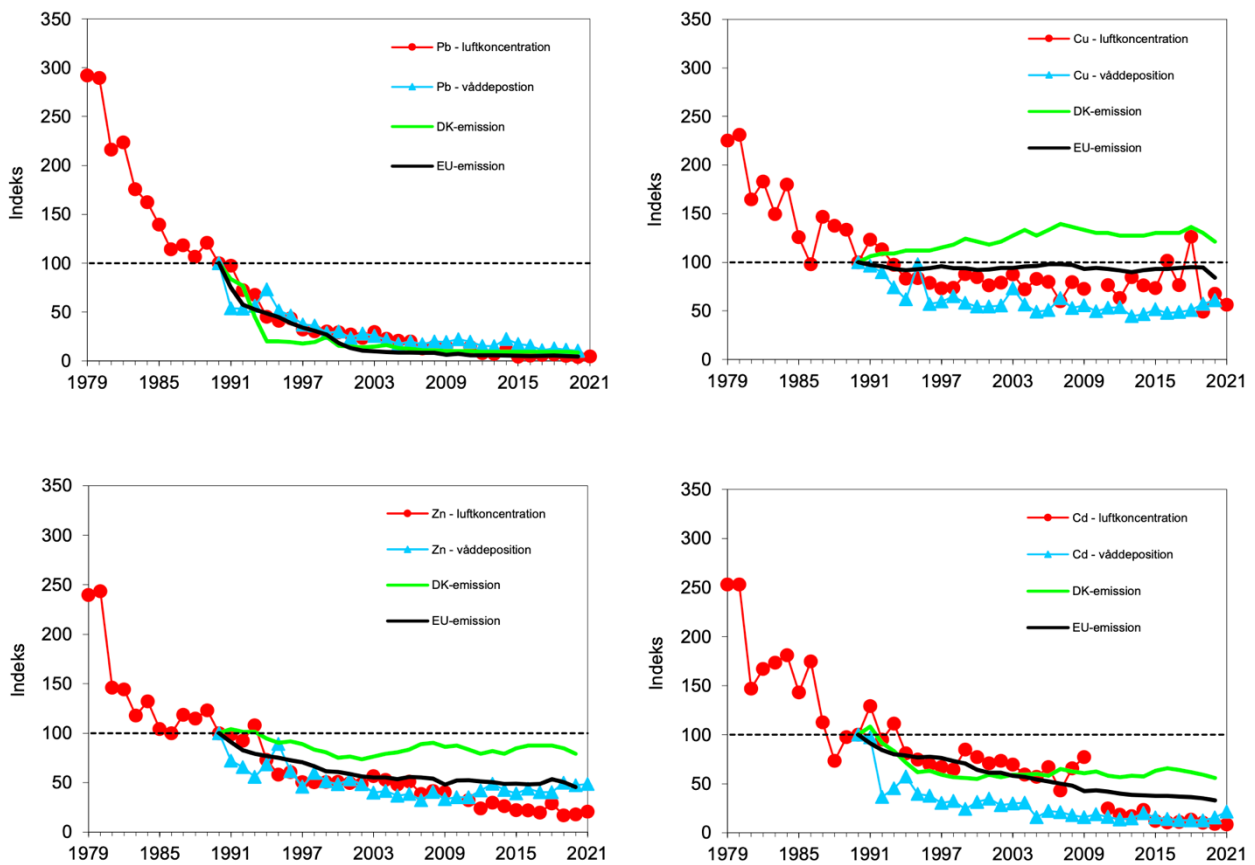
Der udarbejdes årligt atmosfærisk depositions-rapporter, den seneste dækker 2021 (Ellerman et al 2023). Rapporterne dækker metaller og PAH'er, som indgår i denne vurdering, udover kvælstof, svovl og ozon. Der måles på 8 metaller (krom, nikkel, kobber, zink, arsen, cadmium, bly og jern), hvoraf cadmium, bly og kobber indgår i denne rapport (tabel 2.1).

Tabel 2.1. Årlig luftdeposition som gennemsnit og som min og max fra 2016-2021, fra bulkopsamlet våddeposition på seks stationer i Danmark og tørdeposition estimeret ud fra måling af luftkoncentrationerne på Anholt og Risø. Endvidere er deposition til landområder (43.000 km²) i Danmark og til de indre danske farvande (28.000 km²) estimeret på basis af målingerne. Sidste kolonne viser den antropogene emission af tungmetaller til atmosfæren fra danske kilder i 2020 (Ellerman et al 2023).

Stof	Deposition til land	Deposition til vand	Landområder estimeret deposition	Indre farvande estimeret dep.	Emission fra danske kilder
	$\mu\text{g}/\text{m}^2$	$\mu\text{g}/\text{m}^2$	ton/år	ton/år	ton/år
Bly	430 [#]	403 [#]	18 [#]	1 – 3 [#]	12 - 11
Cadmium	22 – 81	21 – 75	1 – 1	0,7 – 0,7	
Kobber	978 [#]	889 [#]	42 [#]	2 – 8 [#]	43 - 40



Figur 2.1. Tidstrend i årlig våddeposition siden 1990 af Zn og Pb (venstre figur) og Cu og Cd (højre figur). Enhed er mg/m², hvilket svarer til kg/km². Resultaterne er gennemsnit for alle målestationer med måling af våddeposition. Bemærk forskellige skalaer for de enkelte metaller (Ellerman et al 2023).



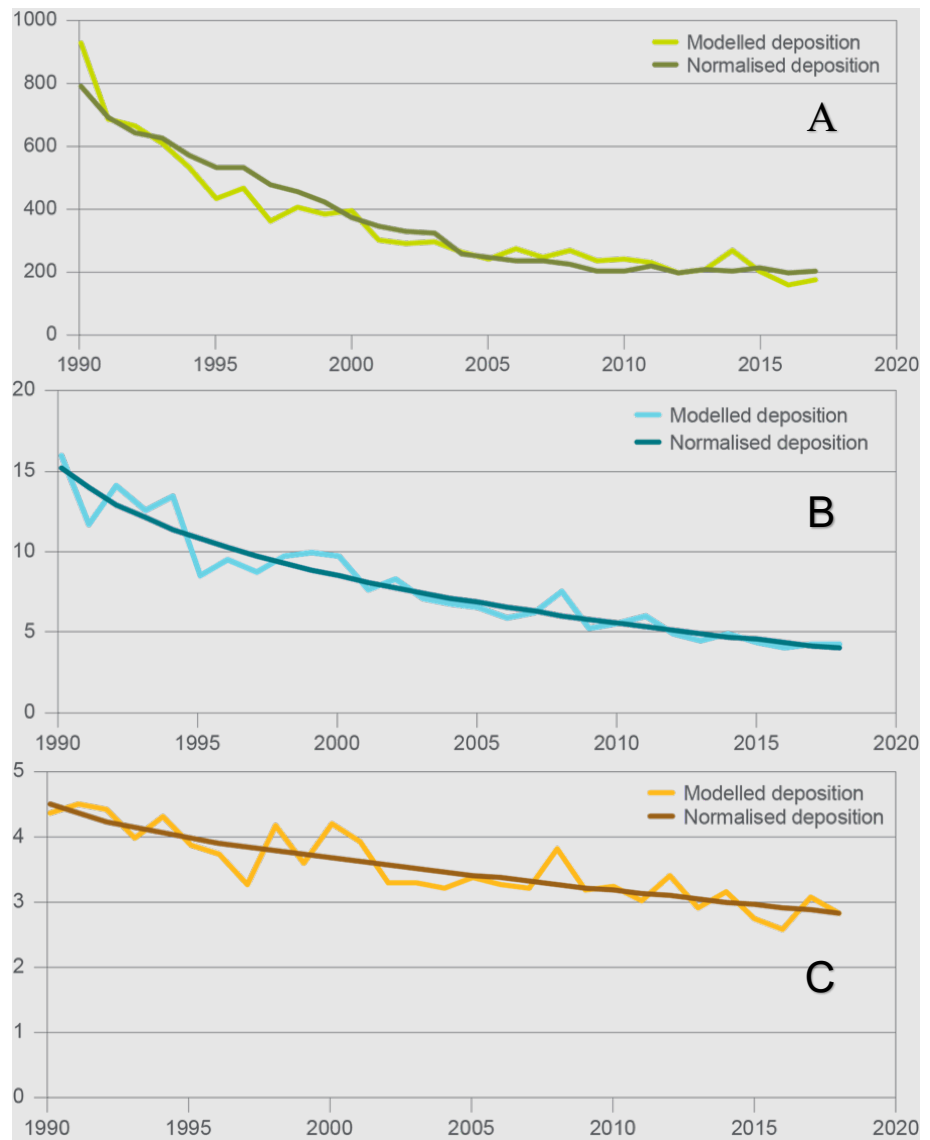
Figur 2.2. Målinger af våddeposition og tungmetalluftkoncentration i luften sammenlignet med emissioner fra Danmark og EU-landene (EMEP, 2023). Alle resultater er indekseret i forhold til værdien i 1990, som er sat til indeks 100. Før 2010 er tungmetalluftkoncentrationer beregnet som et gennemsnit af Keldsør og Tange, og efter 2010 er de baseret på målingerne fra Anholt. For Pb og Cu er der ikke vist resultater for 2021 som følge af kontaminering. Bemærk, at det på grund af indekseringen ses, at EU-emissionen er faldet mere end danske emissioner i 2015-2021, men det betyder ikke, at koncentrationerne i Danmark er højere end EU generelt.

2.1.2 HELCOM

Under HELCOM følges tilførsler af miljøfarlige stoffer fra vandløb, punktkilder og atmosfæren i arbejdsgruppen PLC (Pollution Load Compilation), og seneste opgørelse er rapporteret i HELCOM (2021). En opdateret rapport med data frem til og med 2021 forventes publiceret i løbet af september 2023.

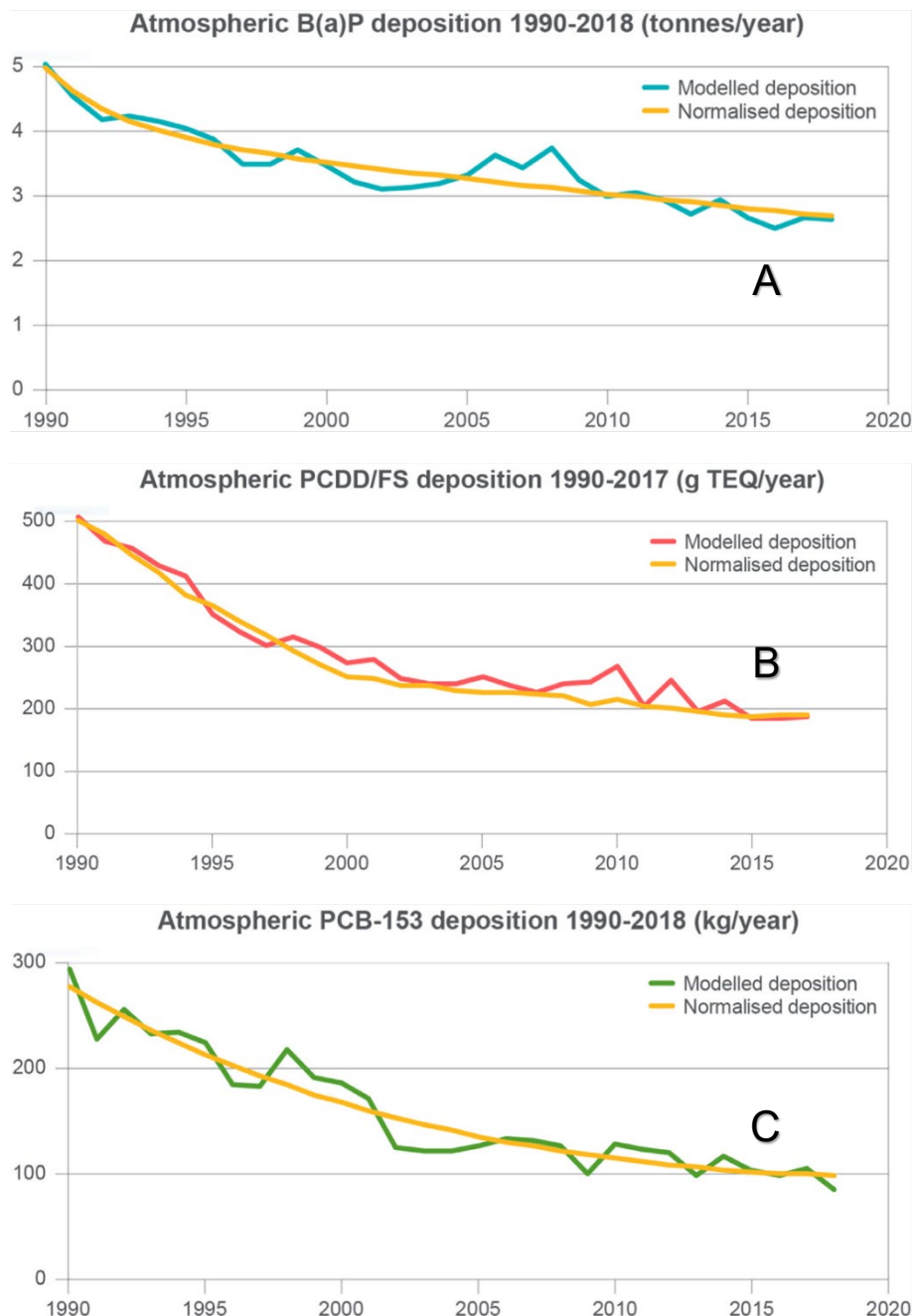
Den atmosfæriske deposition af metaller er modelleret for perioden 1990 til 2020 (figur 2.3), og der er observeret et fald i tilførslen af bly, cadmium og kviksølv på henholdsvis 81 %, 73 % og 35 % til HELCOMs område (Østersøen og Kattegat). Den lavere reduktion for kviksølv tilskrives en større andel af lang-transporteret kviksølv i forhold til bly og cadmium.

Figur 2.3. Tidstrend i årlig atmosfærisk deposition for metallerne bly (A), cadmium (B) og kviksølv (C) til Østersøen, ton pr år. (Kilde: HELCOM, 2021)



Udover metaller er udvalgte andre miljøfarlige stoffers depositions mønstre undersøgt af HELCOM (2021) (figur 2.4). For benz(a)pyren (B(a)P) er der sket et fald på ca. 50% i perioden fra 1990 til 2018 (figur 2.4A), og som for metallerne er der en gradient med faldende deposition med højeste niveauer i den sydlige Østersø og faldende mod nord. Benz(a)pyren stammer hovedsageligt fra "anden stationær forbrænding". Tilsvarende fald ses for dioxiner mellem 1990 og 2017 (figur 2.4B), med et fald på ca. 60% i perioden. Dioxin stammer hovedsagelig fra industri og anden stationær forbrænding, men også kraftvarmeværker. Endelig er PCB emissionen opgjort fra 1990 - 2018 med et fald på ca. 65% i perioden for PCB-153 (figur 2.4C), med de samme kilder som dioxin.

Figur 2.4. Udvikling i årlig atmosfærisk deposition for benz(a)pyren (A), dioxin (B) og PCB-153 til (C) Østersøen. (Kilde: HELCOM, 2021)



2.1.3 OSPAR

For OSPAR opgøres kun tilførslen af metaller til Nordsøen ved tør- og våd-deposition, ikke andre miljøfarlige stoffer. Der måles deposition under OSPARs comprehensive atmospheric monitoring program (CAMP), og data herfra er brugt til at validere modeller udviklet af det europæiske monitorings- og evalueringsprogram EMEP (OSPAR, 2022).

Opgørelser af emissioner viser en reduktion af bly, cadmium og kviksølv fra OSPAR's medlemslande på 96 %, 73 % og 83 % i perioden 1990-2010. Danmark og Storbritannien reducerer i perioden kviksølv-emissionerne med hhv. 93 % og 90 %. Depositionen af metallerne i område II (Nordsøen) er faldet med 87 %, 80 % og 45 % for bly, cadmium og kviksølv, et noget mindre fald i perioden 1990 - 2010 end emissions-faldet på grund af sekundære og globale kilder. Sekundære bidrag er fx naturlig/historisk emission af kviksølv og vinddrevet resuspension af bly og cadmium.

Danmarks bidrag til deposition af tungmetaller til de forskellige OSPAR-regioner i % af det samlede bidrag er vist i tabel 2.2 for 2015, og det største bidrag er til Nordsøen. For alle metallerne bidrager Danmark til Nordsøen med < 1 %, og mellem 72 og 77 % af bidragene til Nordsøen kommer fra globale og sekundære bidrag uden for OSPAR. De største bidrag til Nordsøen er Storbritannien, Frankrig og Tyskland som forventet ud fra deres industriproduktion og geografiske placering. For Nordsøen leverer Danmark det 4. største bidrag af metaller.

Tabel 2.2. Depositions estimater for OSPAR's regioner i 2015, og det relative bidrag fra Danmark og globale og sekundære bidrag, beregnet ud fra EMEPs modellering af deposition (OSPAR, 2022)

Ospar region	I (arktisk)	II (Nordsøen)	III (Celtic Sea)	IV (Biskaybugten)	V (Atlanten)
<i>Total deposition</i>					
<i>Areal af region (km²)</i>	5480370	748586	381919	53811 ⁴	6329170
Bly (t år ⁻¹)	761	214	94,3	95,6	1280
Cadmium (t år ⁻¹)	28,9	10,0	3,4	3,2	44,4
Kviksølv (t år ⁻¹)	48,76	5,59	2,20	2,46	39,47
<i>Danmarks bidrag</i>					
Bly (%)	0,09	0,70	0,02	0,02	0,01
Cadmium (%)	0,12	0,93	0,02	0,03	0,01
Kviksølv (%)	0,04	0,62	0,02	0,02	0,01
<i>Globale og sekundære bidrag uden for OSPAR</i>					
Bly (%)	94,1	72,2	90,5	86,0	98,1
Cadmium (%)	90,5	75,0	88,7	82,4	97,5
Kviksølv (%)	95,0	76,7	91,5	86,5	92,9

2.2 Belastning fra vandløb

2.2.1 Nationale opgørelser

Belastningen af miljøfarlige stoffer fra vandløb til Østersøen eller Nordsøen fra danske vandløb er ikke opgjort (HELCOM, 2021). Frem til 2021 er der typisk målt tungmetaller (Pb, Cd) en gang om måneden i ganske få vandløb, der kun dækker en lille andel af det danske opland til OSPAR og HELCOM havområderne, men i 2021 og især 2022 er der foretaget målinger i væsentlig flere - især mindre - vandløb, så der begynder at kunne laves estimater af belastningen fra vandløbssystemerne. Der måles kun på opløste metaller, så transport med suspenderet stof indgår ikke i målingerne, der derfor er underestimerede. Der er ikke pt nogen undersøgelser af, hvor stor en andel af metallerne, der opgøres i vandfasen i forhold til totalen for vand og suspenderet stof. For kviksølv er der dog fortsat meget få målinger, da der ikke er noget vand-EQS men i stedet anvendes et biota-EQS som TV, så overvågningen foretages fortrinsvis i fiskemuskel.

For de 10 største vandløb (baseret på oplandsareal) opstillede Ovesen et al (2000) en oversigt over areal, længde og middelvandføring i l/s, som kan kombineres med de gennemsnitlige metalkoncentrationer i vandløbene for at vurdere de tilførte metalmængder til Østersøen, Kattegat (inkl. Limfjorden) og Nordsøen (inkl. Skagerrak). Metaldata fra alle stationer i hvert vandløbssystem er midlet pr måned pr. år, hvor det findes data.

Nyere data for vandføring er fundet i vandportalen.dk på basis af seneste årsrapporter for udvalgte vandløb (månedstatistik fra årsrapporterne fra 2016-2021). For hvert vandområde er årsmidlen for 2016-2021 beregnet. Dette gøres

ud fra månedsmiddelkoncentrationen gange totalafstrømningen for hver måned, og de 12 måneder lægges så sammen til en årsmiddel. I tabellen er midelværdien af de 6 års midler angivet. De år, der haves data fra, er midlet til en gennemsnitlig udledning i perioden for hvert vandløb. Middelvandføringen er ligeledes angivet som sammenligning med Ovesens basistal fra 2010, i de fleste tilfælde er der god overensstemmelse, men for specielt Vidå og Suså ser den valgte vandføringsstation ud til at give en væsentligt lavere vandføring end forventet sammenlignet med 2010 opgørelsen, sandsynligvis fordi vandføringen ikke måles tæt nok på udløbet. For mange af de jyske vandløb er vandføringen indenfor de seks år ikke særligt variabel, da de stammer fra grundvandsudstrømning, hvorimod flere af de fynske og sjællandske afstrømningsforhold er meget forskellige fra år til år (10% relativ standard afvigelse mod op til 80%), fordi vandføringen og afstrømningen er nedbørsstyrerede, og der har været stor variation i nedbørsmængden fra 2016 til 2021. Der er samtidig flere skybrud og kraftige regnhændelser, som kan medføre øget pludselig afstrømning og overløb fra renseanlæg, som giver pulser af miljøfarlige stoffer, der er svære at forudsige belastningen fra. Usikkerheden på tilførslerne fra vandløb skønnes derfor at være høj, og der skal arbejdes videre med data for både koncentrationer i vandløbene og afstrømningsmodellerne for at få bedre estimater, ligesom de mere intensive målinger fra 2021 vil give et mere sikkert datagrundlag fremadrettet.

Der arbejdes på at lave en model for metalkoncentrationer i vandløb, som kan estimere koncentrationen i alle vandløb og dermed give et mere dækkende skøn over udledningen fra vandløb (Borgen et al, 2022).

Tabel 2.3. De ti største vandløb i Danmark og middel udledning fra 2016 – 2021 for Cd og Pb. For Hg er der kun data fra nogle år mellem 2010 og 2016. Der er kun inkluderet opløste koncentrationer, ikke metaller transporteret med suspenderet stof. For vandløb markeret med "-" er der ikke data. Ikke alle vandløb har stationer tæt på udløb, så vandføringen 2016-2021 kan være underestimeret (se tekst).

Vandløb	Oplandsareal Km ²	Vandføring Ovesen 2000 l/s	Vandføring 2016-2021 Årsmiddel l/s	Pb Kg/år	Cd Kg/år	Hg Kg/år	Udløb til
Gudenå	2638	32400	33781	61,4	13,8	2,0	Kattegat
Skjern å	2378	36600	27440	55,9	33,1	1,22	Nordsøen
Storå	1100	16100	12697	19,1	4,4	0,51	Nordsøen
Varde å	1090	16000	14086	26,1	25,3	0,76	Nordsøen
Vidå	1081	13400	4091	10,5	4,1	-	Nordsøen
Ribe å	962	12200	10276	18,2	6,2	-	Nordsøen
Suså	820	6100	3934	5,6	1,3	0,18	Østersøen
Karup å	763	9300	7561	7,4	2,1	-	Nordsøen
Odense å	623	6500	4449	4,3	1,2	0,26	Østersøen
Skals å	617	4900	4958	7,3	0,75	-	Kattegat
Århus å	119		3176	4,7	0,68	-	Østersøen
Harrestrup å	70		296	0,4	0,12	0,02	Østersøen
<i>Nordsøen</i>	<i>7374</i>		<i>72060</i>	<i>137,2</i>	<i>75,2</i>	<i>2,49</i>	<i>Summer fra</i>
<i>Kattegat</i>	<i>3255</i>		<i>38739</i>	<i>68,7</i>	<i>14,6</i>	<i>2,00</i>	<i>vandløbene</i>
<i>Østersøen</i>	<i>1632</i>		<i>11855</i>	<i>15,0</i>	<i>3,3</i>	<i>0,46</i>	<i>ovenfor</i>

2.2.2 HELCOM

HELCOM har opgjort tilførsler til Østersøen fra vandløb for perioden 2012-2018 (HELCOM, 2021) med data fra alle lande omkring Østersøen undtagen Danmark og Litauen. Tabel 2.4 viser tilførsler fra Tyskland og Sverige sammenholdt med nationalopgørelserne for DK beregnet ovenfor (tabel 2.3)

Tabel 2.4. Udledninger fra vandløb i Tyskland og Sverige (HELCOM 2021) til Østersøen, årligt gennemsnit 2015-2017 hhv. 2016-2018 samt Danmark (fra tabel 2.2) for 2016-2021, men med flest data fra 2020 og 2021. Alle tal i kg/år. Bemærk DK tal kun gælder for de vandløb, der er data fra og kun den opløste fraktion, så den er mindst en faktor 2 underestimeret, og nok nærmere 4 gange for lav.

Parameter	Land	2015-2017 kg/år	2016-2018 kg/år	2016-2021 kg/år	Oplandsareal Km ²	% dækning
Bly	DE	600	700	-	23276	81
	DK	-	-	87	11428	49
	SE	33000	31000	-	454259	100
Cadmium	DE	79	75	-	23276	81
	DK	-	-	18	11428	49
	SE	1 500	1 300	-	454259	100
Kobber (kg/km ²)	DE	6 000	7 000	-	23276	81
	DK	-	-	-	11428	49
	SE	181 000	154 000	-	454259	100
Kviksølv (g/km ²)	DE	10	10	-	23276	81
	DK	-	-	2,5	11428	49
	SE	33	29	-	454259	100

De danske vandløbsbidrag til Kattegat/Østersøen per km² oplandsareal er mindre end Sverige og Tyskland for bly (7 g km⁻² mod 30 og 73 g km⁻² respektivt) og ligger imellem Tyskland og Sverige for kviksølv (0,2 g km⁻² mod 0,56 og 0,08 g km⁻²). For cadmium er det danske bidrag større end både Sverige og Tyskland, endda tilsammen (1,5 g km⁻² mod 0,8 g km⁻² for begge nabolande). De danske belastninger bliver højere, hvis der tages hensyn til dækningsgraden af de underliggende data og den manglende opgørelse af suspenderet stof-transporten (total transport), som indgår i både de Tyske og Svenske opgørelser.

2.2.3 OSPAR

I OSPAR er tilførsler af næringssalte og metaller til OSPARs regioner fra floder opgjort i Sonesten et al (2022). Opgørelsen er gjort på basis af de største floder i de forskellige regioner. For region II (Nordsøen), som er interessant for Danmark, er der de udvalgte oplandsområder Humber, Seinen, Scheldt, Meuse, Rhinen, Weser, Elben, Skjern Å, Göta elven og Glomma (tabel 2.5). Der er opgjort direkte tilførsler (spildevand) og input via floderne fra 1990 til 2020. For Skjern Å er der kun opgjort kvælstof- og fosfor-tilførsler, så der er kun estimatet fra afsnit 1.2.1 for dansk bidrag.

Ses på den samlede udledning er det bidrag fra floderne, der dominerer i perioden 2016-2020. Rapporter angiver, at for ingen af floderne er der et væsentligt bidrag fra direkte spildevandsudledninger. Der er generelt sket et stort fald fra 1990-2000 i forhold til 2011-2020, men kun for de tyske floder Weser og Elben ses en faldende tendens for de metaller bly, cadmium og kviksølv (tabel 2.5, ellers er det kun bly, der i Göta elven, Humber og Meuse har en faldende tendens de sidste 10 år, og for Schelde ses endda en stigning for udledningen af kviksølv efter normalisering til vandflow. Opgjort på load fra starten af opgørelserne findes et fald på mellem 3 og 3,8%/år for bly, kobber og cadmium, og 4,4 % for kviksølv (fra 1998) for Schelde. For de tyske floder Weser og Elben findes også fald på mellem 1,3 og 3,3%/år for bly, cadmium og kviksølv, med de største fald for kviksølv og de mindste for bly. Fra Glomma er der et signifikant fald for kobber siden 2004, men for de øvrige metaller er der ingen udvikling.

Generelt er de normaliserede inputs højere end opgørelsen for 2020 (i gennemsnit ca. 70% lavere på de beregnede 2020 værdier 40-99%) for bly og cadmium, bortset fra Glomma, men for kviksølv er der meget større spredning, med 24 - 200 % forskel mellem den normaliserede 2020 tilførsel i forhold til den opgjorte tilførsel.

Tabel 2.5. Resultater fra udvalgte OSPAR-floder med estimat for 2020 og indikation af tidstrend for de seneste 10 år (lineær regression - ↑ stigende, ↓ faldende).

Opland	Oplandsareal Km ²	Vandføring Maks. 2016-20 m ³ s ⁻¹	Vandføring Min. 2016-20 m ³ s ⁻¹	Pb Kg/år	Cd Kg/år	Hg Kg/år	udløb til
Glomma	42 000	680	850	4 000	230	42	Skagerrak
Göta Elven	50 230	400	580	5 000 ↓	124	27	Kattegat
Humber	26 100	190	310	44 000 ↓	830	47	Nordsøen
Schelde	21 630	90	150	31 000	1230	334	Nordsøen
Meuse	35 000	1 160	1 310	89 000 ↓	3 410	724	Nordsøen
Weser	200 000	230	320	31 000 ↓	690 ↓	165 ↓	Nordsøen
Elben	148 268	430	630	64 000	1 320 ↓	225 ↓	Nordsøen
<i>Kattegat+Skagerrak</i>	<i>92 230</i>	<i>1 080</i>	<i>1 430</i>	<i>9 000</i>	<i>354</i>	<i>69</i>	
<i>Sum Nordsøen</i>	<i>395 998</i>	<i>2 100</i>	<i>2 720</i>	<i>259 000</i>	<i>7 480</i>	<i>1 495</i>	

Sammenholdes summen af Kattegat og Nordsøen med estimatet for de danske udledninger findes for cadmium ca. 1 % fra danske vandløb til Nordsøen, bly og kviksølv er <0,1 % før korrektion for, at kun opløste metaller og manglende opgørelser for andre vandløb er lagt til. For Kattegat er bidraget 0,7 % for bly, 2,9 % for kviksølv og 4,2 % for cadmium af bidragene fra Norge (Glomma - egentlig til Skagerrak) og Sverige, men her mangler opgørelser fra flere svenske og danske tilførsler, og korrektionen for kun opløste metaller fra danske vandløb. Men der er umiddelbart et mere signifikant bidrag fra danske vandløb, som forventet i det mindre havområde med færre store flodudløb.

2.3 Punktkilder

2.3.1 Nationale opgørelser

Renseanlæg rapporterer data til MST's PULS database, som indeholder data fra 642 renseanlæg (industrielle og kommunale) samt fra udvaskning fra deponier o.l. fra hele Danmark. Det samlede bidrag fra renseanlæg ud fra månedsgennemsnit af vandføring fra 2016-2021 er ca. 2 mio. m³ spildevand. Der måles ikke dog ikke miljøfarlige stoffer på alle renseanlæg, da fokus ofte er nedsætning af fosfor- og kvælstofbelastning med spildevand.

Renseanlæg klassificeres efter deres rensemetoder, som bogstaverne for kombination af mekanisk (M), kemisk (K) og biologisk (B) rensning samt nitrifikation (N) og denitrifikation (D), således at de avancerede renseanlæg indeholder alle typer rensning = MKBND, mens mere simple anlæg måske kun er mekaniske (dvs. med riste eller sandfang til at fjerne større ting i spildevandsstrømmen). Data, der rapporteres, er i 50% af tilfældene totalværdier, i 3% opløst fraktion og i 6% partikelbundet fraktion (opløst + partikelbundet fraktion = total hvis begge findes). Men i 42 % af resultaterne er det ikke oplyst eller ikke angivet, hvilken fraktion der er målt på.

Der er flest datasæt med metaller, fra 119 for kviksølv til 146 for kobber. Dette giver mulighed for at estimere udledningen for hele Danmark baseret på faktiske målinger. Det er dog stadig med stor usikkerhed, selvom resultaterne kommer fra 157 udledningspunkter, da de er baseret på målinger fra en årlig måling til månedlige middelværdier baseret på op til ugentlige målinger på nogle få anlæg. Miljøstyrelsen (2021) anvendte modeller på data for miljøfarlige stoffer i 34 avancerede MBNKD-anlæg (dimensioneret til 5,6 mio. personækvivalenter) og 14 mekaniske renseanlæg (dimensioneret til 27.500 personækvivalenter) fra 1998-2019 til at beregne estimater for koncentrationer i mekaniske og avancerede renseanlæg, kaldet nøgletal. Som alternativ til nøgletallene er 77 percentil-data anvendt i Miljøstyrelsen (2021), da de fleste parametre, der behandles i denne rapport, er under detektionsgrænsen for medianværdien, og 77 percentilen er det laveste niveau, hvor der er registreret værdier. I de tilfælde, hvor der ikke er udløbsdata (for mekaniske renseanlæg især), er indløbsdata anvendt som estimat for udløbsdata.

Ud fra PULS-databasen er vandføringen fra avancerede renseanlæg lagt sammen (MBNDK eller 3 rensningstyper), ligeledes er vandføringen fra mekaniske/ikke avancerede renseanlæg (dvs renseanlæg med mindre end 3 "bogstaver", men uden biologisk rensning) lagt sammen. Derefter. Ud fra nøgletal fra miljøstyrelsen (2021) og den summerede vandføringen fra alle renseanlæg, kan den samlede udledning for avancerede anlæg og mekaniske anlæg er beregnes (tabel 2.6), og den samlede belastning er derefter fordelt ud efter afstrømningsområdernes andel (7,0-54,4% angivet i række 2) af den samlede afstrømning til de tre havområder. For HELCOM området er bidraget til Østersøen og Kattegat (incl. Limfjorden) beregnet som (% afstrømning fra avancerede renseanlæg til område) * (Nøgletal for MBNDK) + (% afstrømning fra mekaniske renseanlæg til område) * (Nøgletal for mekaniske renseanlæg).

HELCOM 2016-2018 udledningen er herefter beregnet for hver parameter som $C_{\text{Kattegat}} * 1,07 + C_{\text{Østersøen}} * 0,888$, da afstrømningen for 2016-2018 var hhv 107 og 88,8% af den gennemsnitlige afstrømning fra 2016-2021.

Tabel 2.6. Beregnet udledning fra danske renseanlæg baseret på MST Nøgletal for avanceret (MBNDK) og mekaniske renseanlæg. Udledning til de 3 vandområder er beregnet ud fra Nøgletal og gennemsnitlige andel af udledningerne. HELCOM 2016-2018 kolonnen er taget fra HELCOM PLC-7 (.)

	Nøgletal	Nøgletal	Nøgletal	Nordsøen	Kattegat	Østersøen	HELCOM
Type/andel/år	Avanceret	Mekaniske	Sum	7,0%	38,5%	54,4%	2016-2018
Parameter	kg/år	kg/år	kg/år	kg/år	kg/år	kg/år	kg/år
Bly	1293,1	124,4	1417,5	218,8	356,0	842,7	1205,1
Cadmium	129,3	7,1	136,4	21,1	34,3	81,1	115,4
Kviksølv	334,1	5,8	339,8	52,5	85,4	202,0	286,3
Kobber	1400,9	1154,9	2555,8	394,5	641,9	1519,4	2275,5
PFOS	9,2	0,1	9,2	1,4	2,3	5,5	7,8
anthracen	29,6	2,9	32,6	5,0	8,2	19,4	27,6
Benz[a]Pyren	37,7	34,2	71,9	11,1	18,1	42,8	64,2
Fluoranthen	26,4	3,4	29,8	4,6	7,5	17,7	25,4

I nøgletalsrapporten (Miljøstyrelsen, 2021) er udviklingen i indløb- og udløbskoncentrationer fra 1998 til 2019 sammenlignet med 2011-2019, og der findes et generelt fald i både indløb og udløb mellem de to perioder, med reduktioner i de avancerede renseanlægs indløbskoncentrationer af bly, kviksølv og cadmium skønnet til henholdsvis 15 %, 25 % og 50 %, og reduktionen i udløb ser ud til at mindskes yderligere ved de lavere indløbskoncentrationer, så

skønnet med mindst 50% reduktion i avancerede renseanlæg kan blive højere, og dermed mindske belastningen yderligere i forhold til indløbsreduktionen.

Estimaterne for udledninger må betragtes som usikre, især fordelingen mellem vandområderne. Der er ikke skelnet mellem renseanlæg med udledning til vandløb og direkte udledning til det marine miljø, hvorfor nogle af de estimerede udledninger kan forventes at blive regnet med to gange, både fra renseanlæg og i opgørelsen af vandløbsbidrag til vandområderne. Nøgletallene er simple at anvende, men da de er en middelværdi, kan der være store forskelle for renseanlæg med forskellige oplande, især om det er by- eller landbrugsoplande, samt sammensætningen af industri i oplandet, ligesom der hele tiden sker en udvikling i forbruget i husholdninger og dermed typen af stoffer, der kommer til renseanlæggene.

2.3.2 HELCOM

Der er ikke rapporteret danske data ind til HELCOM, men generelt er punktkilder ikke den største bidragsyder til Østersøen for metaller (fig. 2.5). Dog skal man være opmærksom på, at renseanlæg, der udleder til floder og vandløb, tælles med i flodudløb.

HELCOM (2021) opgør belastningen fra punktkilder til Østersøen for perioden 2012 til 2018 med officielle estimater fra medlemslandene. Tilførslen fra Tyskland, Danmark og Sverige er angivet i tabel 2.7, bemærk at for Sverige er det både øst- og vestkysten, så hovedparten af udledningerne sker ikke til de samme områder som de danske, og deres kystlinie til den syd- og vestlige del af Sverige, der leder ud Kattegat, Øresund, Køge Bugt og Arkona - og Bornholms-bassinet, er en lille del af den samlede svenske udledning fra renseanlæg, men baseret på de 4 län, der ligger mod Kattegat og Øresund (Malmø, Hallands, Västra Götland og Värmlands län), udgør de ca. 1/3 af befolkningen (~3,3 mio. af 10,5 mio. indbyggere i hele Sverige).

Hele det tyske udledningsområde er nabo til den danske del af Østersøen, men udgøres af to delstater (Schleswig-Holstein og Mecklenburg-Vorpommern) med ca. 5% af den tyske befolkning (3,6 mio. indbyggere).

Sammenholdes overslaget fra tabel 2.6 med de rapporterede danske belastninger i HELCOMs opgørelse er bly lidt højere, men kobber, cadmium og kviksølv rammer en faktor 2, 6 og 10 over de officielle danske udledninger, så den anvendte model for nationale belastninger i afsnit 2.3.1 giver for store fejl.

De danske og tyske udledninger er ca. på samme niveau for bly, og med store fald fra 2015 til 2018 er de gået fra at være højere end danske udledninger til at være lavere for cadmium og kobber. Kviksølvudledningen er højere fra Danmark i begge 3-årige perioder med en faktor 2-4. Befolkningmæssigt er der ca. 60% færre indbyggere i de tyske delstater end i hele Danmark

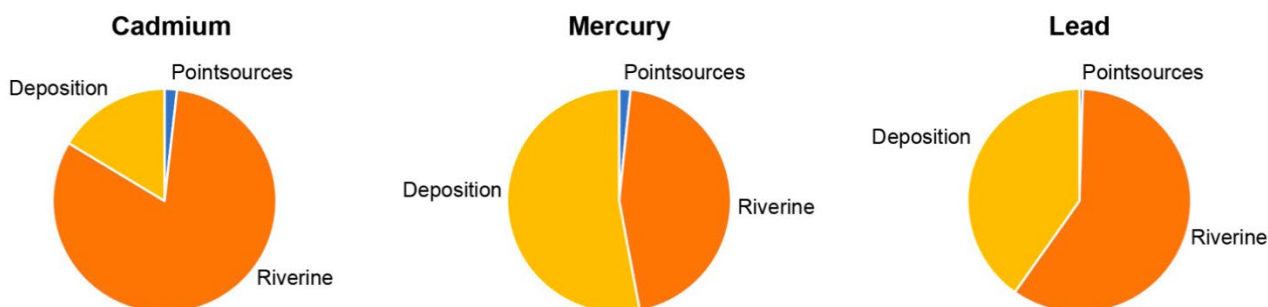
Sammenlignes de svenske udledninger, korrigeret til 1/3 ud fra befolkningstallet i områderne mod Kattegat og Øresund, er kun kviksølvtallene på niveau med Danmark og Tyskland. Bly, cadmium og kobber er stadig en faktor 3 til 12 over de danske udledninger med lidt over det halve antal indbyggere af Danmarks total.

Sammenlignes de danske forholdstals beregninger (højre kolonne i tabel 2,6 i kursiv) med HELCOMs PLC 7 beregning (tabel 2.7, højre kolonne) for de 4

metaller, findes at det årlige bidrag beregnet for 2016-2018 er overestimeret med en faktor 1,5 for bly op til 13 for kviksølv, med et gennemsnit af en faktor 7 for de 4 metaller, så anvendelsen af nøgletal direkte er for simpel, og giver højst et fingerpeg om bidraget til HELCOMs vandområde.

Tabel 2.7. Udledninger fra punktkilder i Tyskland, Danmark og Sverige (HELCOM 2021) til Østersøen, årligt gennemsnit 2015-2017 hhv. 2016-2018. Bemærk enheden for Hg er g/km².

Parameter	Land	2015-2017	2016-2018
		kg/år	kg/år
Bly (kg/km ²)	DE	600	700
	DK	825	787
	SE	33000	31000
Cadmium (kg/km ²)	DE	19	2
	DK	14	13
	SE	339	338
Kobber (kg/km ²)	DE	2 778	489
	DK	857	816
	SE	8 340	8 600
Kviksølv (g/km ²)	DE	13	4
	DK	22	21
	SE	37	34



Figur 2.5. Fordeling af kilder til Østersøen baseret på middel input fra punktkilder, floder og atmosfærisk deposition fra 2015-2017 (HELCOM, 2021)

2.3.3 OSPAR

De direkte udledninger er opgjort i Sonesten (2021), men der lader ikke til at være væsentlige bidrag siden 2016. Kun for Humber var der signifikante bidrag frem til 2020, derefter er der ikke noget synligt bidrag fra direkte udledninger i nogle af de behandlede afstrømningsområder, men alt tilførsel tilskrives vandløbstransport.

3 Værktøjer til vurdering af miljøtilstanden

Vurdering af miljøtilstanden udføres i to trin:

- En opgørelse af belastningen fra forskellige kilder, som beskrevet i kapitel 2:
 - Atmosfæren: Der er værktøjer til beregning af atmosfærisk deposition med atmosfære modeller og overvågningsstationer for metaller og nogle organiske stoffer. Der er observeret faldende koncentrationer på alle metallerne.
 - Punktkilder: Baseret på måling af metaller og organiske stoffer i punktkildeudledninger koblet med vandføringen fra renseanlæg og andre punktkilder er der nøgletal for middelkoncentrationer fra forskellige typer renseanlæg. Der er observeret faldende koncentrationer i både ind- og udløb fra renseanlæg, og udledninger til Østersøen er generelt faldende.
 - Diffuse kilder: Et første bud på udledning fra vandløb er givet i afsnit 2.2.1, mens der stadig mangler udvikling af modeller for belastningen fra diffuse kilder som vandløb.
- En opgørelse af tilstanden i det marine miljø ved hjælp af koncentrationer i muslinger, fisk, sediment og vand baseret på indikatorerne gennemgået i kapitel 1 og DK-HAT værktøjet baseret på OSPAR og HELCOMs Hazardous Assessment Tool. Denne opgørelse er beskrevet i resten af dette kapitel for to geografiske niveauer:
 - Vurdering af status fra tidstrend eller simpel statistisk for individuelle stationer med mindst 3 års data, overfor 95% konfidensintervallet fra sidste år, og en "uformal" vurdering ved 1-2 års data, hvor de sidste data er fra perioden 2016-2021. Beregning gennemføres i DK-HAT på datagrundlaget og metoden anvendt i HELCOM HOLAS 3 som beskrevet i kapitel 1.5, med enkelte opdateringer af datagrundlaget fra ICES.
 - Regional vurdering ved anvendelse af mindst tre stationer med tidstrends indenfor tre regioner, der dækker områderne Nordsøen, Kattegat og Østersøen. Der er kun data nok for metaller, tjærestoffer og imposex (TBT) i biota til den regionale vurdering. Beregningerne gennemføres i DK-HAT baseret på OSPAR QSR 2023 fremgangsmåden beskrevet i kapitel 1.5

Datagrundlaget for vurderingen af miljøtilstanden i det marine miljø er data fra ICES-database op til 2021, som også blev anvendt i HOLAS 3. Der er i enkelte tilfælde suppleret med data fra 2021 (imposex) og enkelte års data, der ikke kunne findes i ICES fra langtidfiskestationerne i Nordsøen (R1035) og Storebælt (S39). Disse data vil blive lagt ind i ICES database snarest muligt. Tidstrends er baseret på hele den tilgængelige overvågningsperiode, også før opstarten af det danske nationale overvågningsprogram af vandmiljøet (NOVA) i 1998. For tidstrend er der dog fokuseret på de sidste 6 års data.

I det følgende gennemgås vurderingerne opnået med DK-HAT for de enkelte indikatorer og matrix-kombinationer.

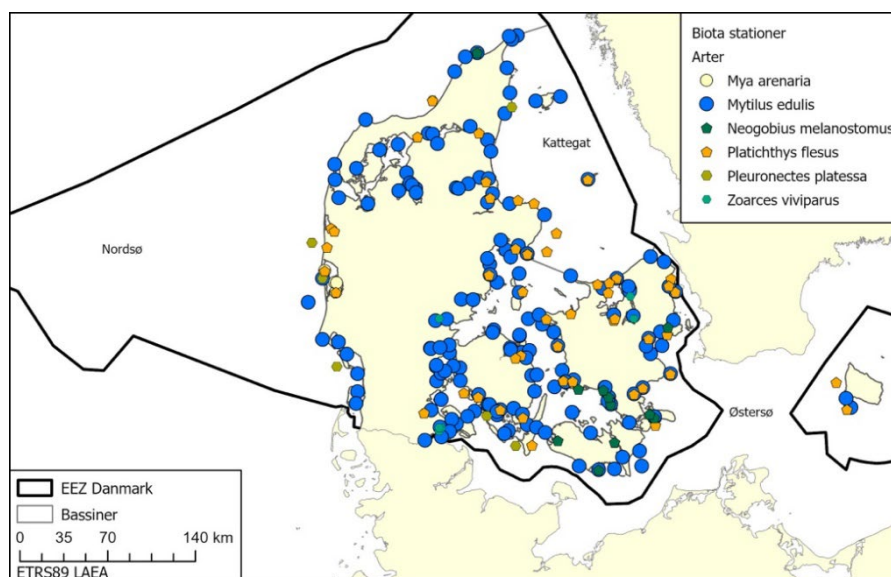
3.1 Vurdering for biota (muslinger og fisk) MFS-indikatorer

For de enkelte parametergrupper er der produceret et kort med stationer, der indgår i den regionale vurdering af Østersøen, Kattegat og Nordsøen, og hvor der er data nok, er der produceret HELCOM-vurdering af både tidstrend og status i forhold til de EQS (TV)-værdier, der anvendes af HELCOM. Som beskrevet i afsnit 2.5 er DK-HAT baseret på det fælles OSPAR, HELCOM og AMAP Hazardous substance Assessment Tool (OHAT, HHAT, AHAT). Nedenfor gennemgås miljøtilstanden (status) for de enkelte indikatorer tilstand (status) og de tidsmæssige tendenser.

Oversigt over stationer, der er fundet data på, ses i figur 3.1, fordelt på arter. I mange tilfælde er der kun målt på enkelte år for især *Platichthys flesus* (skrubber), og i enkelte tilfælde er der vekslet mellem skrubber og rødspætter (*Pleuronectes platessa*) i Nordsøen. For muslinger er *Mya arenaria* (sandmusling) den eneste muslingeart der findes i Ringkøbing Fjord, men der er enkelte målinger fra Østersøen. Data for nogle metaller er generelt højere i sandmuslinger end i blåmuslinger (*Mytilus edulis*), især for nikkel og krom, men tidstrend kan tolkes ens for begge arter.

For hver parametre, der findes tærskelværdi for, er der fremstillet område-relaterede vurderinger, hvor et symbol angiver middelværdien. For tidstrends er symbolet en cirkel for ingen udvikling, og en trekant der peger op eller ned for henholdsvis generel stigende eller faldende tendens. Linjer angiver 95% konfidensintervallet for de tidstrend-stationer, der indgår i vurderingen for hvert område (mindst tre for at der foretages en område-tidstrendsvurdering). Skalaen angiver %-udvikling pr. år. Udover tidstrend er status vurderet ud fra middelkoncentrationen divideret med tærskelværdien (så under 1 angiver områder under tærskelværdien). Det 95% øvre konfidensinterval er angivet med en linje, og cirkelns farve markerer, om det øvre konfidensinterval er over (rød) eller under (grøn) 1.

Figur 3.1. Stationer og arter anvendt til metalanalyse i de tre havområder Nordsøen (inkl. Skagerrak), Kattegat (inkl. Limfjorden, Roskilde og Isefjord) og Østersøen (Bælthavet og indefter). *Mya a.* og *Mytilus e.* er sand- og blåmuslinger, der analyseres i det marine NOVANA program, de øvrige fire er de fiskearter, der analyseres i det marine NOVANA: *Neogobius m.* = sortmundet kutling, *Platichthys f.* = skrubbe, *Pleuronectes p.* = rødspætte og *Zoarces v.* = ålekvabber.

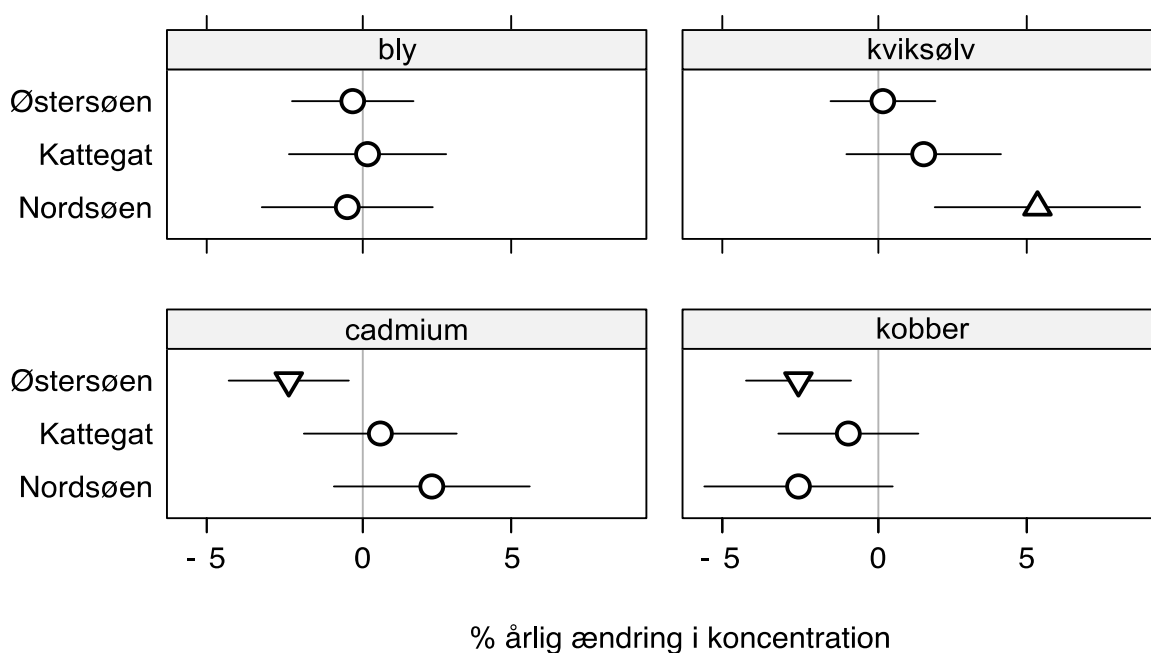


3.1.1 Metaller

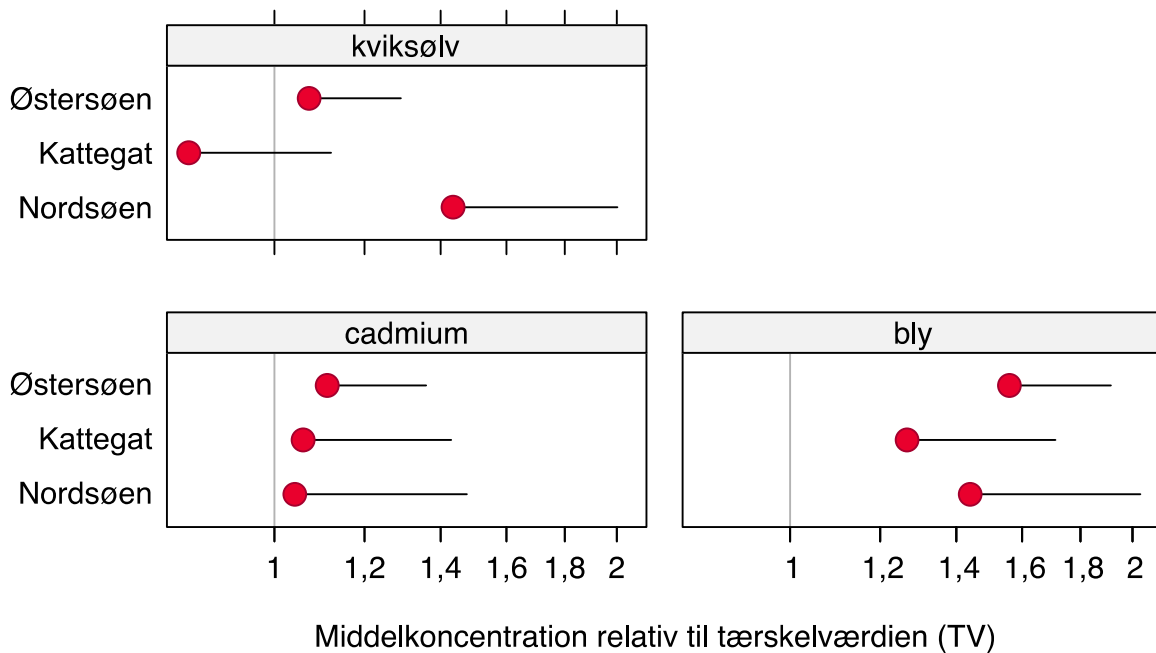
Der er tre TV-værdier for biota, som gælder i både fisk og muslinger: Bly (Pb), cadmium (Cd) og kviksølv (Hg). Der måles for 8 metaller i muslinger, men kviksølv måles også i fiskemuskel, da TV'en for kviksølv er sat ud fra beskyttelse af organismer i toppen af fødekæden (sæler, marsvin og fugle i danske farvande). I HELCOM anvendes TV for kviksølv direkte på muslinger, hvorimod der i OSPAR er opstillet en statistisk model, der harmoniserer koncentrationen i muslinger og fisk ud fra de målte værdier på sammenfaldende stationer. Omregningen resulterer i en statistisk baseret omregning af trofisk niveau fra muslinger til fisk. Der er enkelte historiske data på andre metaller i fiskelever og muskel, som er anvendt, hvor der er data efter 2016.

Der er grebet ind mod tilførsler af både bly, cadmium og kviksølv samt kobber i bundmaling i både OSPAR-, HELCOM- og EU-regi, så forventningen ville være faldende tendenser for alle metallerne, men det er kun tilfældet for cadmium og kobber i Østersøen (figur 3.2). Alle metallerne er over TV-værdien i de aggregerede vandområder (figur 3.3).

Der er målt på fire fiskearter og to muslingearter (figur 3.1), for det meste på kystnære stationer for muslinger (ca. 190 prøver), og i nogle tilfælde lidt længere fra kysten for fiskeprøverne. Vurderingen for havstrategien er derfor fortrinsvis baseret på resultater fra vandrammedirektivzonen indenfor 10 sømil.



Figur 3.2. Tidstrend for metaller i de tre havområder (Baltic = Østersøen, North Sea = Nordsøen). Baseret på OSPAR/HELCOM Hazardous substances Assessment Tool for danske stationer af fisk og muslinger. De individuelle stationer kan ses i appendiks 5.2. Trekanten angiver retning på evt. generel tidstrend i området (op/ned), cirkler at der ikke er nogen generel tidstrend.

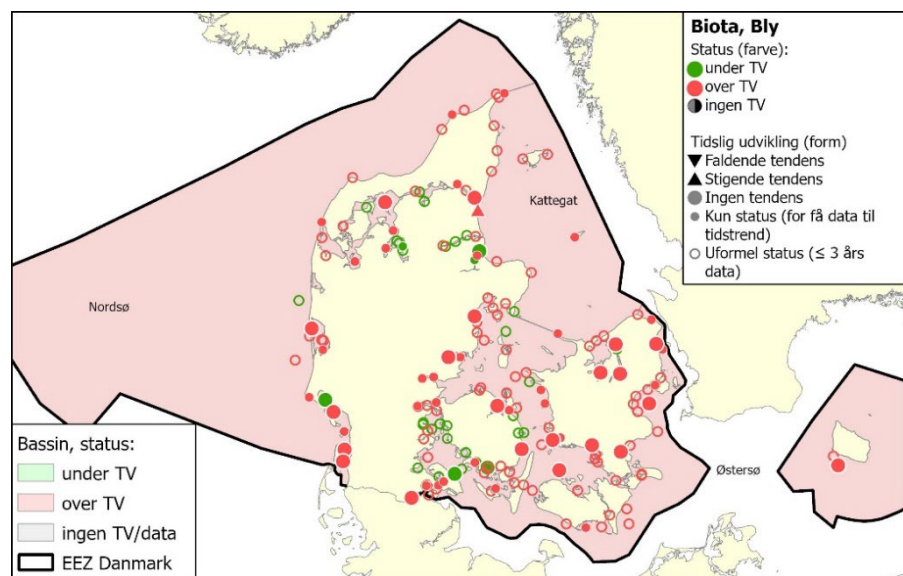


Figur 3.3. Middelkoncentrationen divideret med TV (OBS: log skala). Status for metaller i de tre havområder (Baltic = Østersøen, North Sea = Nordsøen). Baseret på OSPAR/HELCOM Hazardous substances Assessment Tool for danske stationer af fisk og muslinger med HELCOMs assessment kriterier. Resultaterne er vægtet op mod assessment kriteriet, og farven baseres på den øvre konfidensgrænse (linien). De individuelle stationer kan ses i appendiks 5.2. Cirklen angiver middelværdien for området, med farven rød vurderet til højere end tærskelværdien og stregen angiver 95% konfidensintervallet baseret på stationer indenfor området.

Bly

Der er 185 stationer for bly (Pb), hvoraf der er fundet tidstrend på en station med stigende tendens ved Langeraks udløb i Kattegat (figur 3.4, appendiks 15.2). Det samlede billede på basis af stationer med mindst 4 års data indenfor hvert havområde er, at der ikke er nogen tidstrend (figur 3.2). For koncentrationniveauerne i forhold til TV er den øvre konfidensgrænse overskredet i alle havområder (95% konfidensinterval på modellen for alle prøver i havområdet – toppen af stregen i figur 3.3), og middelværdien er imellem 1,2 og 1,6 gange højere end TV-værdien for de tre havområder (figur 3.3).

Figur 3.4. Fiske- og muslinge-stationer anvendt for bly og deres vurdering efter HELCOM kriterier

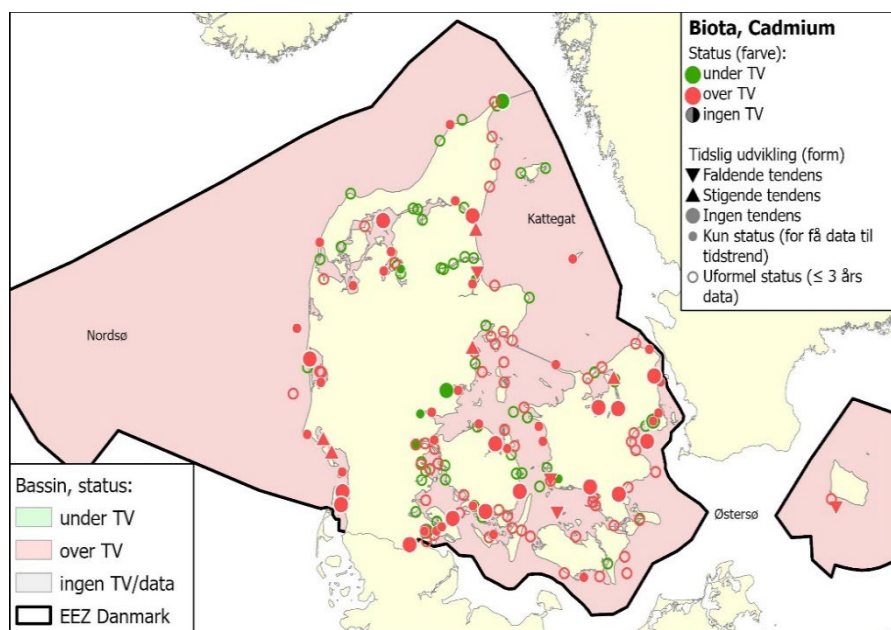


HELCOM (2023) vurderingen af bly i de danske farvande svarer til den danske, med færre individuelle grønne punkter, men hele området fra Østersøen til Kattegat angivet til ikke-overholdelse af GES. Kun enkelte områder i det Botniske Hav og inderst i den Botniske Bugt opnår god GES.

Cadmium

Der er 187 stationer for cadmium (Cd) hvoraf der er fundet tidstrend på ni individuelle stationer, med stigende trend for 5 stationer og faldende trend for 4 stationer (figur 3.5, appendiks 15.2). Det samlede billede på basis af stationer med mindst 4 års data indenfor hvert havområde er, at der er en faldende tidstrend i Østersøen (figur 3.2), men ikke er nogen tidstrend i Kattegat og Nordsøen, hvilket indikerer at koncentrationerne ikke er faldende. For koncentrationsniveauerne i forhold til TV er den øvre konfidensgrænse overskredet i alle havområder (95% konfidensinterval på modellen for alle prøver i havområdet), men også middelværdien er lige over TV-værdien, med en faktor 1,05-1,15 (figur 3.3).

Figur 3.5. Stationer anvendt for cadmium og deres vurdering efter HELCOM kriterier.



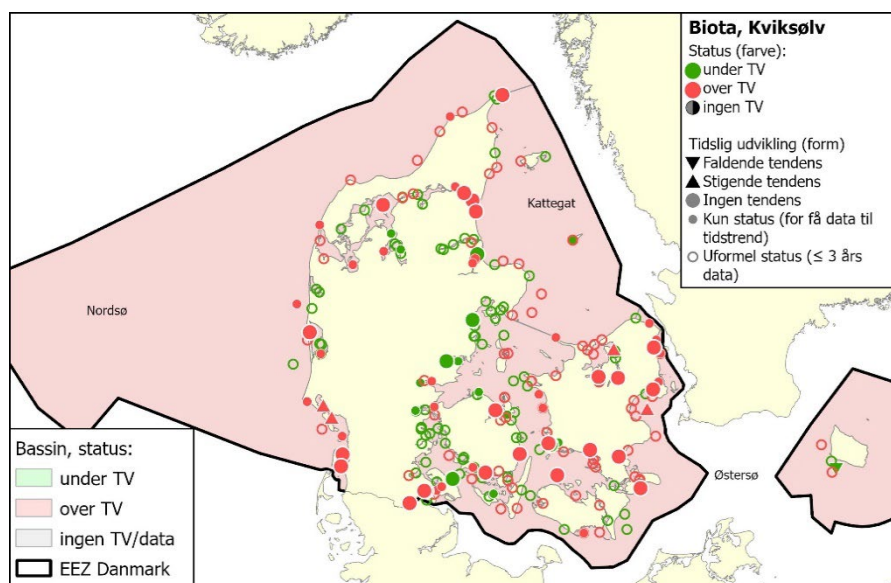
HELCOM (2023) vurderingen af cadmium i de danske farvande svarer til den danske med færre individuelle grønne punkter, men hele området fra Østersøen til Kattegat er angivet til ikke-overholdelse af GES. Kun enkelte områder i det Botniske Hav og inderst i den Botniske Bugt opnår god GES.

Kviksølv

For kviksølv er grænsen sat for fisk, og der måles i både fiskemuskel og muslingebløddede. For OSPARs vurdering foretages en tilpasning af muslinge-koncentrationer ved at beregne omregningsfaktorer mellem muslinge- og fiskekoncentrationer i områder, hvor både fiske- og muslingedata er tilgængelige. Dette gør, at arterne kan præsenteres på samme skala og svarer til den faktor, der normalt anvendes til at udligne forskellen i trofisk niveau uden eksplicit at inkludere de forventede trofiske niveauer af fisk og muslingearter, der indgår. Der er i HELCOM ikke tradition for denne omregning, så alle muslingedata er brugt direkte uden korrektion i figur 3.6, hvilket betyder færre stationer under TV, end hvis blev foretaget omregningen mellem muslinger og fisk.

Der måles kviksølv, bly, cadmium og kobber i muslinger, men for de fleste fisk måles kun kviksølv. Det betyder, at der er ca. 70 flere stationer med kviksølvresultater end med resultater for cadmium og bly (figur 3.6). Der er ligeledes heller ikke korrigeret for, at koncentrationen i hele fisk normalt er 3-10% lavere end i muskel (Larsen, 2021).

Figur 3.6. Fiske- og muslinge-stationer anvendt for kviksølv og deres vurdering efter HELCOM kriterier.



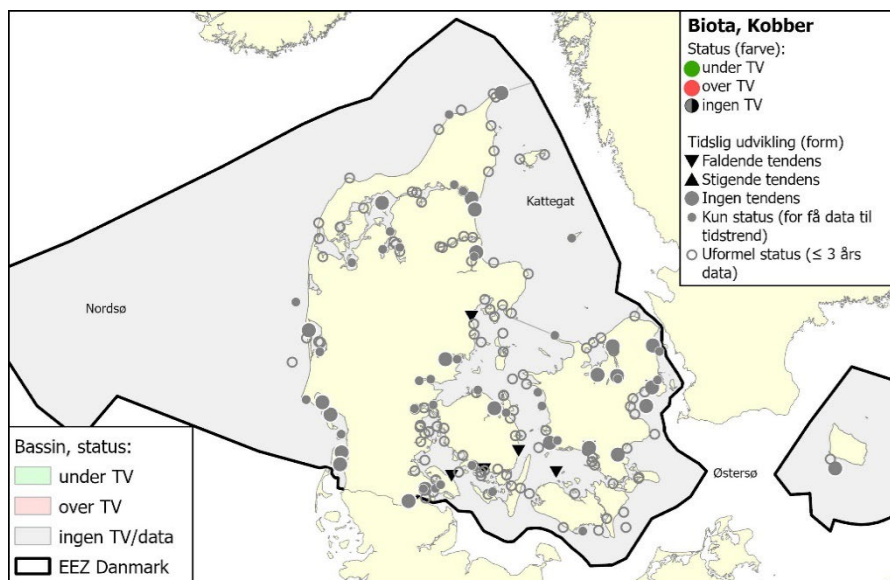
Der er 267 stationer for kviksølv, hvoraf tidstrenden er stigende for fire stationer og faldende for en (appendiks 15.2). Det samlede billede på basis af stationer med mindst 4 års data indenfor hvert havområde er, at der ikke er nogen udvikling over tid for Østersøen og Kattegat og i hvert fald ikke faldende udvikling (figur 3.2), hvorimod der er en generelt stigende tendens i Nordsøen på 5% per år. For koncentrationsniveauerne i forhold til TVS er den øvre konfidensgrænse overskredet i alle havområder (95% konfidensinterval på modellen for alle prøver i havområdet), og kun for Kattegat er middelværdien lavere end TV-værdien. Nordsøen har de højeste koncentrationer i forhold til TV, med en faktor 1,42 (figur 3.3).

HELCOM (2023) vurderingen af kviksølv i de danske farvande svarer til den danske, men hele området fra Østersøen til Kattegat er angivet til ikke-overholdelse af GES, selvom flere (muslinge-) stationer lå under GES-grænsen som middelværdi. Kun enkelte områder i det Botniske Hav og inderst i den Botniske Bugt opnår god GES.

Kobber

Kobber har ikke nogen TV-værdi for biota, så data præsenteres her for at understøtte sedimentvurderingen i afsnit 3.2. Der er 189 stationer for kobber, hvoraf der findes en faldende udviklingstendens for syv, og der er ikke nogen med stigende tendens (figur 3.7, appendiks 15.2). Det samlede billede på basis af stationer med mindst 4 års data indenfor hvert havområde er, at der sker en faldende udvikling over tid i Østersøen (figur 3.2), men ikke nogen signifikant udvikling i Kattegat og Nordsøen, men i gennemsnit lidt faldende tendens på omkring 2,5% per år, som kunne tyde på mindre belastning med kobber i vandfasen i Østersøen.

Figur 3.7. Stationer anvendt for kobber og deres tidlige udvikling. Der er ingen TV-værdi for kobber i biota, så ingen status vurdering.



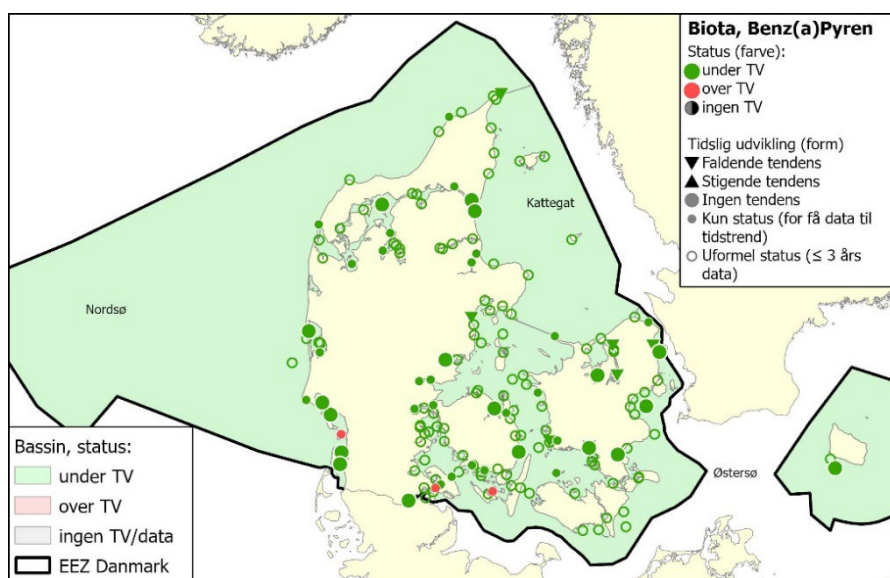
3.1.2 Tjærestoffer (PAH)

Tjærestofferne er en del af olie, som tilføres miljøet via udledninger og spild fra skibe, samt dannes ved forbrænding af oliebaseret brændstoffer.

Alle data i figur 3.8 og 3.9 for PAH'erne benz(a)pyren og fluoranthen er målt i muslinger. Fisk nedbryder PAH, og metabolitter fra nedbrydningen kan se som biologisk effekt i fiskegalde (se afsnit 3.4). Under HELCOM'S core indikatorer indgår PAH-metabolitten 1-hydroxypyren som primær tærskel, side-stillet med benz(a)pyren i muslinger og fluoranthen som sekundær tærskel.

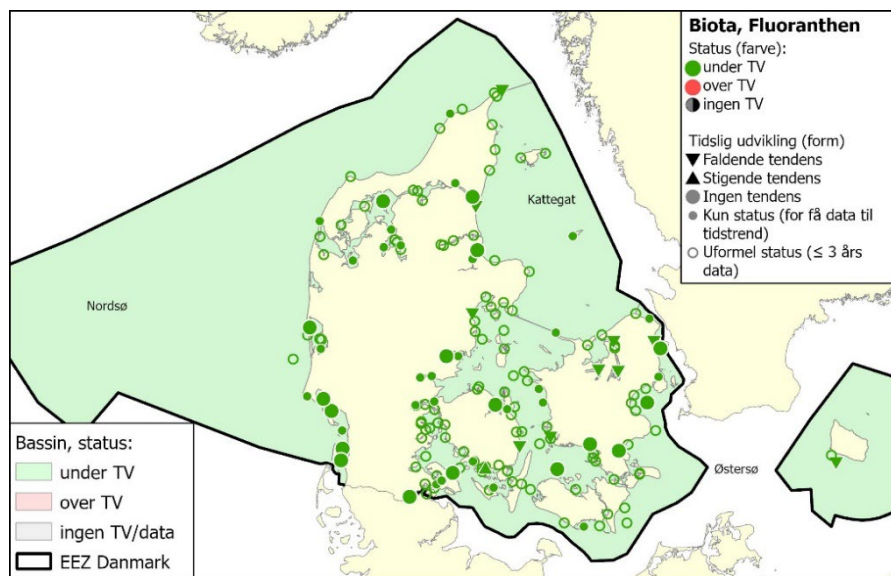
Der er nok tidstrend-stationer til at lave en regional vurdering af både benz(a)pyren og fluoranthen (figur 3.11), som indikerer at alle havområderne er i god GES tilstand, og for Kattegat er den generelle tilstand en faldende koncentration af PAH'er, hvorimod Nordsøen ikke har signifikant fald for fluoranthen, men både benz(a)pyren og anthracen, selvom der ikke er en TV for biota for anthracen. Status for benz(a)pyren og fluoranthen er god miljø-tilstand i alle områder (figur 3.12).

Figur 3.8. Stationer med data der indgår i benz(a)pyren analysen for de tre havområder.



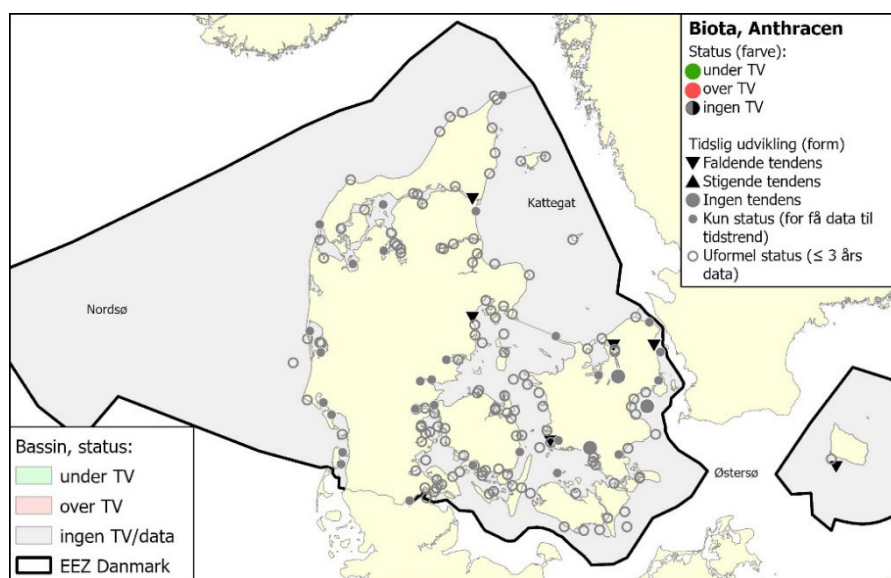
HELCOM (2023) vurderingen har ikke nok biota data til at vurdere GES for de åbne dele af Kattegat, men for områderne omkring Bælthavet samt Østersøen er GES status opnået for både benz(a)pyren og fluoranthen.

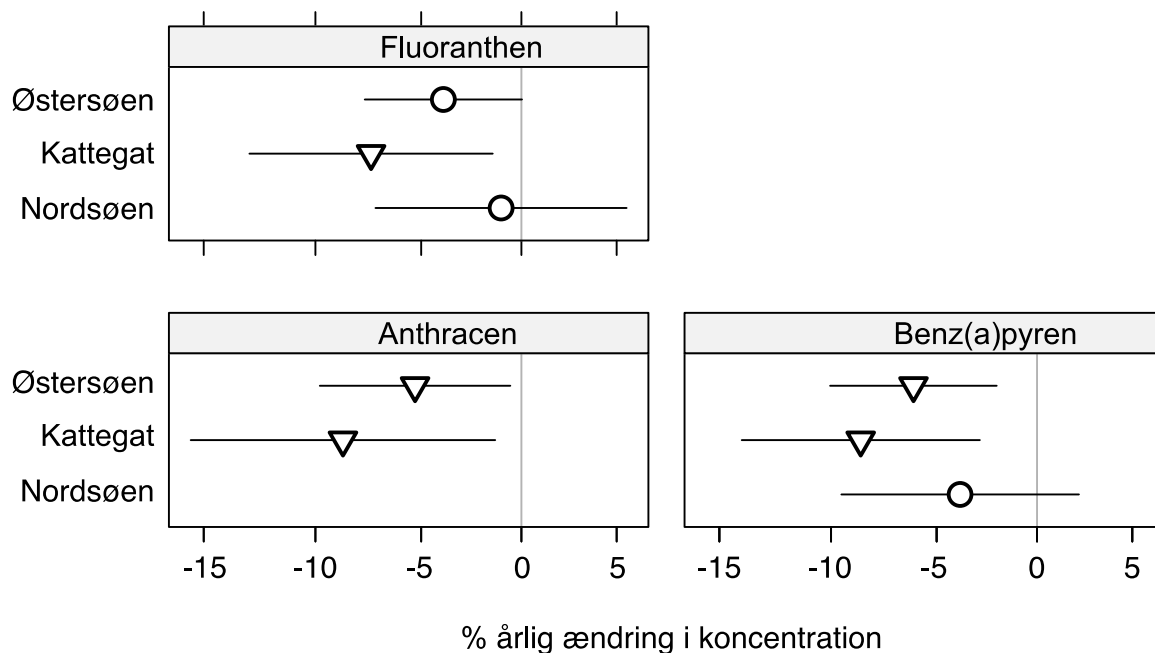
Figur 3.9. Stationer med data der indgår i fluoranthen analysen for de tre havområder



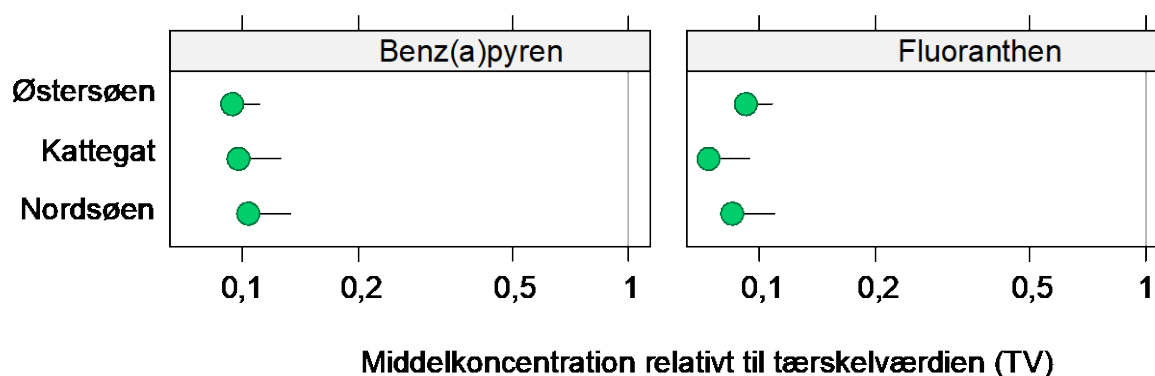
Der er ikke nogen TV-værdi for anthracen, men tidstrend indikerer at også anthracen er faldende i de fleste havområder.

Figur 3.10. Stationer med data der indgår i anthracen-analysen for de tre havområder.





Figur 3.11. Udvikling for PAH for de tre havområder. Anthracen (ANT) er medtaget i biota for at dokumentere faldende tidstrends i biota, men der er kun vurderingskriterie for sediment. Fluoranthen (FLU) har øverste usikkerhed over 0% ændring per år i både Østersøen og Nordsøen og er derfor ikke generelt faldende for området, og benz(a)pyren (BAP) er ikke generelt faldende for Østersøen. Trekanter angiver retning på evt. generel tidstrend i området (op/ned), cirkler at der ikke er nogen generel tidstrend. 95% konfidensinterval angivet med stregen for hvert område/PAH kombination.



Figur 3.12. Middel koncentrationen divideret med TV (OBS: log skala). Status for PAH i de tre havområder. Fluoranthen (FLU) og benz(a)pyren (BAP) har TV i muslinger, som de generelt ligger under, med en lille spredning indenfor havområderne.

3.1.3 Fluorede stoffer (PFAS, PFOS)

PFOS, og generelt de fluorede stoffer i familie med PFOS, har i seneste år været meget omtalt og er kendt fra deres anvendelse i brandslukningsskum, i elektronik som flammehæmmer og som vandskyende middel til behandling af tekstiler, papirer og husholdningsprodukter som slip-let pander, før det blev forbudt. PFAS-gruppen af stoffer er svært nedbrydelige og ophobes i organismer og kan potentielt have effekter på immunsystemet, reproduktion og udviklingen, og lipid-metabolismen hos bl.a. mennesker.

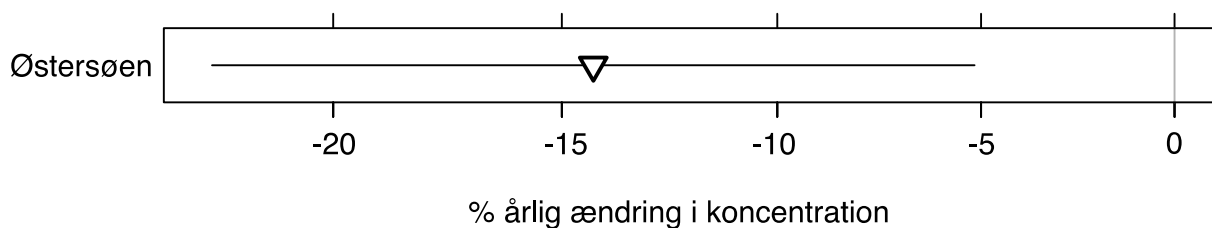
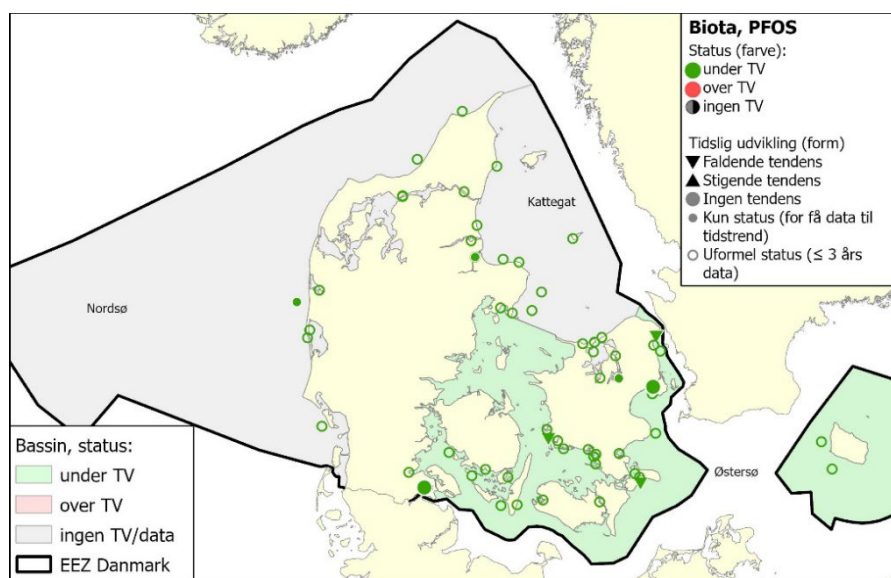
Med de nuværende TV-værdier opfyldes GES kriteriet i danske farvande (figur 3.13). Der er samtidig flere stationer med faldende koncentrationer. Der

er nok stationer i Østersøen til at lave en regional vurdering, som viser at niveauerne er langt under TV (figur 3.15), og der er en faldende tendens på omkring 14% per år (figur 3.14).

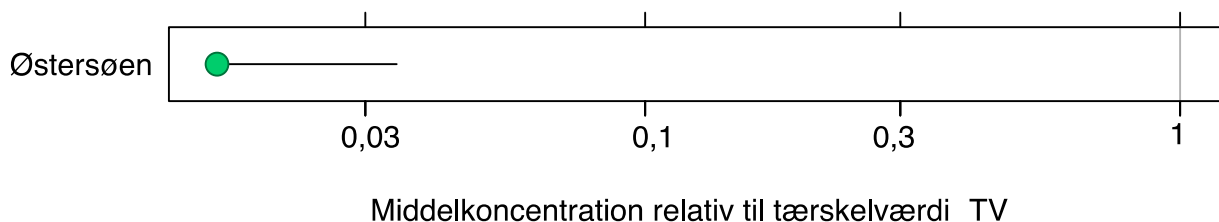
Denne vurdering stemmer overens med HELCOMs, som har hele den vestlige Østersø og Kattegat som opfyldt GES.

Der er nye fødevarekriterier og et WHO-TEQ-lignende kriterie baseret på en PFOA-ækvivalent sum af 24 PFAS'er undervejs, som sænker TV-værdien svarende til PFOS-signifikant, men det er ikke inde i EU lovgivningen endnu.

Figur 3.13. Stationer med data der indgår i PFOS analysen for de tre havområder



Figur 3.14. Udvikling for PFOS i Østersøen. Der var ikke nok tidstrend-stationer i de to andre havområder til at foretage vurderingen. Trekanten nedad indikerer en generelt faldende udvikling, 95% konfidensinterval angivet med stregen.



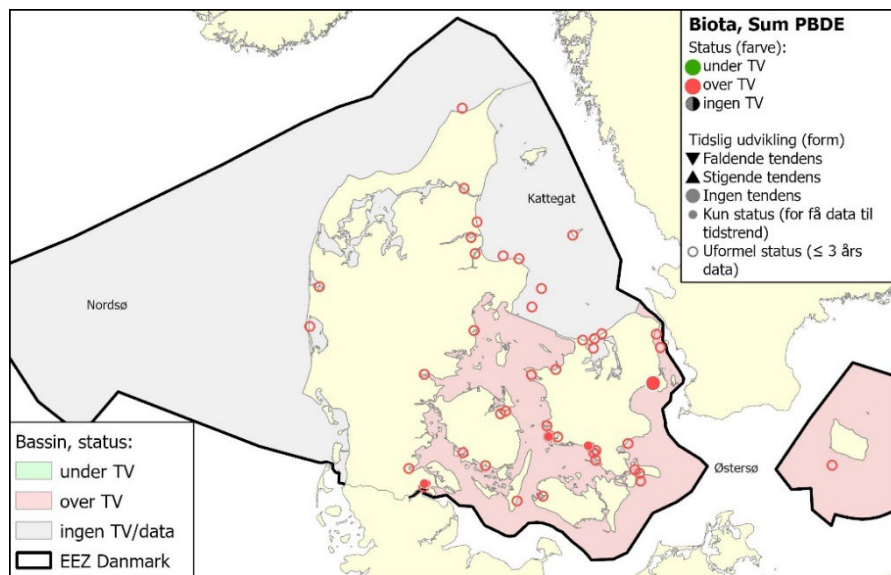
Figur 3.15. Middelkoncentrationen divideret med TV (OBS:log skala). Status for PFOS i Østersøen. Der var ikke nok tidstrend stationer i de to andre havområder til at foretage vurderingen. Generelt er resultaterne langt under den nuværende PFOS TV, men der arbejdes på at ændre TV til 0,077 som sum af PFAS. Ingen af de stationer, der er i Kattegat og Nordsøen, er over TV for nuværende. Cirklen angiver middelværdien for området, med farven grøn vurderet lavere end tærskelværdien, og stregen angiver 95% konfidensintervallet baseret på stationer indenfor området.

3.1.4 Bromerede flammehæmmere (PBDE, HBCDD)

Før PFOS var det de bromerede flammehæmmere (PBDE'er), der blev anvendt i elektronik og husholdningsprodukter. PBDE er meget toksisk og persistent og opkoncentreres i den marine fødekæde. De mindre PBDE-stoffer er nemmere at optage og binder sig især til fedtstoffer, og de er meget hydrofobe og sætter sig derfor på sediment o.l. De er i dag vidt forekommende i miljøet trods forbud i 2004, og de er klassificeret som mulig hormonforstyrrende stoffer, som muligvis også kan påvirke nervesystemet.

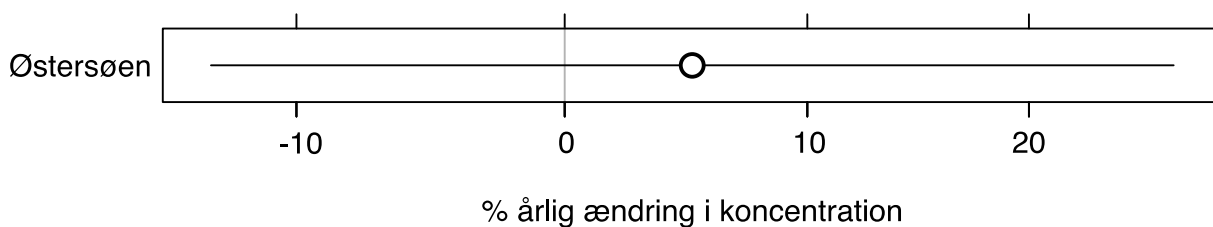
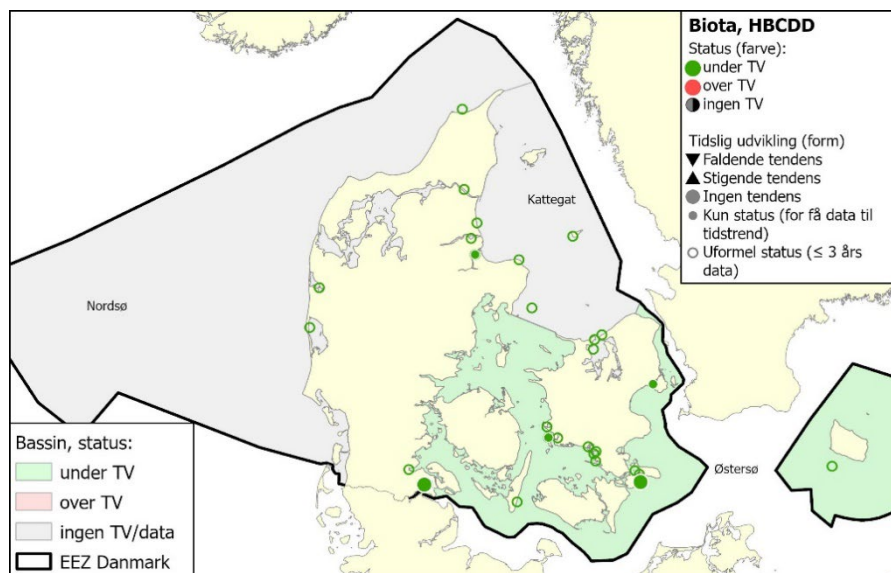
Ingen af stationerne er i god GES tilstand for PBDE (figur 3.16), men kun for Østersøen er der nok data til at lave en regional tilstandsvurdering (figur 3.17). Denne viser ikke-opfyldelse af GES for Østersøen, men der er ikke nogen indikation af at Kattegat og Nordsøen har bedre tilstand (figur 3.16).

Figur 3.16. Stationer med data der indgår i sum af PBDE-analysen for de tre havområder

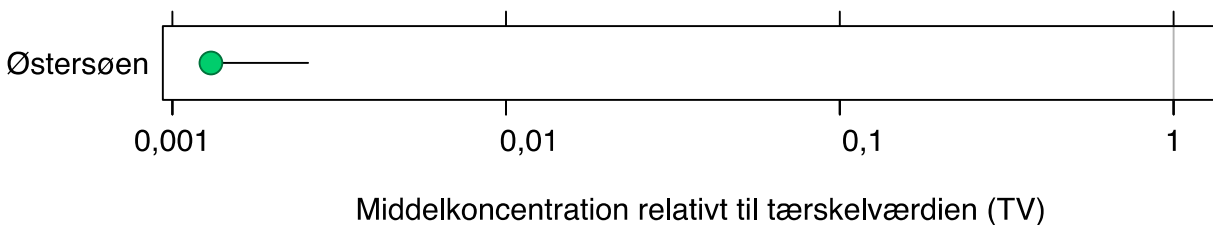


For HBCDD (ofte anvendes i engelsk litteratur kun HBCD) er miljøtilstanden derimod god for alle prøver (figur 3.17), men tidstrenden viser ikke nogen langtidsændring for den regionale vurdering, der kun er gennemført for Østersøen (figur 3.18), men der er gennemsnitsværdien langt under GES (figur 3.19).

Figur 3.17. Stationer med data der indgår i HBCDD-analysen for de tre havområder.



Figur 3.18. Udvikling for HBCDD i Østersøen. Der var ikke nok tidstrend-stationer i de to andre havområder til at foretage vurderingen. Cirklen indikerer, at der ikke er generel tendens i området (95% konfidensinterval angivet med strengen).



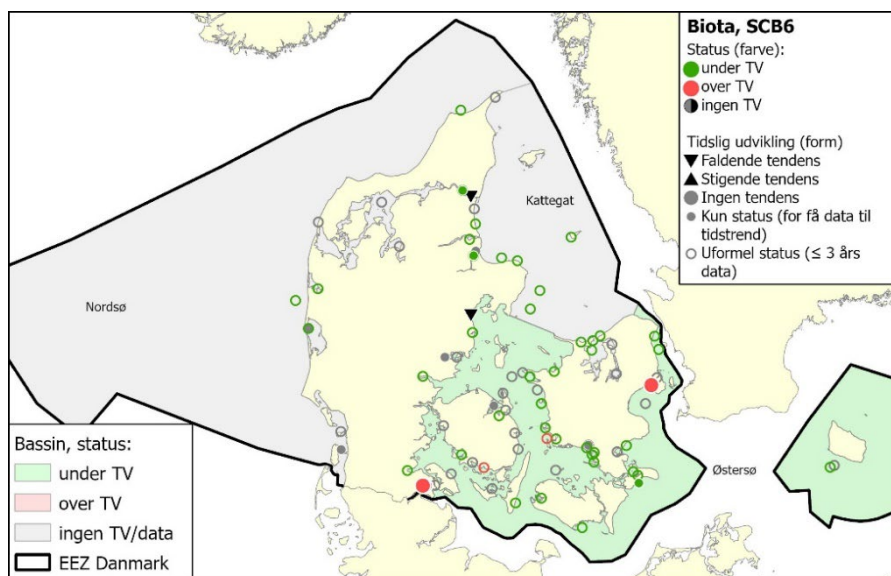
Figur 3.19. Middelkoncentrationen divideret med TV (OBS:log skala). Status for Σ PBDE (øverst) og HBCDD (nederst) i Østersøen. Der var ikke nok tidstrend-stationer i de to andre havområder til at foretage vurderingen. For Σ PBDE var alle stationer over TV-værdien, og for HBCDD udviste ingen af stationerne koncentrationer over TV-værdien, så som udgangspunkt er miljøtilstanden for Nordsøen og Kattegat sandsynligvis svarende til Østersøen. Cirklen angiver middelværdien for området, med farven grøn vurderet lavere end tærskelværdien og rød højere end tærskelværdien. Strengen angiver 95% konfidensintervallet baseret på stationer indenfor området.

3.1.5 Polychlorerede biphenyler og dioxin

De polychlorerede biphenyler (PCB) er vurderet ud fra summen af seks PCB-stoffer: CB-28, CB-52, CB-101, CB-138, CB-153 og CB-180 (figur 3.20). CB-118 indgår normalt i ICES 7-summen, men da den er dioxinlignende, er den pillet ud. Der er enkelte stationer over TV, hvor GES ikke er opfyldt, men der er nok stationer i Østersøen til at gennemføre en OSPAR regional analyse, som indikerer GES overholdt (figur 3.22), men der er ikke nogen samlet faldende tidstrend (figur 3.23). For Kattegat og Nordsøen er der ikke nok tidstrenddata til at lave den regionale analyse, men der er ingen individuelle stationer over TV, så et bud på status vil være, at GES er overholdt - også i disse vandområder. De to signifikante tidstrend er begge nedadgående, men generelt er der ikke data til at beregne tidstrends.

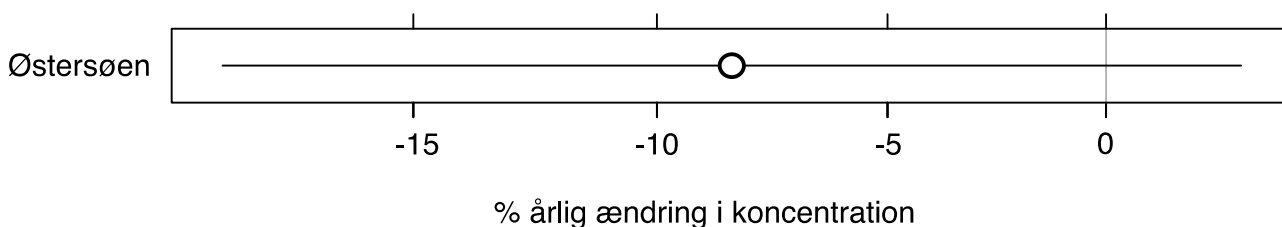
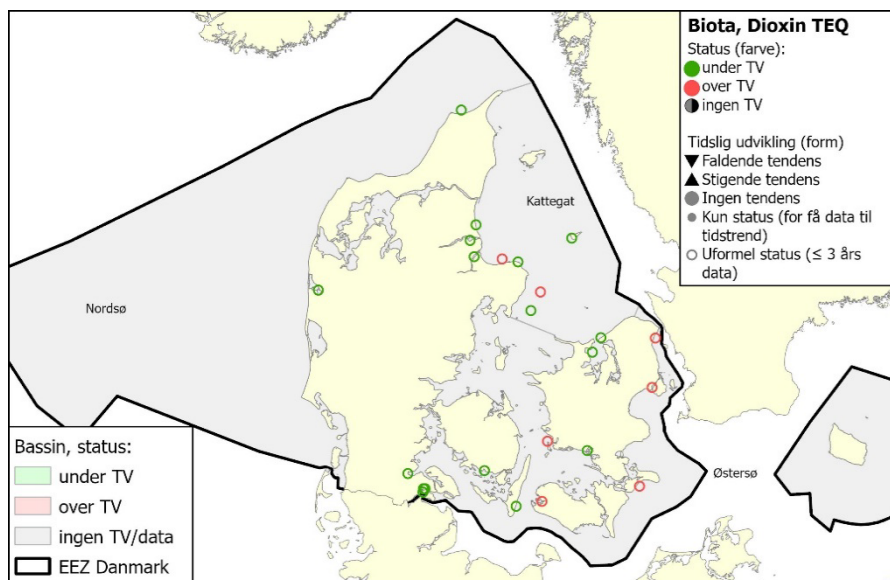
HELCOM (2023) vurderingen af biota for ikke-dioxinlignende PCB'er er ligeledes opfyldt GES status for Øresund/Østersøen og Kattegat, men har ikke-opfyldelse for nogle af de kystnære områder som Smålandsfarvandet og Hesselø-bugten med en større geografisk opløsning end brugt i denne rapport. Det hører med, at HELCOM anvender CHASE til at lægge områderne sammen, hvilket kan betyde en større chance/risiko for at få falsk positive.

Figur 3.20. Stationer med data der indgår i PCB-analysen for de tre havområder. Der er få data for dioxin og ingen tidstrend-egnede stationer.

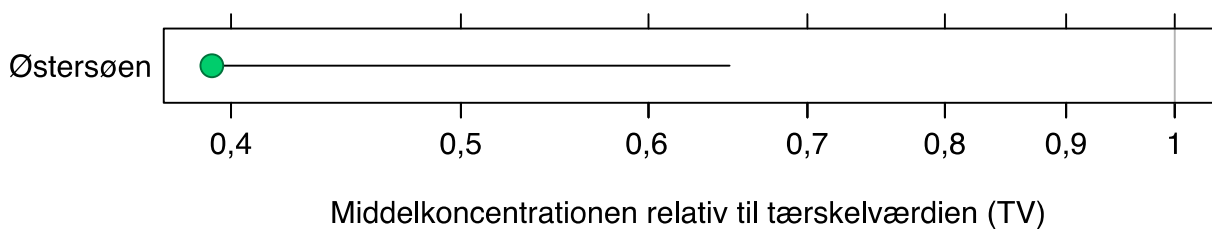


PCB-118 indgår sammen med en række andre dioxinlignende stoffer og dioxinerne i en WHO-defineret TEQ, som vægter en række chlorerede forbindelser til en samlet giftighed. Der er flere ikke-GES stationer for dioxiner TEQ (figur 3.20), men da dioxinanalyser er dyre, bliver de ikke udført så tit som sum PCB, og derfor er der ikke nok tidstrends til at lave en OSPAR regional vurdering. HELCOM kommer dog frem til næsten samme konklusion som for PCB'erne med Kattegat og Østersøen i opfyldt GES, bortset fra Smålandsfarvandet.

Figur 3.21. Stationer med data der indgår i dioxinanalysen for de tre havområder. Der er få data for dioxin og ingen tidstrend egnede stationer.



Figur 3.22. Udvikling ikke dioxin-lignende PCB i Østersøen. Der var ikke nok tidstrendstationer i de to andre havområder til at foretage vurderingen. Cirklen angiver, at der ikke er nogen generel tendens, og strengen angiver 95% konfidensintervallet af ændringer indenfor området.



Figur 3.23. Middelkoncentrationen divideret med TV (OBS: log skala). Status for ikke dioxin-lignende PCB i Østersøen. Der var ikke nok tidstrendstationer i de to andre havområder til at foretage vurderingen. Cirklen angiver middelværdien for området, med farven grøn vurderet lavere end tærskelværdien, og strengen angiver 95% konfidensintervallet baseret på stationer indenfor området.

3.2 Vurdering for sediment MFS-indikatorer

For de enkelte parametergrupper er der produceret et kort med stationer, der indgår i den regionale vurdering af Østersøen, Kattegat og Nordsøen, og hvor der er data nok, er der produceret HELCOM vurdering af både tidstrend og status i forhold til de TV-værdier, der anvendes af HELCOM.

Alle sediment er normaliseret efter HELCOM's regler, dvs. de organiske stofgrupper til 5% TOC, modsat OSPARs 2,5% TOC. For Nordsø-sedimenter, der ofte er meget sandede, betyder det, at i forhold til OSPARs assessment er

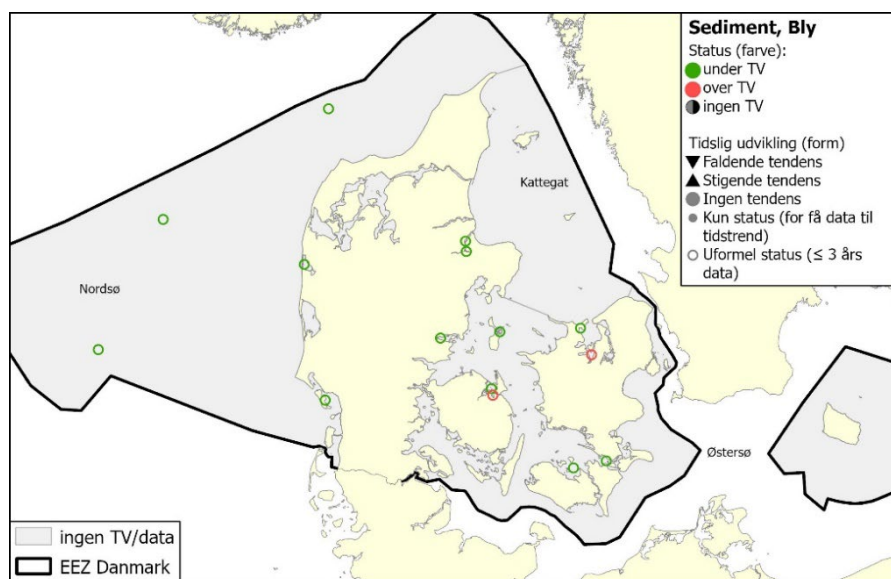
værdierne det halve i denne rapport. Da OSPAR anvender nogle helt andre assessment kriterier for PAH og metaller end HELCOM, er data for hele Danmark i denne rapport sammenlignelige, modsat HELCOM vs. OSPARs holistiske assessment 3 og OSPARs QSR 2023.

3.2.1 Metaller

Bly og cadmium normaliseres til 5% aluminium. Da mange af sedimenterne i Nordsøen indeholder mindre aluminium end den koncentration, der bruges til at beregne normalisering, udgår disse stationer pga. negative normaliserede værdier. Også den forventede baggrundskoncentration af cadmium og bly kan betyde, at stationer falder bort.

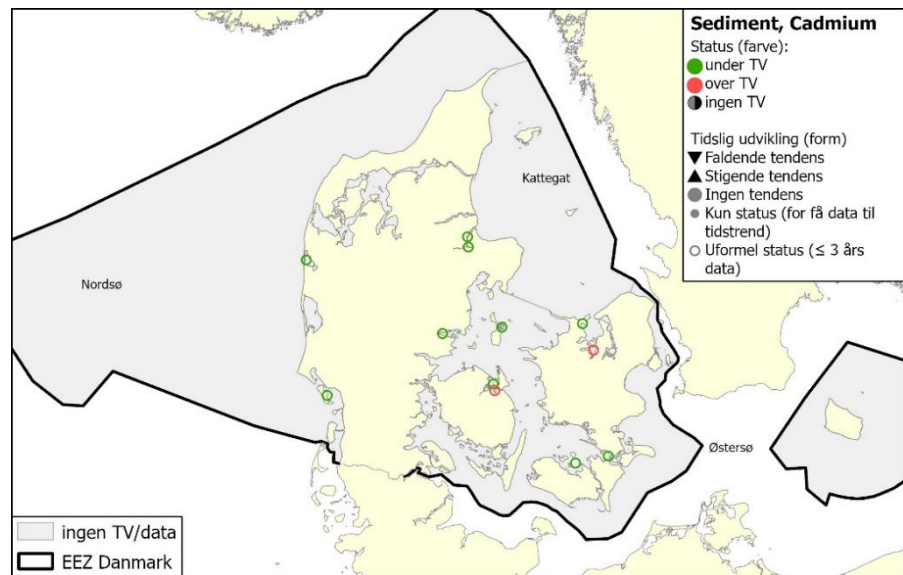
Både bly og cadmium er fortrinsvis under TV i Kattegat og Nordsøen, bortset fra en station i nærheden af Holbæk i Isefjord. Tilsvarende for Østersøen, på nær en station over TV i Odense Fjord. Den umiddelbare vurdering for sediment er derfor, at der ikke er indikationer på, at GES ikke er opfyldt i de danske farvande, hvor der er målinger. Dette svarer til resultatet fra HELCOM (2023), som også har Kattegat og Østersøen til at opfylde GES for cadmium (figur 3.25). For bly (Figur 3.24) er der en diskrepans for Arkona-bassinet, hvor HELCOM kommer frem til ikke-opfyldelse af GES på basis af tyske og polske prøver i Arkona-bassinet og Mecklenburg Bugten. For Kiel Bugt findes GES opfyldt, men dette understøttes ikke af danske data.

Figur 3.24. Stationer anvendt for bly og deres vurdering efter HELCOM kriterier. Der er for få sammenhængende stationer over tid til at gennemføre tidstrend analyser.



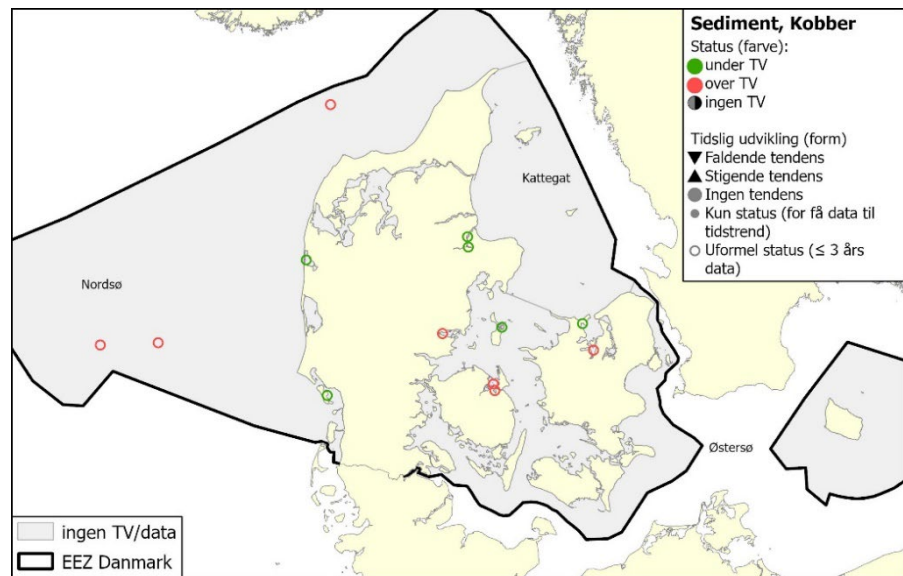
HELCOM vurderer Kattegat og den vestlige Østersø som opfyldende GES for sediment, baseret på danske, svenske og tyske stationer, selvom nogle danske stationer for både bly (figur 3.24) og cadmium (figur 3.25) er over TV.

Figur 3.25. Stationer anvendt for cadmium og deres vurdering efter HELCOM kriterier. Der er for få sammenhængende stationer over tid til at gennemføre tids-trend analyser.



Kobber normaliseres til total organisk kulstof (TOC) indhold på 5%, da det er associeret med organisk materiale. For de fleste prøver i Østersøen (Bælthavet især) og Nordsøen findes stationerne fortrinsvis over GES (figur 3.26), hvorimod 3 af 4 stationer i Kattegat overholder GES. Der er dog ikke nok data til at lave en regional assessment i nogle af havområderne.

Figur 3.26. Stationer anvendt for kobber og deres vurdering efter HELCOM kriterier. Der er for få sammenhængende stationer over tid til at gennemføre tids-trend analyser

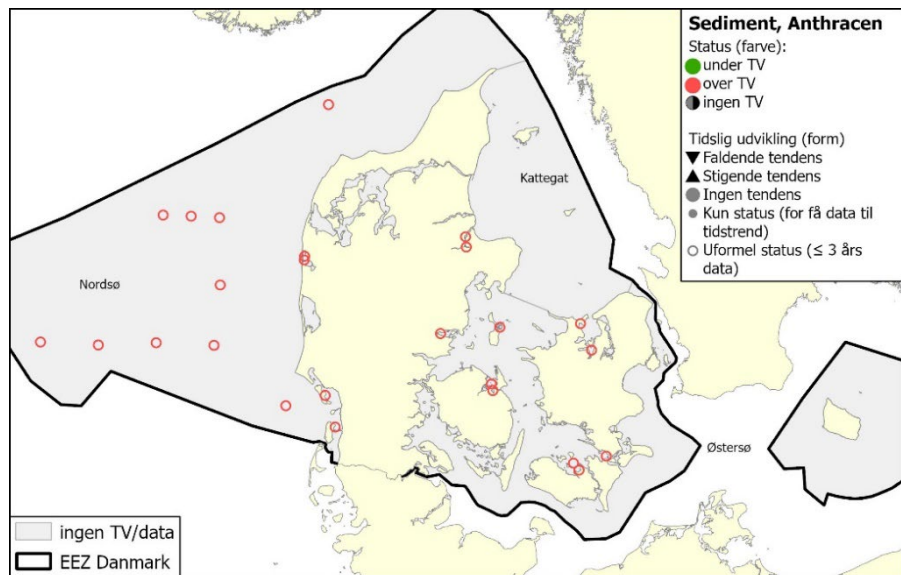


HELCOMs vurdering af kobber i de danske farvande er ikke den samme for Kattegat, som af HELCOM ikke er i opfyldelse, hvor figur 3.26 kunne indikere, at Kattegat faktisk opfylder GES for sediment. Der er ikke danske data, der når igennem normaliseringen i Køge Bugt og sydlige Østersø, så her er HELCOMs vurdering baseret på tyske og polske data.

3.2.2 Tjærestoffer (ANThracen og FLUoranthen)

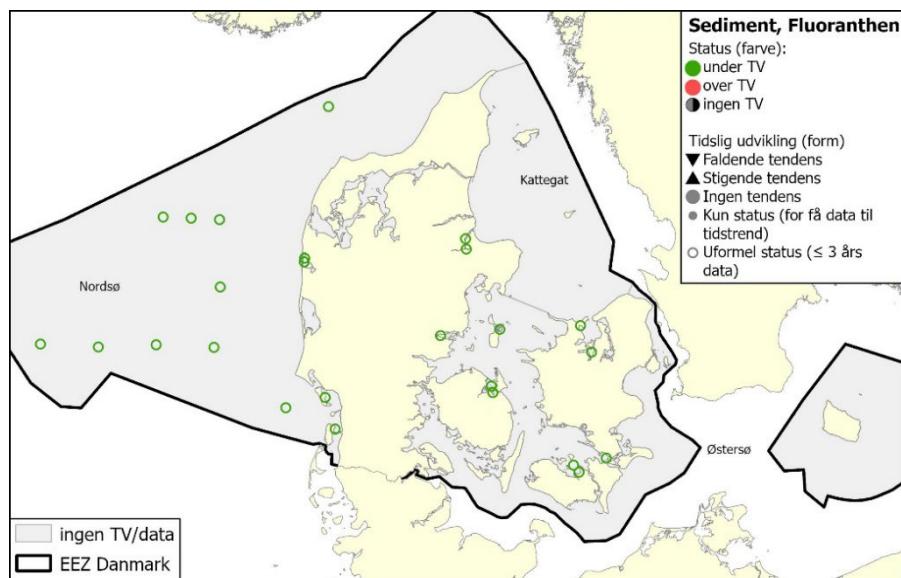
For tjærestoffer (PAH) udføres ifølge HELCOM en normalisering til 5% total organisk kulstof (TOC). I OSPAR anvendes normalt 2,5% TOC, hvilket betyder at koncentrationerne bliver fordoblet, fordi de har halvt så stor mængde organisk stof at blive fortyndet med.

Figur 3.27. Stationer anvendt for antracen og deres vurdering efter HELCOM kriterier. Der er for få sammenhængende stationer over tid til at gennemføre tids-trend-analyser.



På grund af manglende tidstrends er der ikke foretaget nogen regional vurdering efter OSPARs metode, men det bemærkes at alle anthracen uformelle status'er er over TV (figur 3.27), hvorimod fluoranthen alle er grønne (figur 3.28). I HELCOM (2023) vurderingen for antracen fejler opnåelsen af GES i Kattegat og Østersøen syd for de danske øer og ud til Bornholm (Arkona-bassinet). For fluoranthen finder HELCOM (2023) vurderingen opfyldt GES status for Kattegat og Østersøen.

Figur 3.28. Stationer anvendt for fluoranthen og deres vurdering efter HELCOM kriterier. Der er for få sammenhængende stationer over tid til at gennemføre tidstrend-analyser.



3.3 Vurdering af radioaktivitet indikator

Efter Chernobyl-katastrofen i 1986 er Østersøen det mest forureneede farvand med radioaktive stoffer. HELCOM har fastlagt, at niveauet af især ^{137}Cs i Østersøen skal ned på niveauet før Chernobyl-katastrofen (HELCOM 2023). For Østersøen er der derfor sat grænser for indhold af ^{137}Cs for fisk og havvand. ^{137}Cs er tilført primært via deposition fra atmosfæren og i mindre grad fra floder. ^{137}Cs i fisk er hovedkilden til radiologisk forurening af mennesker omkring Østersøen.

3.3.1 ¹³⁷Cs

DTU Risø forestår overvågningen af radioaktive tracere i det marine miljø og rapporterer data til HELCOM. For HELCOM er ¹³⁷Cs en core-indicator, som følger radioaktiviteten efter Chernobyl-katastrofen med nedsmeltningen af atomkraftværkets reaktor nr. 4 og frigivelse af store mængder radioaktivt ¹³⁷Cs til atmosfæren d. 26. april 1986.

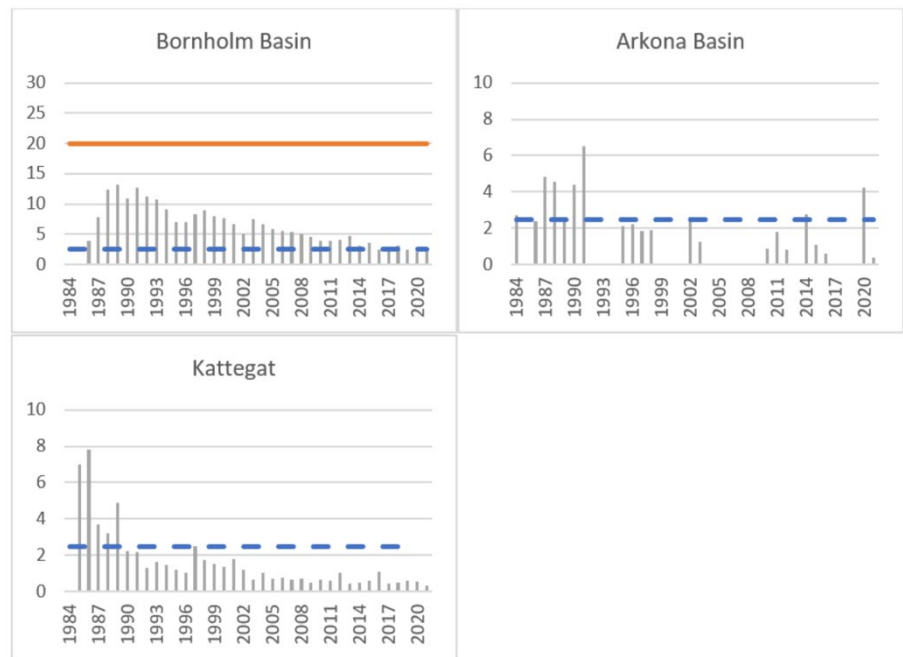
Resultaterne af 40 års undersøgelser af ¹³⁷Cs og ⁹⁹Tc til fra 1970'erne til 2016 blev publiceret af Qiao et al (2020). For ¹³⁷Cs viser de en ændring i sammenhængen med salinitet. Hvor de præ-Chernobyl, ligesom ⁹⁹Tc, var ligefrem proportionale med saliniteten (højest i Nordsøen og faldende ind mod Østersøen), har det siden 1986 været en modsat gradient, så ¹³⁷Cs er højest i Østersøens brakvand, og fortyndes ud gennem Bælthavet og Kattegat med den stigende salinitet. Aktivitetsniveauet i Nordsø-vand med >30 ‰ var konstant omkring 50 Bq/m³ i 1985 og 1987. Udover havvand fra 10 stationer omkring Sjælland er der også analyseret på søsalat fra to stationer i det sydlige Kattegat, som ligesom vandprøverne viser et faldende indhold af ¹³⁷Cs efter 1986. Anvendes forholdet mellem ¹³⁷Cs og ⁹⁹Tc kan en binær mixing model anvendes til at vurdere ind- og udstømning af Østersøen gennem Bælthavet og Kattegat, som Lin et al (2023) bruger til at vise, at Østersøen har en "hukommelses-effekt" på forurening, hvor der kun eksporteres ca. 3% af miljøfarlige stoffer ud af Østersøen om året med havstrømmene - svarende til 33 års opholdstid i Østersøen.

Der er ikke rapporteret ¹³⁷Cs til OSPAR specifikt, men i Gwynn et al (2023) rapporteres stabil udvikling af total alpha, beta, ²¹⁰Pb, ²²⁶Ra og ²²⁸Ra.

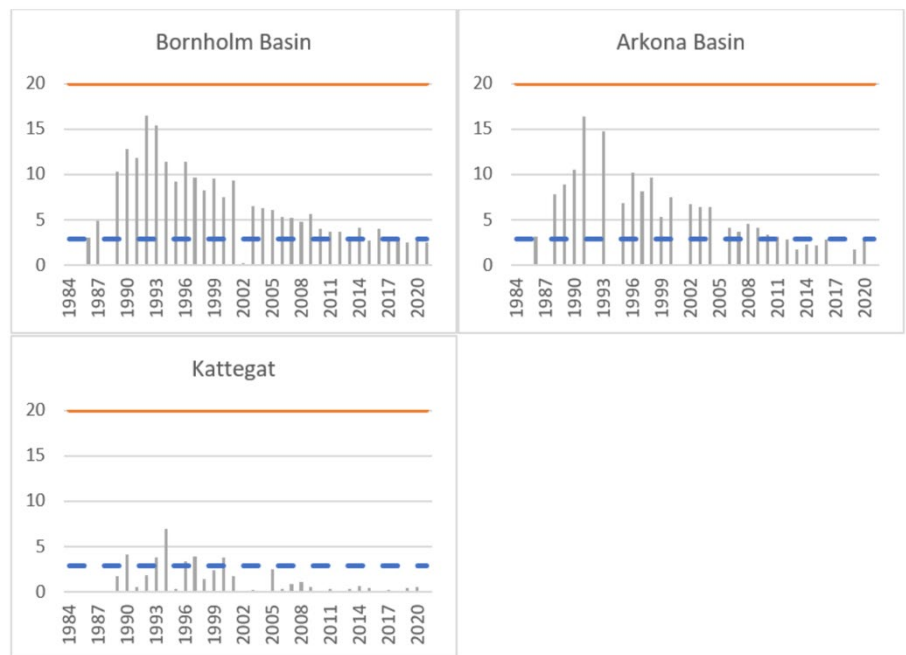
HELCOM finder i de fleste områder i 2023, at indholdet af ¹³⁷Cs er ved at være tilbage på niveauet før Chernobyl i fisk (2,5 Bq kg⁻¹ vådvægt), både for sild (figur 3.29) og fladfisk (figur 3.30). Tilsvarende findes alle havområder også at være nået ned på 15 bq l⁻¹ målværdien for havvand (figur 3.31).

HELCOM (2023s) vurderer, at alle vandområder i Østersøen i 2023 opfylder god kemisk (radiologisk) tilstand og finder en halveringstid for ¹³⁷Cs i Østersøvand til 11,1 ± 2,5 år, hvilket er væsentligt kortere end den forventede halveringstid for ¹³⁷Cs på 30,1 år (IAEA Isotop Browser). For fisk findes halveringstider på 5,8 til 10,8 år for rødspætter, torsk og sild, med de pelagiske arter mere udsatte end rødspætter. Det bemærkes dog, at der er sat en lidt højere grænse for god tilstand, men hvis de tidlige udviklinger fortsætter, vil også de i HOLAS II anvendte grænser være overholdt i 2025. Samtidig bemærkes det, at der ikke er set en stigning som følge af Fukushima Dai-chii katastrofen i Japan, 2011.

Figur 3.29. Tidstrend for ^{137}Cs koncentrationer (i Bq kg^{-1}) i sild (hele fisk uden hoved og indvolde, eller muskel uden ben) fra 1984–2021, som årsmiddel efter HELCOM områder (sub-basin). Grænsen for God miljøtilstand er $20 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ ww}$ – røde linje; målværdien for præ-Chernobyl-niveau er $2.5 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ ww}$ – blå linje. (HELCOM 2023a). På grund af skalaen er grænseværdierne ikke vist for Arkona-basin og Kattegat.



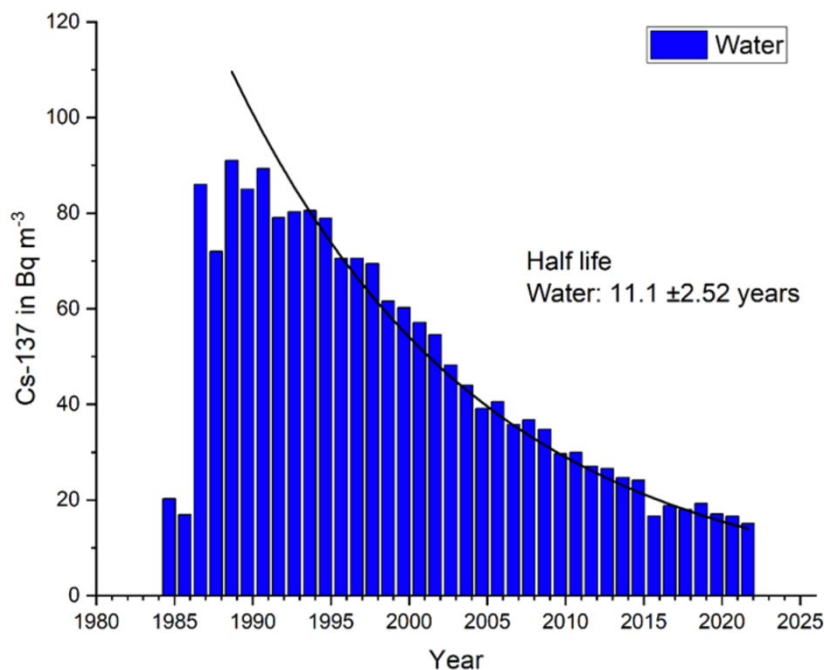
Figur 3.30. Tidstrend for ^{137}Cs koncentrationer (i Bq kg^{-1}) i fladfisk – rødspætter og skrubber (hele fisk uden hoved og indvolde, eller muskel uden ben) fra 1984–2021, som årsmiddel efter HELCOM områder (sub-basin). Grænsen for god miljøtilstand er $20 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ ww}$ – røde linje; målværdien for præ-Chernobyl niveau er $2.5 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ ww}$ – blå linje (HELCOM 2023a).



Figur 3.31. Tidstrend for ^{137}Cs koncentrationer (i Bq m^{-3}) in havvand (Prøvetagningsdybder under 10 m) for 1984-2021, som årsmiddel efter HELCOM områder (sub-basin). Grænsen for god miljøtilstand er 40 Bq m^{-3} – røde linje; målværdien for præ-Chernobyl niveau er 15 Bq m^{-3} – blå linje (HELCOM 2023a).



Figur 3.32. Tidstrend for årsmidler af specifik ¹³⁷Cs aktivitet i havvand indsamlet i i havvand fra sydlige og vestlige Østersø (HELCOM Assessment units 001 to 008) i perioden 1984 – 2021. Halveringstiden er estimeret ved at anvende mindste kvadraters metode til fitning af en eksponentiel henfaldskurve (HELCOM 2023a).



3.4 Vurdering af biologiske effektindikatorer

Data for biologiske effekter, som anvendes i NOVANA-programmet, er angivet i tabel 1.4 og 1.5, og i dette kapitel er de delt op per biologisk effektindikator, dvs. effekter i snegle, fisk og muslinger.

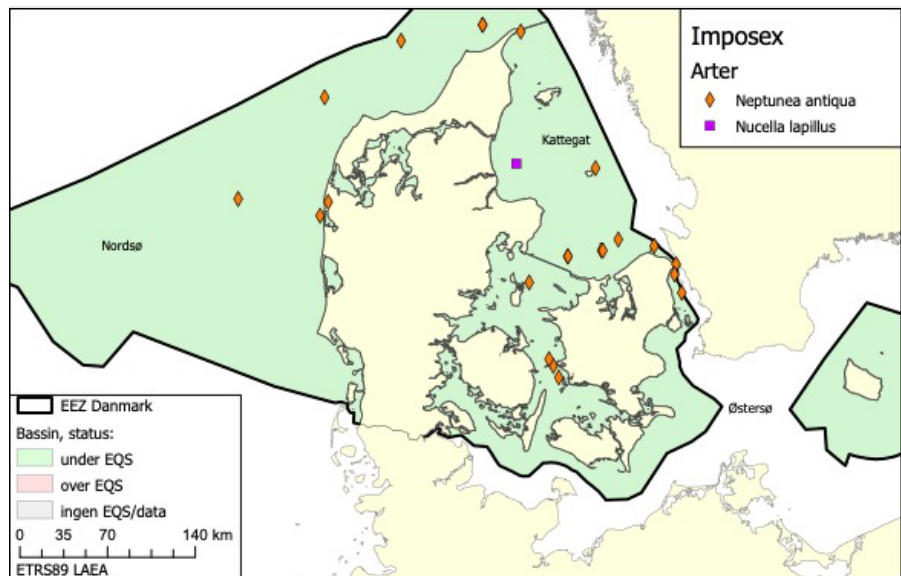
Data for biologiske effekter, der indgår i HELCOM, er imposex i snegle, PAH-metabolitter i fiskegalde og reproduktiv succes i amphipoder. I Danmark har vi brugt ålekvabber til reproduktiv succes, og vi har først de seneste år testet amphipoder, så kun data for ålekvabber er vist i denne rapport.

Imposex er en effekt induceret af TBT, som også måles i muslinger. Der findes ikke en accepteret TV for TBT-koncentration i muslinger i HOLAS 3. For bekræftelse af tidstrenden for imposex vises TBT i muslinger for de to længste tidstrend-stationer i Øresund (M31, Nivå Bugt) og Storebælt (M39, Agersø sund), og i regional analyse af TBT i muslinger og fisk.

3.4.1 Biologiske effektindikatorer i havsnegle (Imposex og TBT)

Data er tilgængelig fra 1992 til 2022 for regionerne Nordsøen, Skagerrak, Kattegat, Storebælt og Øresund (figur 3.33). Resultatet af tidstrend-analyser for purpursnegl (*Nucella lapillus*) og rødkonk (*Neptunea antiqua*) er vist i tabel 3.1 (fuld analyse af individuelle stationer findes i appendiks 4). Ved at sammenlægge data for snegle fundet i hver af de fem regioner, findes de mest følsomme arters udvikling over de sidste op til 30 år. Bemærk at ikke alle data vist her indgår i HELCOMs analyse, da de seneste års data ikke er tilgængelige i ICES-databasen, ligesom Skagerrak og Nordsøen ikke indgår men er baseret på tilføjede data til DK-HAT systemet. Derudover er data for almindelig konk (*Buccinum undatum*) ikke medtaget her, da denne art er en væsentlig mindre følsom art mht. TBT, og niveauet af imposex har været stort set 0 ved de undersøgte stationer siden 2010. De andre anvendte indikatorarter dværgkonk (*Nassarius/Tritia reticulata/nitidi*) og almindelig strandsnegl (*Littorina littorea*) er også væsentlig mindre følsomme end purpursnegl og rødkonk, og de er i de seneste år primært anvendt i forbindelse med havneundersøgelser. Se appendiks 7.5 for tidstrend og vurdering af de mindre følsomme arter.

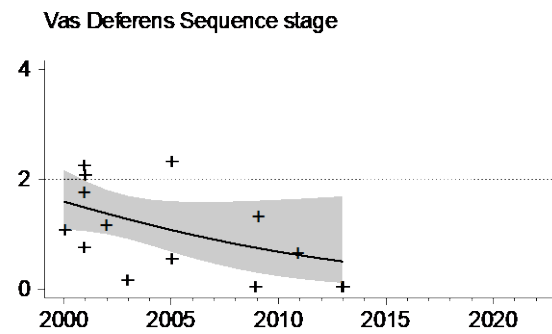
Figur 3.33. Stationer med følsomme arter, der indgår i data-analysen for imposex, samt de to muslingestationer med lange tidstrend for indholdet af TBT målt i bløddele.



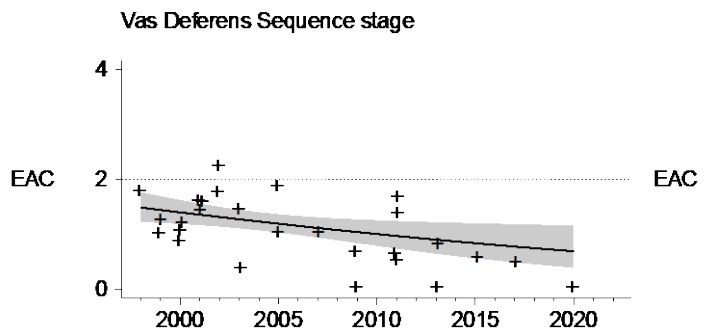
Tidstrend stationer for de 5 regioner er vist i figur 3.34, med Kattegat repræsenteret ved både rødskonk (*Neptunea antiqua*) og purpursnegl (*Nucella lapillus*) (kun en station).

Tablet 3.1. Imposex i *Nucella lapillus* (NI) og *Neptunea antiqua* (Na), trend er angivet med D for nedadgående og U for op. Ingen overskrider den øvre-konfidensgrænse for sidste år overskrider EAC (UCLY, øvre 95% konfidens interval for middelværdien sidste (MLY)). Forskellen mellem VDSI og EAC-værdien (2) er angivet i V-EAC, negative værdier indikerer ucMLY < EAC.

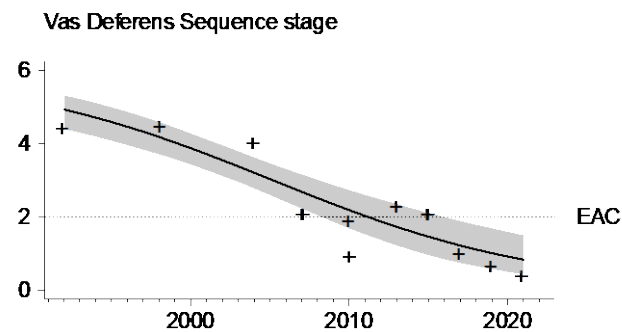
Region	Art	Trend	#år	Fra	Til	MLY	ucMLY	V-EAC	Klasse
Nordsøen	Na	-	8	2000	2013	0.50	1.69	-0.31	B
Skagerrak	Na	-	14	1998	2020	0.69	1.16	-0.84	B
Kattegat	Na	D	12	1998	2022	0.49	1.00	-1.00	B
Kattegat	NI	D	10	1992	2021	0.83	1.49	-0.51	B
Storebælt	Na	D	15	1998	2022	0.71	1.33	-0.67	B
Øresund	Na	D	14	1998	2022	0.11	0.26	-1.74	A



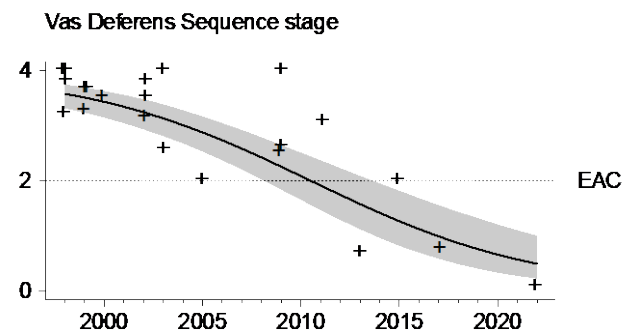
Compartment: Biota (Red whelk soft body)
Station: The North Sea (Imposex addition)
Units: stage



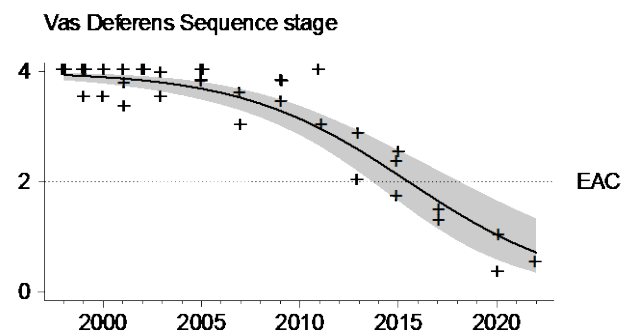
Compartment: Biota (Red whelk soft body)
Station: Skagerrak (Imposex addition)
Units: stage



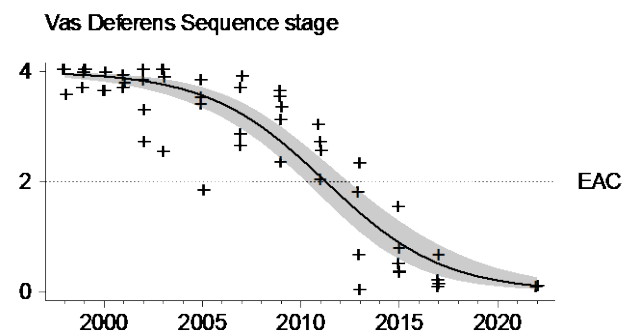
Compartment: Biota (Dog whelk soft body)
Station: Kattegat (Imposex addition)
Units: stage



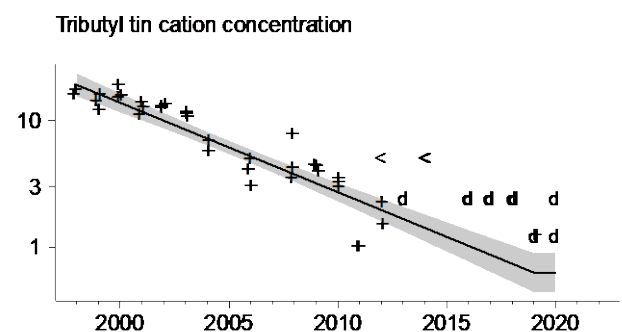
Compartment: Biota (Red whelk soft body)
Station: Kattegat (Imposex addition)
Units: stage



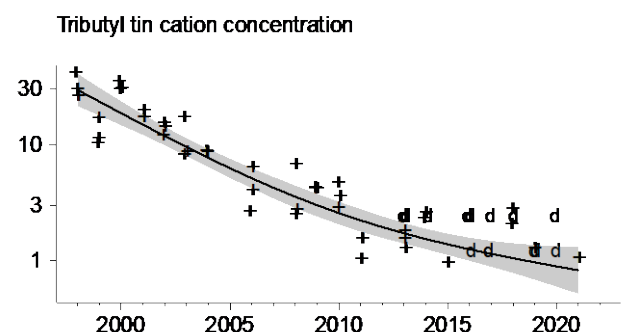
Compartment: Biota (Red whelk soft body)
Station: Great Belt (Imposex addition)
Units: stage



Compartment: Biota (Red whelk soft body)
Station: The Sound (Imposex addition)
Units: stage



Compartment: Biota (Blue mussel soft body)
Station: M39 (Agersøe Sund. Sampling depth 6 metres. Great Belt. DMU S39.)
Units: µg kg⁻¹ wet weight

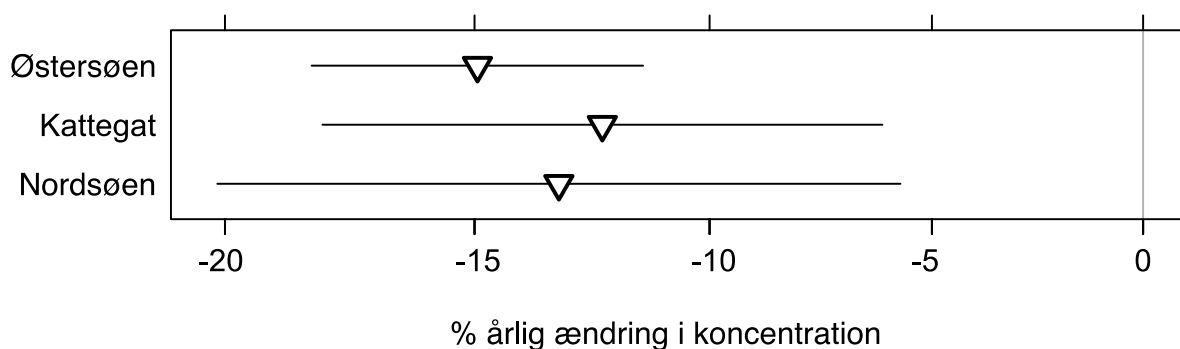
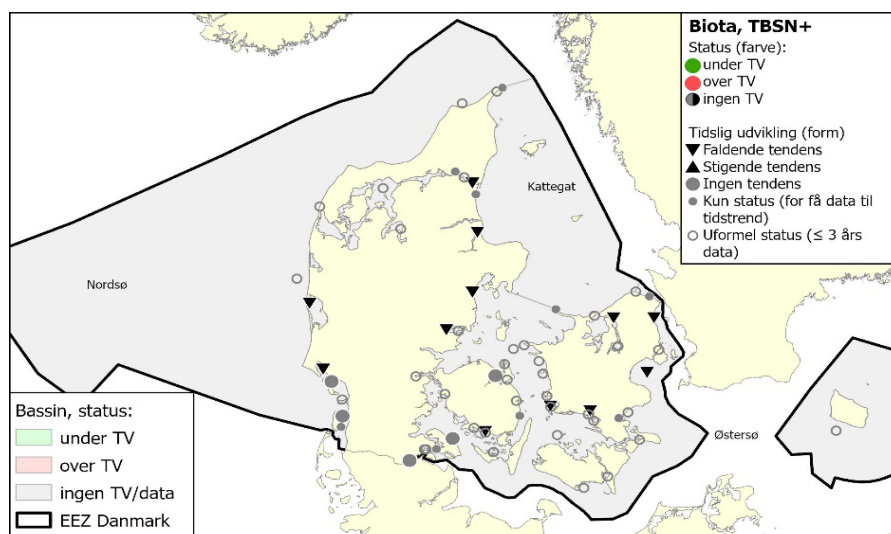


Compartment: Biota (Blue mussel soft body)
Station: M31 (NivÅa Bugt. Sampling depth 5 metres. The Sound. S31.)
Units: µg kg⁻¹ wet weight

Figur 3.34. Imposex i *Nucella lapillus* (NI) og *Neptunea antiqua* (Na), EAC-værdien er angivet for imposex, men ingen af de øvre 95% konfidensgrænser (grå felt omkring trend-linien) er over den for sidste år med data for hvert område (fra øverste venstre hjørne: Nordsøen, Skagerrak, Kattegat (for 2 forskellige arter), Storebælt og Øresund. Nederste 2 er stationer, hvor der er målt TBT-koncentrationer i muslinger, som illustrerer, at den faldende tidstrend i imposex også følges i muslinger.

Som understøttelse af imposex i havsnegle er der også målt TBT-niveauer på muslinger og fisk i NOVANA-programmet (figur 3.35) med nok tidstrendstationer til at foretage en vurdering af regionale udviklinger, og i alle tilfælde er der fundet faldende tidstrends (figur 3.36). Bemærk at der ikke er en accepteret TV for TBT i biota, så tilstandsvurderingen på figur 3.35 er grå.

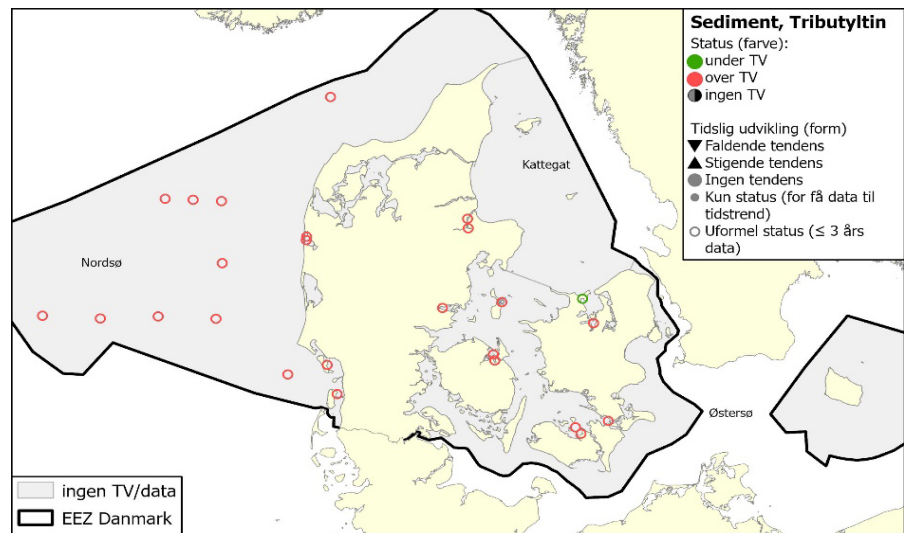
Figur 3.35. Stationer og tidstrend for TBT i muslinger og fisk. Der er ingen accepteret grænseværdi for TBT i biota.



Figur 3.36. Tidstrend i TBT-koncentrationen for områderne Nordsøen, Kattegat og Østersøen samlet fra alle individuelle muslinge- og fiskestationer per vandområde (svarende til de øvrige parametre beskrevet ovenfor). Understøtter resultaterne fra imposex-undersøgelserne i snegle. Trekanten nedad angiver, at der er en generel faldende tendens, og strengen angiver 95% konfidensintervallet af ændringer indenfor området.

Til gengæld er der en TV-grænse for TBT i sediment, som i langt de fleste tilfælde findes over TV-værdien (figur 3.37). Dette skyldes især, at TV-værdien og detektionsgrænsen er stort set sammenfaldende, så der er stor risiko for overskridelser ved forhøjede detektionsgrænser eller den mindste interferens (falsk positive). For nogle områder tæt på havne er det dog reelle overskridelser, der findes.

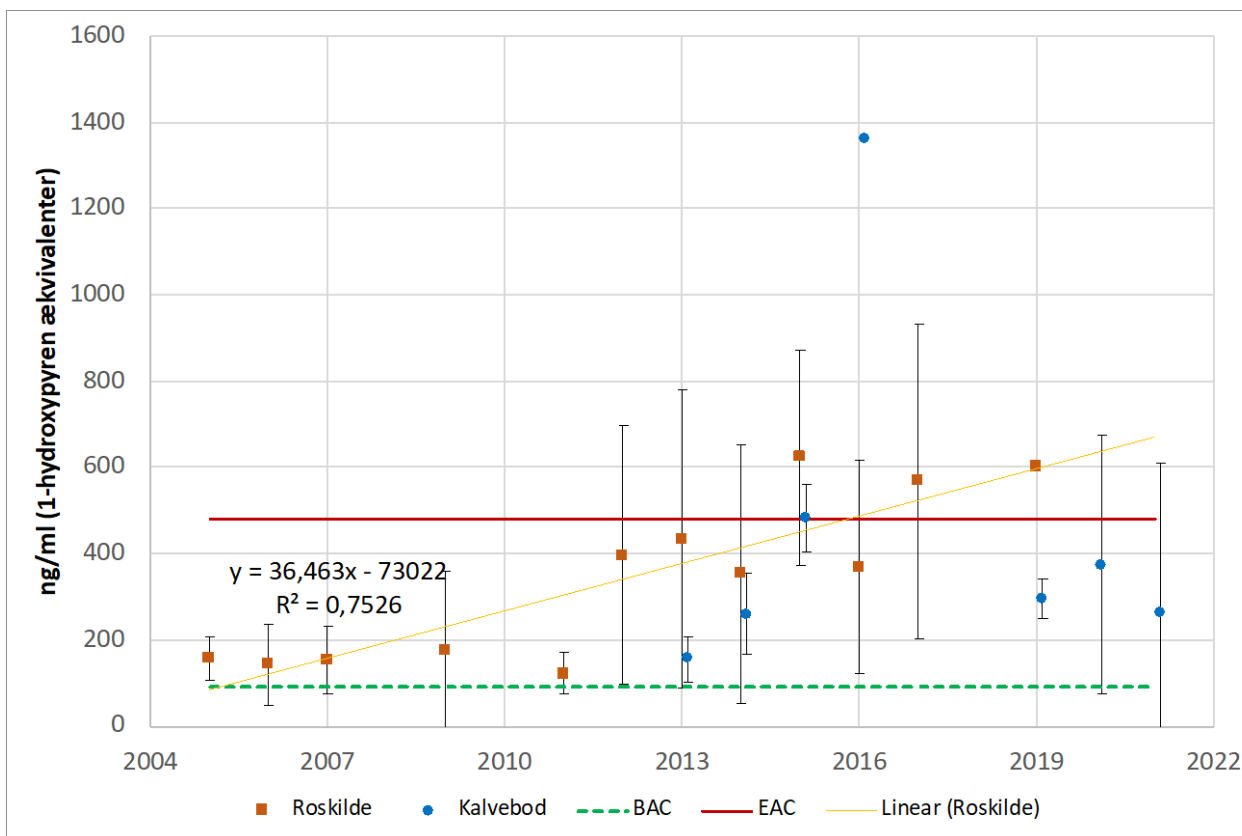
Figur 3.37. Stationer og tids-trend for TBT i sediment. TV-værdien for TBT ligger på niveau med detektionsgrænsen



3.4.2 Biologiske effektindikatorer i fisk

I Danmark er reproduktiv succes fortrinsvis foretaget for ålekvabbeyngel, hvor det i HELCOM de seneste år er abnorm embryo udvikling i amphipoder, som er anvendt som en Supplementary indikator for en reproduktiv succes. Anvendelsen af den indikator, der viser reproduktiv succes i amphipoder, er ved at blive undersøgt i Danmark, hvor et pilotprojekt er i gang, og data for *Gammarus* spp. indsamles og analyseres siden 2020 på forskellige stationer i danske farvande.

PAH-metabolitter i fiskegalde (målt som 1-hydroxypyren ækvivalenter), også tidligere kaldet FAC (fluorescerende aromatic compounds) i NOVANA- og HSD-programbeskrivelserne.

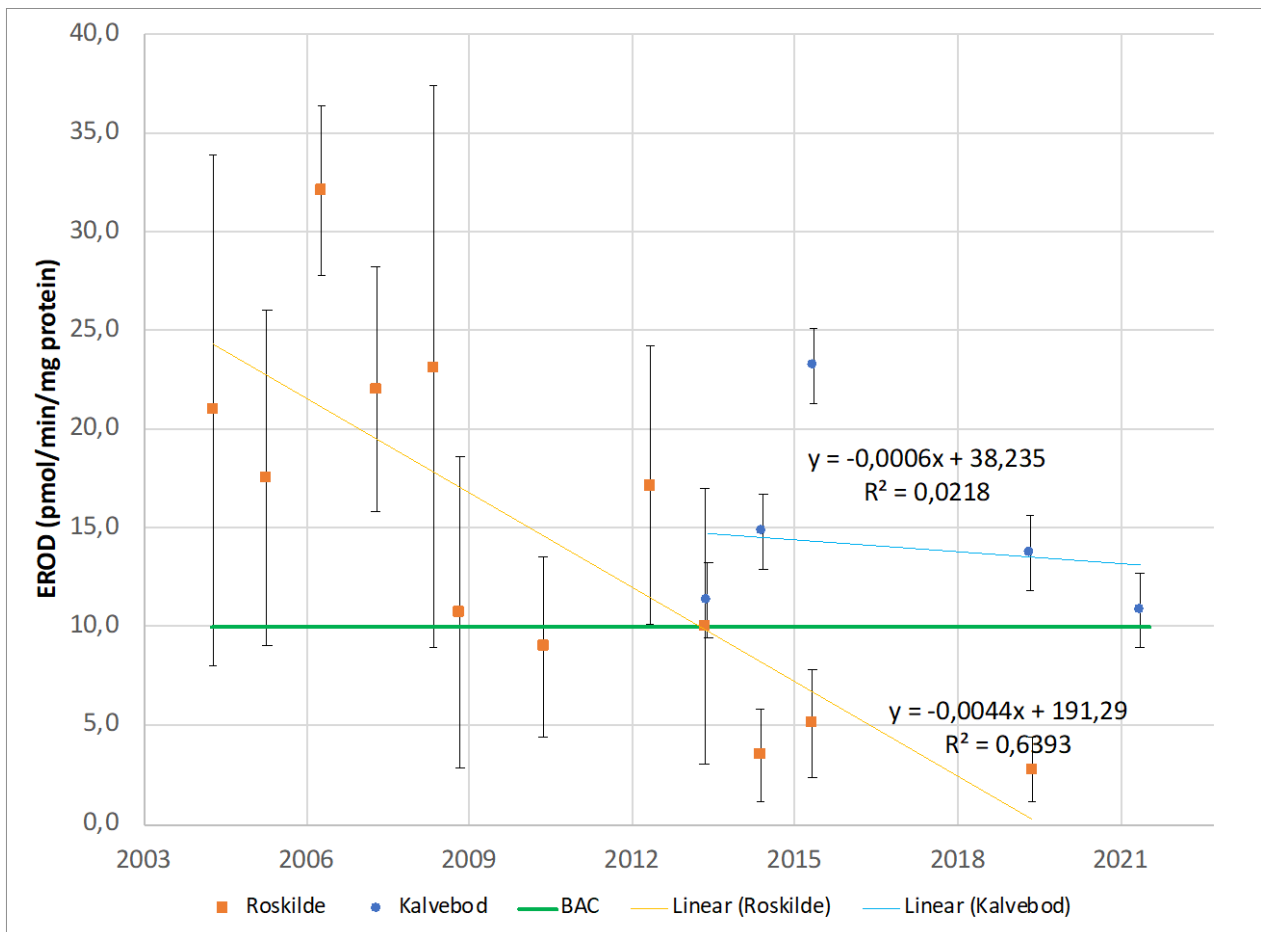


Figur 3.38. PAH-metabolitter. Tidstrends udvikling i Roskilde Fjord og Kalvebod (ved Hvidovre Marina). EAC-kriteriet for GES vist ved rød vandret linje, BAC ved grøn stiplede linje. Usikkerhedsbarerne angiver en standard afvigelse på individmålingerne. Bemærk Roskilde 2019 værdien er baseret på 6 fisk, heraf 5 fra den nordlige ende af Roskilde Fjord ved Frederiksværk.

Miljøkvalitetskrav (assessment criteria) for PAH-metabolitter i fiskegalde i NOVANA baseres på ICES WGBEC og OSPAR-rapporter, og er på 92 ng ml⁻¹ (BAC) og 483 ng ml⁻¹ (EAC repræsenterer grænsen for unacceptable responsniveauer på organisme og populationsniveau). EAC-værdien er etableret for torsk, men er også accepteret som grænsen for ålekvabbes PAH-metabolit respons. Den generelle tendens for PAH-metabolit-niveauerne i ålekvabbes galde ser ud til at være svagt stigende i fisk fra Roskilde fjord.

Tidstrend er baseret på de tilgængelige data for Kalvebod. Kalvebod er den mest forurenet station i NOVANA-programmet der har ca. en faktor 10 højere dioxin og PCB-indhold end de øvrige stationer. Fisk er indsamlet siden 2013, og PAH-metabolit-niveauerne i ålekvabbes galde ser ud til være uændrede, bortset fra det relativt høje niveau målt i 2016, og uden nogen lineær regressions sammenhæng igennem årene (F-test $\alpha=0,89$).

Alle niveauer af målte PAH-metabolitter er over BAC grænsen, mens EAC-værdi overskrides i tre tilfælde i Roskilde fjord i 2015, 2017 og 2019, og i to tilfælde ved Kalvebod i 2015 og 2016. Tidstrenden for Roskilde Fjord er signifikant (F-test $\alpha=0,0003$; $r^2=0,75$) på 95% niveau.



Figur 3.39. EROD-udvikling over tid i Roskilde Fjord og Kalvebod (ved Hvidovre Marina). Der er ikke nogen EAC defineret, men BAC er angivet som grøn linje. Bemærk Roskilde 2019 værdien er baseret på 6 fisk, heraf 5 fra den nordlige ende af Roskilde Fjord ved Frederiksværk.

Data for CYP1A aktivitet, målt som EROD aktivitet i fiskeleverprøver, er tilgængelige siden 2004. Miljøkvalitetskrav for den indikator (BAC, "background assessment criteria" er niveauet der svarer den højeste grænseværdi for en naturlig respons i populationen) er 10 pmol min⁻¹ mg protein⁻¹ målt i S9-fraction i levervævekstrakt (Tairova&Strand, 2021).

Denne indikator er målt i fisk fra to stationer, Kalvebod (ved Hvidovre Havn) og i Roskilde fjord. CYP1A aktivitet respons i Roskilde fjord viser generelt en faldende tendens gennem årene, hvor i perioden efter 2009 er der kun i to tilfælde, i 2012 og i 2013, at CYP1A aktivitet er over BAC værdi, forholdsvis 17.18 og 10.04 pmol min⁻¹ mg protein⁻¹. Her skal der bemærkes at der ingen data er for perioden 2016-2018. Tidstrenden for Roskilde Fjord er signifikant (F-test $\alpha = 0,0016$; $r^2 = 0,64$) på 95% niveau.

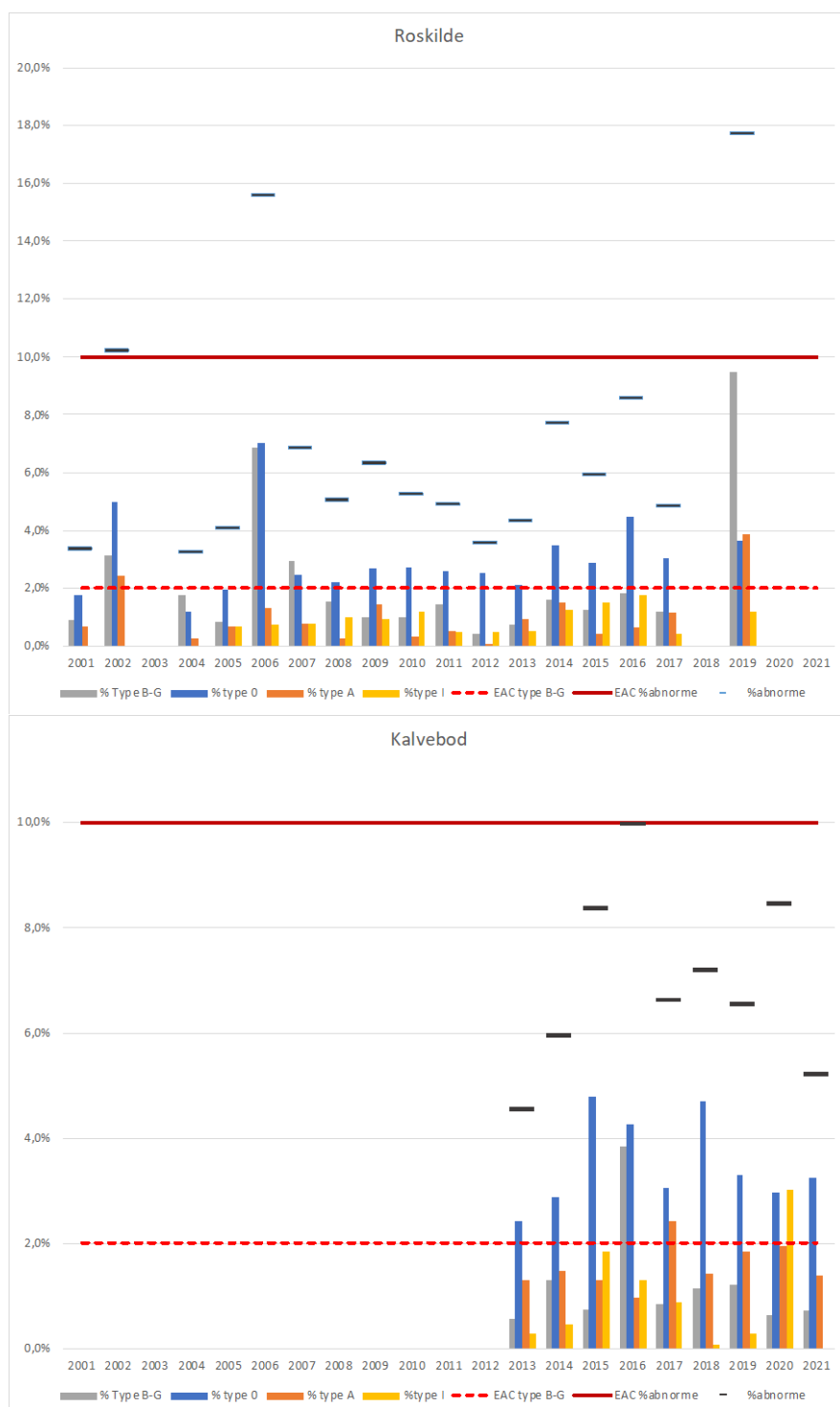
CYP1A aktivitet målt i fiskelever fra Kalvebod er tilgængelige for perioden 2013-2019, med undtagelsen af årene 2016-2018, og responsen ligger i alle årene over BAC-værdi.

Miljøkvalitetskrav (Baggrund og økotoksikologisk BAC og EAC) for reproduktiv succes i fisk for de forskellige typer af abnormaliteter er angivet i Tabel 1.5. De længste tidstrends for disse data er tilgængelig for Roskilde fjord, mens Kalvebod først indgik i overvågningen fra 2013 (Figur 3.40).

EAC-værdi, som ligger på 10% af alle type abnormaliteter, overskrides i Roskilde fjord i årene 2002, 2006 og 2019, hvor niveauerne ligger på henholdsvis 10.1%, 15.5% og 17.7%. Målte niveauer af alle typer abnormt udviklede unger, i Roskilde fjord, i årene 2007, 2009, 2010, 2014, 2015 og 2016, ligger over baggrundsværdien på 5% for alle typer abnormt udviklede unger, og ligger forholdsvis på 6,8%, 6,3%, 5,2%, 7,7%, 5,9% og 8,5%.

I Kalvebod ligger alle typer abnormt udviklede unger på grænsen af EAC i 2016 og er på 10%. Bortset fra 2013 er målte niveauer af alle type abnormaliteter over BAC-værdi, som er på 5%.

Figur 3.40. Udvikling over tid af abnormal yngel-andel for ålekvabber i Roskilde Fjord og Kalvebod (ved Hvidovre Marina). Type B-G er forskellige typer misdannelser på levende unger, Type 0 og A er tidligt og sent døde, og type I er dværgvækst. Bemærk at nogle unger kan have mere end en type deformitet, og derfor er summen nogle gange over den samlede (vandrette streg) % af abnorm yngel. Bemærk at Roskilde Fjord 2019 kun består af 6 fisk, heraf 5 fanget højere oppe i Roskilde Fjord omkring Frederiksværk. For de øvrige stationer er resultaterne midelværdi af ynglen i 24-50 hunner.



EAC-grænsen for misdannede unger (type B-G) på 2% overskrides kun i et tilfældet i Kalvebod i 2016, hvor den ligger på 3.8%, mens der er fire tilfælde i 2002, 2006, 2007 og 2019 for Roskilde Fjord, hvor niveauerne er over EAC og ligger forholdsvis på 3,1%, 6,8%, 2,9% og 9,5%.

Der er ikke nogen tendens i udvikling af abnorme unger, hverken i Roskilde Fjord eller Kalvebod.

3.5 Vurdering af usikkerhed på indikatorer

3.5.1 Luftforurening

Belastningen med luftforurening er rimelig sikker, da det er atmosfære modeller, der har kørt i mange år, og det er muligt at beregne depositionen for del-områder og ikke kun hele indre danske farvande.

3.5.2 Vandløb

Belastningen fra vandløb er estimeret for 12 udvalgte vandløb (inkl. de 10 største). Der er indtil videre begrænsede mængder data i til rådighed, men fra 2021 er der udtaget flere prøver pr år end tidligere, så det bliver muligt at se på sæsonvariation, ligesom MetalStat modellen vil gøre det muligt at få estimater fra vandløb, der ikke pt bliver overvåget. Usikkerheden på de rapporterede tal i denne rapport er store (anslået 50-100%), især for de vandløb, der har meget varieret vandføring afhængig af nedbør.

3.5.3 Punktkilder

Belastningen fra punktkilder er i denne rapport en total opgørelse for alle renseanlæg, uanset om de udleder til ferskvand eller direkte til marine områder. Bidraget til de marine områder er derfor formodentligt kraftigt overestimeret i denne rapport, især hvis man lægger vandløb og punktkilder sammen.

3.5.4 Tidstrend og regionale analyser for metaller og PAH'er i biota

Der er tilstrækkelige data fra nok stationer, til at usikkerheden på biota statusindikatorerne vurderes til at være 0,6 x TV-værdien for 95% konfidensgrænsen. For tidstrend-estimererne er usikkerheden på % årlige ændring i koncentration omkring $\pm 3\%$ for metaller, $\pm 5-10\%$ for PAH'er, TBT og PFOS, men 15-20% for de chlorerede og bromerede forbindelser, sandsynligvis fordi der er flere resultater tæt på detektionsgrænsen for disse.

3.5.5 Sediment

Der er kun uformelle statusopgørelser for sediment, så der er ingen statistiske data som grundlag. På grund af de få og tidsligt meget spredte prøver (ca. 1 gang pr programperiode) for de parametre, der indgår i denne rapport, er usikkerheden meget stor. Det ordinære (vandrammedirektiv) NOVANA sediment-program overvåger nonylphenoler og pththalater, men der er ikke set på indikatorer for disse.

3.5.6 Biologiske effekter

Usikkerheden på vurderingerne er høj, fordi der er så få stationer, at det ikke er muligt at lave regionale opgørelser og vurderinger.

4 Konklusioner

Danske overvågningsdata rapporteret til ICES er anvendt til at lave en vurdering af danske havområder med OSPAR og HELCOMs Hazardous Assessment Tool ved anvendelse af de samme miljøkvalitetskrav, der blev anvendt i HELCOMs seneste HOLAS 3.

Resultaterne for Østersøen og Kattegat er generelt i god overensstemmelse med resultaterne i HELCOMs HOLAS 3, hvorimod der er lidt større afvigelse fra OSPARs vurderinger af Nordsøen, da der ikke anvendes TV som grænser for især sediment og bromerede flammehæmmere. Opnåelse af GES i denne vurdering sammenlignet med HELCOM og OSPAR er opsummeret i tabel 4.1.

Metaller

Metallerne i fisk og muslinger indikerer, at koncentrationen for bly, cadmium og kviksølv er over TV, så der kan ikke opnås god miljøtilstand i alle tre områder, der indgår i vurderingen: Østersøen, Kattegat inklusive Limfjorden og Roskilde Fjord, samt Nordsøen inkl. Skagerrak. For Kattegat er den modellede middelværdi for kviksølv under TV, men 95% konfidensgrænsen er over TV, så området bliver rødt. For de øvrige områder og metaller ligger den regionale middelværdi over TVK (1,1 - 1,5 gange over), så selv om der anvendes middelværdier, vil de være ikke være i GES.

De regionale tidstrend for biota viser signifikant fald for cadmium og kobber i Østersøen, men stigning for kviksølv i Nordsøen.

Metalkoncentrationen i sediment har kun data til uformelle vurderinger, da der ikke er nok tidstrendsstationer, som kan anvendes til vurderingen af områderne. For bly og cadmium er det kun stationer i Odense Fjord og ved Holbæk, som overskrider TV, men begge er inderfjorde, og derfor vurderes de ikke at have indflydelse på de åbne farvande, hvor alle stationer er uformelt vurderet til at være i god miljøtilstand. Kviksølv har ingen TV for sediment, og kan derfor ikke vurderes. For kobber er de fleste prøver, selv i den åbne Nordsø, over TV, men i Kattegat er prøverne, undtagen Holbæk (som for cadmium og bly), under TV, altså i god miljøtilstand. Data normaliseres til 5% TOC, hvilket sandsynligvis er grunden til, at de meget sandede prøver i Nordsøen kommer over TV-værdien, og derfor ender i ikke-opfyldelse af GES.

Hvis der anvendes one-out-all-out på tværs af matricer (vand, sediment og biota), vil alle metaller derfor skulle klassificeres som værende i ikke-god tilstand mht. GES.

Tjærestoffer

Der er TV-værdier for tjærestofferne benz(a)pyren og fluoranthen, og alle tre områder ligger under TV-værdierne og er dermed i god miljøtilstand, selvom der er enkelte stationer i Vadehavet og den vestlige Østersø, der er over TV for benz(a)pyren. Anthracen er der ikke TV-værdi i muslinger for, kun i sediment, men det er medtaget for at se på tidstrends. Beregningen af tidstrend for regionerne viser, at der er nedadgående tendens for benz(a)pyren og anthracen i både Østersøen og Kattegat, for fluoranthen er der kun nedadgående tendens for Kattegat. Der er nok data til at lave tidstrend for Nordsøen for

benz(a)pyren og fluoranthen, men ingen sikker tendens til hverken stigning eller fald.

For sediment er alle stationer med data over TV for anthracen, som giver ikke-god GES tilstand, hvorimod alle fluoranthen resultaterne er under TV og dermed i GES tilstand.

Tabel 4.1. Oversigt over vurderinger med DK- HAT, HELCOM HOLAS 3 (HHAT) og OSPAR QSR 2023 (OHAT). Signifikante regionale tidstrends er angivet med pile (op for stigende, ned for faldende tidstrends). God miljøtilstand er markeret med grøn og "GES". Blanke felter indikerer, at der ikke er nogen kriterier for indikatoren.

Indikator	DK-HAT	HELCOM	DK-HAT	HELCOM	OSPAR	DK-HAT	OSPAR
	Østersøen		Kattegat			Nordsøen	
Biota							
Kviksølv	↓						
Cadmium	↓						
Bly	↑						
TBT/Imposex	↓ GES		↓ GES		GES	↓ GES	GES
Fluoranthen	GES	GES	↓ GES	GES	GES	GES	GES
Benz(a)pyren	↓ GES	GES	↓ GES	GES	GES	GES	GES
PFOS	↓ GES	GES	GES	GES	GES	GES	GES
HBCDD	GES	GES	GES	GES	GES	GES	GES
ΣPBDE					GES		GES
Ikke-dioxinlignende PCB	GES	GES	GES	GES	GES	GES	GES
dioxinlignende PCB	GES	GES	GES	GES	GES	GES	GES
¹³⁷ Cs	GES	GES	GES	GES		GES	
Sediment							
Cadmium		GES		GES	GES		GES
Bly		GES		GES			
Kobber							
TBT							
Fluoranthen	GES	GES	GES	GES	GES	GES	GES
Anthracen					GES		GES

Halogenerede forbindelser

Der er TV-værdier for både bromerede (PBDE, HBCDD), chlorerede (PCB, dioxin) og fluorerede (PFOS) organiske forbindelser. I de fleste tilfælde er der kun data for fisk, dog måles der fortsat for PCB og dioxiner i enkelte muslingestationer. Der er kun nok tidstrendstationer til at lave regionale vurderinger for Østersøområdet, og for ikke-dioxinlignende PCB'er er der god miljøtilstand, men selvom der er en gennemsnitligt faldende tendens, er usikkerheden på tendensen for stor til at være generel. Der er ikke nok data på dioxiner til at lave regional statistik, men i både Østersøen og Kattegat er der stationer både i opfyldt og ikke-opfyldt GES, hvorimod Nordsøens få stationer alle er under TV-værdien.

Sum-koncentrationer af bromerede flammehæmmere ΣPBDE viser overskridelser af TV på alle stationer, og der er ingen signifikante tidstrend i Østersøen, så der er ingen udsigt til forbedring af miljøtilstanden. Alle stationer i Kattegat og Nordsøen har også koncentrationer over TV, og områderne må derfor formodes at være i dårlig tilstand, selvom der ikke er data for mere end 2 år på stationerne i Nordsøen. Det skyldes sandsynligvis, at de fleste resultater er tæt på detektionsgrænsen for PBDE'erne, og detektionsgrænsen er tæt

på TV-værdien. OSPAR-grænseværdien er væsentligt højere end TV-værdien og baseret på individuelle PBDE'er, som betyder at alle danske stationer er under FEQS, og i OSPARs vurdering opnår GES, modsat den nærværende danske vurdering.

HBCDD er derimod i god tilstand på alle stationer i alle områder, og den regionale vurdering viser koncentrationer under TV, så GES opnået, men ingen signifikant tidstrend (i gennemsnit endda stigende).

PFOS udviser både god miljøtilstand og faldende tendens for Østersøen, og alle stationer i Kattegat og Nordsøen er også under TV, så vil sandsynligvis stå til GES også, hvis der var nok tidstrendstationer til at gennemføre områdestatistikkerne.

Biologiske effekter

Effekter af TBT i de mest følsomme arter viser overholdelse af gGES i alle områder og nedadgående tidstrends i både imposex og de fleste muslingestationer, med områdeestimer af TBT i muslinger og fisk alle signifikant faldende med årlige fald på 12-15 %. I HELCOM-området er der ikke generelt de mest følsomme snegle til rådighed, så vurderingen af imposex er derfor foretaget på mindre følsomme arter, som kun kan indikere GES, hvis der ikke er nogen effekt overhovedet (eller for strandsnegle, hvor intersex ikke nødvendigvis er forekommende, selvom TBT-koncentrationen er høj nok til at inducere imposex i de følsomme arter).

Ålekvabber fra i Kalvebod og Roskilde Fjord er analyseret for EROD og PAH-metabolitter samt reproduktiv succes, og for Roskilde Fjord ser der ud til at være en stigende tendens for PAH-metabolitter, hvorimod EROD-responset er faldende fra 2004 til 2019. Ved Kalvebod er billedet, at der ikke nogen umiddelbar udvikling, især hvis en outlier PAH-metabolitværdi i 2016 udelukkes. Reproduktiv succes i ålekvabber viser i de fleste tilfælde overskridelser af EAC for abnorm yngel i Kalvebod, og siden 2006 i Roskilde Fjord. Den totale procentdel af abnorme yngel er over GES i enkelte år i Roskilde og Kalvebod, men der er ingen tydelig tidstrend på nogle af stationerne.

Radioaktiv indikator

Data for ¹³⁷Cs i vand og fisk viser faldende tendenser i Østersøen og Kattegat og er nået ned på god miljøtilstand, og forventes at nå aktivitetsniveau svarende til præ-Chernobyl niveau indenfor få år. Data er ikke behandlet med vurderingsværktøjet, men resultaterne taget fra HELCOMs MORS gruppe.

Belastning og påvirkning

Den atmosfæriske deposition og modeller har lang tids udvikling, og kan udvides med forskellige miljøfremmede stoffer, når det bliver nødvendigt. Modellerne gør det muligt at lave rimeligt præcise beregninger af depositionen på forskellige områder, her er præsenteret de data, der er i de årlige NOVANA rapporter, og de samme data anvendes i EMEP til at regne på depositionen i OSPAR og HELCOMs QSR og HOLAS assessments.

Diffus påvirkning fra vandløb til det marine miljø er ikke tidligere beregnet for danske vandløb. Der har tidligere ikke været nok MFS-data til at beregne

tilførslen til havet, men i de seneste år er overvågningsprogrammet for ferskvand forøget, så det er muligt at beregne månedsmidler af metaller, og koble dem til afstrømningsdata og lægge dem sammen til årsmidler. De ti vandløb med højest vandføring og et par potentielt særligt forurenede vandløb blev anvendt til at teste metoden, men der er stadig mere arbejde at gøre for at lave et mere sikkert estimat af udstrømningen fra vandløb. Umiddelbart ser værdierne dog ud til at være på niveau med svenske floder og noget lavere end tyske floder (som forventet). Sammenlignes udledningen fra danske vandløb til Nordsøen med OSPARs opgørelse, udgør den mindre end 0,2 % af de opgjorte udløb til den centrale Nordsø for alle tre metaller. Data for andet end metaller er meget mangelfulde og kan pt ikke opgøres som månedsmidler.

Endelig er udledning fra renseanlæg og industrianlæg beregnet som punktkilde bidrag. Det er i denne rapport gjort for alle renseanlæg ved at anvende Miljøstyrelsens nøgletal for koncentrationer fra mekaniske og avancerede renseanlæg, sammen med vandføringsdata for de forskellige typer renseanlæg. Også her er det et første estimat, men da det er for alle renseanlæg, er nogle af udledningerne til ferskvand potentielt regnet med i både ferskvandsafstrømningen og punktkildeudledningen, så man kan ikke bare lægge data sammen. Sammenlignes de beregnede danske udledninger til Østersøen i forhold til HELCOMs estimat af total udledning af cadmium og bly til Østersøen, er Danmarks bidrag henholdsvis ca. 2% og 0,5%. Som for vandløb er datagrundlaget for andet end metaller i spildevand lidt mangelfulde, og det gør estimaterne mere usikre. Anvendelsen af nøgletal bør verificeres for et antal større renseanlæg med både MFS og vandføringsdata.

Anvendelse af værktøjet til overholdelse af GES

Fordelene ved anvendelse af samme værktøj, som HELCOM og OSPAR bruger, er store og sikrer en god sammenhæng mellem HELCOMs HOLAS 3 og den nationale danske vurdering. Der er en forskel i behandlingen af sammenlægningen i de enkelte havområder og den endelige vurdering, hvor ICES bruger en middelværdi for områderne, modsat værktøjets statistiske sammenlægning af stationer ved at anvende en maximum likelihood funktion, med tilhørende konfidensinterval for resultaterne. Det betyder, at hele datasættet og de regionale vurderinger har en tilknyttet statistisk usikkerhed. Der findes en overbygning (ikke anvendt i denne gennemgang), hvor modelmiddelværdierne bruges til beregning af CHASE aggregering, men igen anvendes tidstrendsanalyserne sammen med de statistiske usikkerheder på modelestimaterne til at kunne forudsige den sandsynlige udvikling af CHASE i fremtiden med et usikkerhedsbånd, som kan vise det sandsynlige udfald for uændret påvirkning.

Acknowledgements

This work had not been possible without the statistical and R-script assistance of Rob Fryer, Marine Scotland, in setting up the assessment tools, and using the Danish dataset as part of HARSATs efforts to make a unified assessment tool for HELCOM, OSPAR and AMAP conventions for the Baltic Sea, North Sea and Arctic Sea Regions. Tak til Thomas Frank-Gopolos for data fra PULS databasen, forhåbentlig bliver der tid til at samarbejde om udviklingen af en belastnings model til ferske og marine vande i fremtiden.

5 Referencer

Burgeot, T., Mauffret, A., J., Anderson, Brooks, S., Assuncao, M., Bellas Bereijo, J., Bignell, J., Campillo, J.A., Coorman, K., Förlin, L., Giltrap, M., Guls, H.D., Hylland, K., Halldorsson, H.P., Martinez-Gomez, C., McHugh, B., Parmentier, K., Scharsack, H., Sturve, J. and Tairova, Z. (2022) Integrated biological effects and chemical contaminants approach: a case study. In: OSPAR, 2023: The 2023 Quality Status Report for the North-East Atlantic. OSPAR Commission, London. Available at: <https://oap.ospar.org/en/ospar-assessments/quality-status-reports/qsr-2023/other-assessments/integrated-biological-effects>

EU (2018) Guidance Document No: 27, Technical Guidance For Deriving Environmental Quality Standards. 207 sider, Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC)

Ellermann, T., Bossi, R., Sørensen, M.O.B., Christensen, J., Lansø, A. S., Geels, C., & Poulsen, M. B., (2023) Atmosfærisk deposition 2021. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. 78s. – Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 525. <http://dce2.au.dk/pub/SR525.pdf>

Fryer, R. J. and Nicholson, M. D. (1999) Using smoothers for comprehensive assessments of contaminant time series in marine biota. – ICES Journal of Marine Science, 56: 779–790.

Gustavson, K, Strand, J, Larsen M.M., (in prep) Forureningsindeks for miljøfarlige forurenende stoffer i overfladevand. Videnskabelig Rapport fra DCE

Gwynn, J., Fievet, B., Stackhouse, A., Robinson, C., Aquilonius, K., Arends, P., Baglan, N., Caplin, H., Cardoso, G., Chartier, M., Claes, J., Dewar, A., Hagg, A., Löhle, J., Luque, S., McGinnity, P., Nilsen, M., Nyffenegger, C., Pynn, A., Reynal, N., Ryan, R., Siegfried, M., Tanzi, C.P., Telleria, D., Trinidad, J.A., (2022). Fifth periodic evaluation of progress towards the objective of the OSPAR Radioactive Substances Strategy. In: OSPAR, 2023: The 2023 Quality Status Report for the Northeast Atlantic. OSPAR Commission, London.

HELCOM (2021) Inputs of hazardous substances to the Baltic Sea. Baltic Sea Environment Proceedings No. 179.

HELCOM Thematic assessment of hazardous substances, marine litter, underwater noise and non-indigenous species 2016-2021. Baltic Sea Environment Proceedings n°190.

HELCOM (2023a) Radioactive substances: Caesium-137 in fish and surface seawater. HELCOM core indicator report. 19/8/2023 Online. <https://indicators.helcom.fi/indicator/radioactive-substances/>

Larsen, M.M., Fryer, R., Hjermand, D., McHugh, B. and Sorensen, A. (2022). Status and Trend hazardous substances using CHASE. In: OSPAR, 2023: The 2023 Quality Status Report for the North-East Atlantic. OSPAR

Commission, London. Available at: <https://oap.ospar.org/en/ospar-assessments/quality-status-reports/qsr-2023/other-assessments/chase>

Larsen, M.M. (2019) Omregning af indhold af miljøfarlige stoffer i forskellige organer i fisk. Med særlig fokus på kviksølv. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 44 s. - Teknisk rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 144 <http://dce2.au.dk/pub/TR144.pdf>

Lin M. She, J., Muawski, J., Hou, X., Qiao, J. (2023) *Journal of Hazardous Materials* 44 130144

tidslig Danmarks Havstrategi II Fokus på et godt havmiljøbooklet_danmarks_havstrategi_ii.pdf (mst.dk)

Miljøstyrelsen (2021) Nøgletal for miljøfarlige forurenende stoffer i spildevand fra renseanlæg – Opdatering på baggrund af data fra det nationale overvågningsprogram for punktkilder 1998-2019. <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2021/03/978-87-7038-287-8.pdf>

OSPAR (2022) Trends in Deposition of Heavy Metals to the OSPAR Maritime Area in the period 1990-2019. OSPAR's Quality Status Report 2023, no. 897/2022

OSPAR (2023) Quality Status Report 2023. <https://oap.ospar.org/en/ospar-assessments/quality-status-reports/qsr-2023/>

Ovesen, N.B., Iversen, H.L., Larsen, S.E., Müller-Wohlfeil, D.-I. & Svendsen, L.M., Blicher, A.S. og Jensen, Per M. (2000): Afstrømningsforhold i danske vandløb. Danmarks Miljøundersøgelser. 238 s. – Faglig rapport fra DMU nr. 340. https://www2.dmu.dk/1_viden/2_publicationer/3_fagrapporter/rapporter/fr340.pdf

Peter Borgen Sørensen, Christian Frølund Damgaard, Poul Løgstrup Bjerg, Hans Estrup Andersen, Peter Engelund Holm, Henrik Tornberg, Jesper Leth Bak, Goswin Johann Heckrath, Ane Kjeldgaard, Patrik Fauser. 2022. Udvikling af model til understøttelse af vandplanlægningen i fastlæggelsen af koncentrationniveauer af metaller i danske vandløb. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 70 s. - Videnskabelig rapport nr. 484 <https://dce2.au.dk/pub/SR484.pdf>

Qiao, J., Andersson, K. G., & Nielsen, S. P. (2020). A 40-year marine record of ¹³⁷Cs and ⁹⁹Tc transported into the Danish Straits: Significance for oceanic tracer studies. *Chemosphere*, 244, [125595]. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125595>

Sonesten, L., Axe, P., Bellert, B., Burtschell, L., Eumont, D., Fairbank, V., Farkas, C., Graves, C., Martínez García-Denche, L., McDermott, G., Moeslund Svendsen, L., Mönnich, J., Nunes, S., Pohl, M., Posen, P., Sánchez Fernández, B., Skarbøvik, E., Thiesse, E., Vannevel, R. and Wilkes, R. (2022) Waterborne and Atmospheric Inputs of Nutrients and Metals to the Sea. In: OSPAR, 2023: The 2023 Quality Status Report for the Northeast Atlantic. OSPAR Commission, London. Available at: <https://oap.ospar.org/en/ospar-assessments/quality-status-reports/qsr-2023/other-assessments/inputs-nutrients-and-metals>

Tairova Z., Strand J. (2021). Status for biological effect indicators monitored in Danish marine ecosystems. Aarhus University, DCE - Danish Centre for Environment and Energy, 34 s. - Scientific briefing no. 2021|59
https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater_2021/N2021_59.pdf

6 Appendiks

6.1 Statistisk metode anvendt af OSPAR og HELCOM

OSPAR og HELCOMs Hazardous Substances Assessment Tool er beskrevet i det følgende. Beskrivelse er taget fra OSPARs 2022 OHAT <https://dome.ices.dk/ohat/?assessmentperiod=2022> (More information – assessment methodology), som dækker både OSPAR og HELCOMs metodik. I dette projekt er HELCOMs kriterier baseret på EU EQS anvendt medmindre andet er beskrevet, da OSPAR har flere egenudviklede kriterier som ikke anvendes i Danmarks marine havstrategi.

6.1.1 Assessment methodology for contaminants in biota

Overview

Time series of contaminant concentrations in biota are assessed in two stages:

The concentrations are log transformed and changes in the log concentrations over time are modelled using linear mixed models. The type of temporal change that is considered depends on the number of years of data:

1-2 years: no model is fitted because there are insufficient data

3-4 years: concentrations are assumed to be stable over time and the mean log concentration is estimated

5-6 years: a linear trend in log concentration is fitted

7+ years: more complex (smooth) patterns of change over time are modelled

The fitted models are used to assess:

environmental status and human health status against available assessment criteria

evidence of temporal change in contaminant levels in the last twenty years

These stages are described in more detail below. Other help files describe how the methodology is adapted when there are 'less-than' measurements, i.e. some concentrations are reported as below the detection limit, and missing uncertainties, i.e. the analytical variability associated with some of the concentration measurements was not reported. Changes to the methodology since the 2014 assessment can be found here.

Modelling changes in log concentration over time

The log concentrations are modelled by a linear mixed model of the form:

response: log concentration

fixed: f(year)

random: year + sample + analytical

The fixed effects model describes how log concentrations change over time (year), where the form of $f(\text{year})$ depends on the number of years of data (described in the next paragraph). The random effects model has three components:

year: random variation in log concentration between years. Here, year is treated as a categorical variable.

sample: random variation in log concentration between samples within years. When there is only one sample each year, this term is omitted and implicitly subsumed into the between-year variation.

analytical: random variation inherent in the chemical measurement process. This is assumed known and derived from the the 'uncertainties' reported with the data. Specifically, if $u_i, i=1\dots n$, are the uncertainties associated with concentrations c_i (expressed as the standard deviations of the concentration measurements), then the standard deviations of the log concentration measurements $\log c_i$ are taken to be u_i/c_i . Measurements with $u_i > c_i$ (i.e. an analytical coefficient of variation of more than 100%) are omitted from the time series.

The model is fitted by maximum likelihood assuming each of the random effects are independent and normally distributed (on the log concentration scale)¹.

The form of $f(\text{year})$ depends on the number of years of data:

1-2 years

no model is fitted as there are too few years for formal statistical analysis

3-4 years

mean model $f(\text{year}) = \mu$

there are too few years for a formal trend assessment, but the mean level is summarised by μ and is used to assess status

5-6 years

linear model $f(\text{year}) = \mu + \beta \text{year}$

log concentrations are assumed to vary linearly with time; the fitted model is used to assess status and evidence of temporal change

7+ years

smooth model $f(\text{year}) = s(\text{year})$

log concentrations are assumed to vary smoothly over time; the fitted model is used to assess status and evidence of temporal change

The last case requires more explanation. When there are 7-9 years of data, both a linear model and a smoother (thin plate regression spline) on 2 degrees of freedom (df) are fitted to the data. Of these, the model chosen to make inferences about status and temporal trends is the one with the lower Akaike's Information Criterion corrected for small sample size (AICc)². When there are 10-14 years of data, a linear model and smoothers on 2 and 3 df are fitted, with the chosen model that with the lowest AICc. And when there are 15+ years of data, a linear model and smoothers on 2, 3, and 4 df are fitted, with model selection again based on AICc. Effectively, the data determine the amount of smoothing, with AICc providing an appropriate balance between model fit and model parsimony³.

Assessing status and temporal trends

Environmental status, human health status and temporal trends are assessed using the [model fitted](#) to the concentration data.

Environmental status and human health status are assessed by:

- calculating the upper one-sided 95% confidence limit on the fitted mean log concentration in the most recent monitoring year⁴
- back-transforming this to the concentration scale
- comparing the back-transformed upper confidence limit to the available assessment criteria

For example, if the back-transformed upper confidence limit is below the Background Assessment Concentration (BAC), then the median concentration in the most recent monitoring year is significantly below the BAC and concentrations are said to be 'at background'. For an example, see Fryer & Nicholson (1999).

No formal assessment of status is made when there are only 1 or 2 years of data. However, an ad-hoc assessment is made by:

- calculating the median of the log concentration measurements in each year
- back-transforming these to the concentration scale
- comparing the back-transformed median log concentration (1 year) or the larger of the two back-transformed median log concentrations (2 years) to the assessment criteria.

Temporal trends are assessed for all time series with at least five years of data. When a linear model has been fitted (i.e. when there are 5-6 years of data, or if there are 7+ years of data and no evidence of nonlinearity), the statistical significance of the temporal trend is obtained from a likelihood ratio test⁵ that compares the fits of the linear model $f(\text{year}) = \mu + \beta \text{year}$ and the mean model $f(\text{year}) = \mu$. The summary maps show a downward or upward trend if the trend is significant at the 5% significance level.

When a smooth model has been fitted, a plot of the fitted model is needed to understand the overall pattern of change. (This is available on the Raw data

with assessment and Assessment pages on the right side of the summary map under Graphics.) The summary map focusses on just one aspect of the change over time: the change in concentration in the most recent twenty monitoring years; i.e. between 2001 and 2020 (the assessment only includes data up to 2020). For this, the fitted value of the smoother in 2020 is compared to the fitted value in 2001 using a t-test, with significance assessed at the 5% level. The correlation between the two fitted values is accounted for by the t-test. If the time series does not extend to 2020, then the fitted value in the last monitoring year is used instead. Similarly, if the time series starts after 2001, the fitted value in the first monitoring year is used.

Fryer RJ & Nicholson MD, 1999. Using smoothers for comprehensive assessments of contaminant time series in marine biota. ICES Journal of Marine Science 56: 779-790.

¹ Such models cannot be readily fitted in the R statistical environment because the analytical variance is assumed known. Instead, the likelihood is maximised directly using the optim function. Ideally, the models should be fitted by restricted maximum likelihood (apart from when being used for likelihood ratio tests), but this has not been implemented yet. [↩](#)

² AICc is a model selection criterion that gives greater protection against overfitting than AIC when the sample size is small. For contaminant time series, small sample sizes correspond to few years of data. AICc is not formally defined for mixed models, but the usual definition is adapted to give a sensible criterion for the models considered here. The usual definition of AICc is

$$AIC_c = \frac{2kn}{(n - k - 1)} - 2 \log \text{likelihood}$$

where n is the sample size and k is the number of parameters in the model. For a contaminant time series, the natural definition of the sample size is the number of years of data, N, say. The number of parameters in the number of fixed effects parameters, k_{fixed}, plus the number of (unknown) variance parameters, k_{random}. For example, the linear model has k_{fixed} = 2 and k_{random} = 2 (or 1 if the sample variance component is subsumed into the year variance component). This suggests using

$$AIC_c = \frac{2(k_{fixed} + k_{random})N}{(N - k_{fixed} - k_{random} - 1)} - 2 \log \text{likelihood}$$

However, the denominator now overly penalises models because the 'sample size' is the number of years and, whilst subtracting k_{random} correctly corrects for the year variance component, it also corrects for the sample variance component which measures within-year variation. (Indeed, the denominator = 0 if N = 5 and the linear model is fitted, or N = 3 or 4 and the mean model is fitted). It therefore makes sense to take k_{random} in the denominator to be 1, corresponding to the year variance component, giving

$$AIC_c = \frac{2(k_{fixed} + k_{random})N}{(N - k_{fixed} - 1)} - 2 \log \text{likelihood}$$

The denominator is now analogous to that used in a linear model with a single normally distributed error term. The AICc is still undefined when $N=3$ and the mean model is fitted, but this doesn't matter in practice. ↵

³ Methods for estimating the smoothing degrees of freedom as part of the fitting process, for example by treating the amount of smoothing as an extra variance component, are available for several classes of models. However, such methods are not implemented in R for the case when the residual variance (the analytical variance) is known. This is a topic for future development. ↵

⁴ Approximate standard errors on the fixed effects parameter estimates are obtained from the Hessian matrix. These are used to estimate standard errors on the fitted values, with confidence intervals based on a t-distribution with $N - k_{\text{fixed}} - 1$ degrees of freedom. One-sided t-tests of whether the fitted value in the last monitoring year is below the assessment criteria can be found on the Statistical analysis page on the right-hand side of the summary map under Graphics. The standard errors can be computed analytically (i.e. without using the Hessian), but this hasn't been implemented yet. The degrees of freedom for the t-tests is a sensible approximation because, for time series models, the natural definition of the 'sample size' is N , the number of years of data (see discussion on AICc above). However, if the year variance is small compared to the other variances, the degrees of freedom might be too small leading to a loss of statistical power. This is a topic for future development. ↵

⁵ These tests have a type 1 error that is larger than the nominal value. For example, tests conducted at the 5% significance level will find 'significant' trends in more than 5% of time series, even when there are no trends. Using the standard error of the estimate of β from a restricted maximum likelihood fit of the linear model would be one way to improve the situation. Better still would be to use the Kenward Roger modification of F tests for linear mixed models (Kenward MG & Roger JH, 1997; Small Sample Inference for Fixed Effects from Restricted Maximum Likelihood, *Biometrics* 53: 983-997). ↵

6.1.2 Assessment methodology for contaminants in sediment

Overview

Time series of contaminant concentrations in sediment are assessed in three stages:

The concentrations are normalised to account for changes in the bulk physical composition of the sediment such as particle size distribution or organic carbon content. (This is not done for the Iberian Sea or the Gulf of Cadiz.)

The (normalised) concentrations are log transformed and changes in the log concentrations over time are modelled using linear mixed models. The type of temporal change that is considered depends on the number of years of data:

1-2 years: no model is fitted because there are insufficient data

3-4 years: concentrations are assumed to be stable over time and the mean log concentration is estimated

5-6 years: a linear trend in log concentration is fitted

7+ years: more complex (smooth) patterns of change over time are modelled

The fitted models are used to assess:

environmental status against available assessment criteria

evidence of temporal change in contaminant levels in the last twenty years

These stages are described in more detail below. Other help files describe how the methodology is adapted when there are 'less-than' measurements, i.e. some concentrations are reported as below the detection limit, and missing uncertainties, i.e. the analytical variability associated with some of the concentration measurements was not reported. Changes to the methodology since the 2014 assessment can be found here.

Normalisation

In most sub-regions, the concentrations are first normalised to account for changes in the bulk physical composition of the sediment such as particle size distribution or organic carbon content. (Concentrations from the Iberian Sea and the Gulf of Cadiz are not normalised.) Normalisation requires pivot values, estimates of the concentrations of contaminants and normalisers in pure sand. A normalised concentration is given by:

$$c_{ss} = c_s + \frac{(c_m - c_x)(n_{ss} - n_x)}{(n_m - n_x)}$$

where

c_{ss} is the normalised concentration of the contaminant

c_m is the measured concentration of the contaminant

c_x is the pivot concentration for the contaminant

n_{ss} is the reference concentration of the normaliser

n_m is the measured concentration of the normaliser

n_x is the pivot concentration for the normaliser

The analytical standard deviation u of the normalised concentration is estimated from:

$$u^2 = \left(\frac{(n_{ss} - n_x)}{(n_m - n_x)} \right)^2 \left(u_c^2 + \left(\frac{(n_{ss} - n_x)}{(n_m - n_x)} \right)^2 u_n^2 \right)$$

where u_c and u_n are the analytical standard deviations of the contaminant and normalised concentration measurements respectively. These are submitted with the data where they are known as 'uncertainties'.

$$c_{ss} = \frac{c_m n_{ss}}{n_m}$$

Metal concentrations are normalised to a standard sediment with 5% aluminium. The pivot values c_x and n_x and reference concentration n_{ss} depend on the digestion method used in the chemical extraction and can be found here. Organic concentrations are normalised to a standard sediment with 2.5% organic carbon content and, regardless of the digestion method, $n_{ss} = 2.5$. For organics, the contaminant and normaliser pivot values are both 0, so the formulae above simplify to:

and

$$u^2 = \left(\frac{n_{ss}}{n_m}\right)^2 \left(u_c^2 + \left(\frac{C_m}{n_m}\right)^2 u_n^2\right)$$

Resten af metodikken for sediment er den samme som for biota, bortset fra det er de normaliserede koncentrationer der anvendes.

6.1.3 Regional assessment methodology for contaminants in biota and sediment

Resten af metodikken for sediment er den samme som for biota, bortset fra det er de normaliserede koncentrationer der anvendes.

For a regional trend assessment, the trend in each time series is summarised by the estimated change in log concentration over the last twenty years (or shorter if the time series doesn't extend that far back). Regional trends are then estimated by fitting the following linear mixed model by restricted maximum likelihood:

Metals

- response: trend (yearly change in log concentration)
- fixed model: region.metal
- random model: station + station.metal + trend estimation variation + residual variation

The fixed model means that a separate regional trend is estimated for all metals. The random model has four terms:

- station allows for variation in trend between stations common to all metals
- station.metal allows for additional variation in trend between stations and metals common to all tissues and species within stations
- trend estimation variation is the variance of the trend estimates from the individual time series analysis, assumed known and fixed
- residual variation is the variation that cannot be explained by any of the fixed effects or the other random effects

PAHs

- response: trend (yearly change in log concentration)
- fixed model: region.PAH
- random model: station + trend estimation variation + residual variation

The fixed model means that a separate regional trend is estimated for all PAHs. The random model has three terms:

- station allows for variation in trend between stations common to all PAHs
- trend estimation variation is the variance of the trend estimates from the individual time series analysis, assumed known and fixed
- residual variation is the variation that cannot be explained by any of the fixed effects or the other random effects

Others (only one determinand and tissue type, illustrated for PFOS)

- response: trend (yearly change in log concentration)
- fixed model: region
- random model: trend estimation variation + residual variation

The fixed model means that a regional trend in PFOS is estimated for all regions. The random model has two terms:

- trend estimation variation is the variance of the trend estimates from the individual time series analysis, assumed known and fixed
- residual variation is the variation that cannot be explained by any of the fixed effects or the trend estimation variation; this is equivalent to the variation in trend between stations

For a regional status assessment, the status of each time series is summarised by the difference between the estimated mean log concentration in the final monitoring year and the log assessment concentration. This ensures that status is always measured on the same scale even though the assessment concentration might vary between metals [PAHs, etc.] and tissues. Essentially the same linear mixed model as for trends is then fitted:

- response: status (mean log concentration – log assessment concentration)
- ... the rest is identical to trends except that status estimation variation replaces trend estimation variation

6.2 MFS i biota supplerende figurer og tabeller

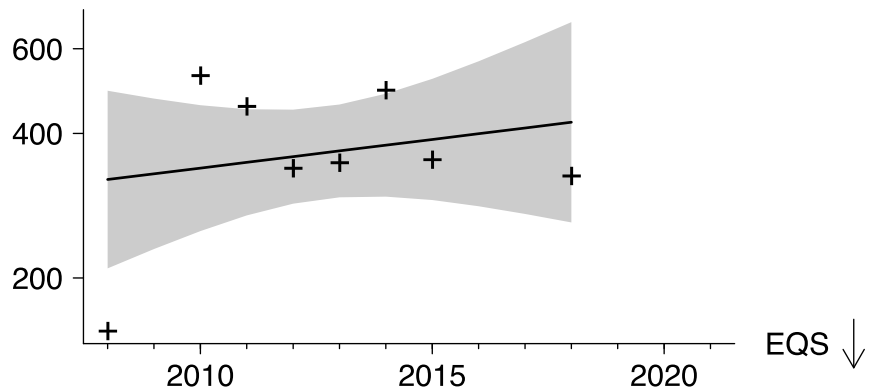
Tabel 6.1. Tidstrend stationer med signifikant tidstrend, v = faldende trend, ^= stigende trend, GES = god tilstand opnået, dårlig = god tilstand ikke opnået, – = ikke vurderet (ingen tærskelværdi). Fuldt data output fra DKHAT (csv-fil) kan findes her [Bilag Biota Summary](#)

serie	region	Station	# fit	Fra	til	Trend status	MI_År	Tidstrend	p-tidstrend
762 HG Mytilus edulis SB	Østersø	DMU Bakkegr	11	2011	2021	v GES	5,201	-4,3	0,0429
10886 TBSN+ Mytilus edulis SB	Østersø	ARH170165	20	1998	2021	v –	1,150	-13,7	0
10888 TBSN+ Mytilus edulis SB	Østersø	ARHHOR2	10	2008	2021	v –	0,929	-15,8	0
10955 TBSN+ Mytilus edulis SB	Østersø	FYN018361	6	2011	2016	v –	1,514	-20,4	0,0043
762 CD Mytilus edulis SB	Østersø	DMU Bakkegr	11	2011	2021	v Dårlig	140,155	-5,2	0,0382
815 TBSN+ Mytilus edulis SB	Østersø	M31	21	1998	2021	v –	0,825	-14,0	0
10886 FLU Mytilus edulis SB	Østersø	ARH170165	18	1999	2021	v GES	0,778	-12,8	0
767 CD Mytilus edulis SB	Østersø	M39	21	1998	2020	v Dårlig	124,676	-3,5	0,0047
767 TBSN+ Mytilus edulis SB	Østersø	M39	20	1998	2020	v –	0,635	-15,3	0
762 FLU Mytilus edulis SB	Østersø	DMU Bakkegr	10	2012	2021	v GES	1,384	-9,6	0,032
10905 CD Mytilus edulis SB	Østersø	STO0201113	7	2008	2018	v Dårlig	202,893	-7,0	0,0049
10899 TBSN+ Mytilus edulis SB	Østersø	ROS1727	9	2008	2018	v –	0,755	-26,8	0
406 FLU Mytilus edulis SB	Østersø	FYNklintholm	7	2014	2020	v GES	3,087	-9,0	0,0366
10862 CD Mytilus edulis SB	Kattegat	ARH230989	9	2010	2020	v Dårlig	158,091	-4,5	0,0023
822 TBSN+ Mytilus edulis SB	Østersø	STO0102063	7	2008	2016	v –	2,182	-29,2	0,0018
815 FLU Mytilus edulis SB	Østersø	M31	19	1999	2021	v GES	0,903	-13,1	0,0002
10904 TBSN+ Mytilus edulis SB	Østersø	STO0102065	9	2008	2021	v –	1,105	-18,3	0
10862 TBSN+ Mytilus edulis SB	Kattegat	ARH230989	10	2008	2020	v –	0,900	-18,9	0,0001
767 FLU Mytilus edulis SB	Østersø	M39	18	1999	2020	v GES	1,670	-8,2	0,007
10886 SCB6 Mytilus edulis SB	Østersø	ARH170165	14	1998	2016	v –	1,304	-5,0	0,0016
10886 CU Mytilus edulis SB	Østersø	ARH170165	20	1998	2021	v –	823,758	-2,8	0,0003
10889 TBSN+ Mytilus edulis SB	Kattegat	FRB65	16	1998	2021	v –	1,014	-9,5	0
10873 TBSN+ Mytilus edulis SB	Kattegat	LIM-3718-2	16	2003	2021	v –	1,229	-11,9	0
10886 ANT Mytilus edulis SB	Østersø	ARH170165	18	1999	2021	v –	0,172	-8,5	0,006
10886 BAP Mytilus edulis SB	Østersø	ARH170165	17	2000	2021	v GES	0,162	-11,7	0,0017
10889 FLU Mytilus edulis SB	Kattegat	FRB65	15	1999	2021	v GES	3,167	-6,1	0,0229
10893 TBSN+ Mytilus edulis SB	Nordsø	RIB2161022	7	2011	2021	v –	1,142	-15,8	0,0013
423 FLU Mytilus edulis SB	Kattegat	NORM-DokkedalM	6	2013	2021	v GES	1,141	-15,0	0,0277
10898 TBSN+ Mya arenaria SB	Nordsø	RKB-RFMS1	10	2008	2021	v –	0,651	-14,3	0,0125
431 FLU Mytilus edulis SB	Kattegat	NORM-SkagenFyr	5	2013	2021	v GES	2,338	-18,4	0,0256
813 FLU Mytilus edulis SB	Kattegat	ROS 60	13	1999	2016	v GES	1,981	-11,4	0,0127
812 FLU Mytilus edulis SB	Nordsø	VSJ 10006	5	2004	2018	v GES	2,026	-12,0	0,0017
762 ANT Mytilus edulis SB	Østersø	DMU Bakkegr	11	2011	2021	v –	0,067	-25,0	0,0164
10868 CU Zoarces viviparus MU	Østersø	DMU KB	5	2014	2018	v –	182,514	-15,9	0,0083
10955 CU Mytilus edulis SB	Østersø	FYN018361	7	2011	2018	v –	1 049,624	-4,3	0,0119
406 CU Mytilus edulis SB	Østersø	FYNklintholm	7	2014	2020	v –	944,733	-8,7	0,0347
815 ANT Mytilus edulis SB	Østersø	M31	19	1999	2021	v –	0,112	-6,6	0,0109
815 BAP Mytilus edulis SB	Østersø	M31	19	1999	2021	v GES	0,339	-7,9	0,0035
767 ANT Mytilus edulis SB	Østersø	M39	18	1999	2020	v –	0,072	-11,7	0,0037
767 BAP Mytilus edulis SB	Østersø	M39	18	1999	2020	v GES	0,288	-8,9	0,002
10876 PFOS Platichthys flesus LI	Østersø	MCR230010	5	2011	2021	v GES	1,156	-9,9	0,0224
10901 CU Mytilus edulis SB	Østersø	SIYLSY5001	7	2010	2016	v –	41,062	-81,2	0,0447
822 BAP Mytilus edulis SB	Østersø	STO0102063	8	2008	2016	v GES	0,662	-10,7	0,0286
10904 CU Mytilus edulis SB	Østersø	STO0102065	8	2008	2021	v –	967,455	-9,2	0,0108
10905 CU Mytilus edulis SB	Østersø	STO0201113	7	2008	2018	v –	638,809	-16,3	0,033
10903 PFOS Platichthys flesus LI	Østersø	STO0901017	7	2011	2021	v GES	0,723	-20,3	0,0118
10877 PFOS Platichthys flesus LI	Østersø	STOS39	7	2011	2021	v GES	0,673	-27,2	0,0002

10889 ANT Mytilus edulis SB	Kattegat	FRB65	15	19992021	v -	0,104	-9,4	0,039
10889 BAP Mytilus edulis SB	Kattegat	FRB65	15	19992021	v GES	0,324	-10,1	0,024
10873 SCB6 Mytilus edulis SB	Kattegat	LIM-3718-2	9	20032016	v -	0,873	-7,1	0,0001
10873 ANT Mytilus edulis SB	Kattegat	LIM-3718-2	16	20032021	v -	0,150	-8,0	0,04
431 BAP Mytilus edulis SB	Kattegat	NORM-SkagenFyr	5	20132021	v GES	0,398	-21,0	0,0094
813 BAP Mytilus edulis SB	Kattegat	ROS 60	13	19992016	v GES	0,573	-10,1	0,0145
423 PB Mytilus edulis SB	Kattegat	NORM-DokkedalM	6	20132021	^ Dårlig	264,246	2,9	0,0142
423 CD Mytilus edulis SB	Kattegat	NORM-DokkedalM	6	20132021	^ Dårlig	218,979	8,9	0,0019
10886 CD Mytilus edulis SB	Østersø	ARH170165	20	19982021	^ Dårlig	252,053	1,8	0,0353
10889 HG Mytilus edulis SB	Kattegat	FRB65	16	19982021	^ Dårlig	28,949	8,8	0,0001
10889 CD Mytilus edulis SB	Kattegat	FRB65	16	19982021	^ Dårlig	159,503	2,6	0,0231
10892 HG Mytilus edulis SB	Nordsø	RIB2161010	9	20082021	^ Dårlig	50,343	4,7	0,0266
10892 CD Mytilus edulis SB	Nordsø	RIB2161010	9	20082021	^ Dårlig	389,853	6,1	0,043
10893 CD Mytilus edulis SB	Nordsø	RIB2161022	7	20112021	^ Dårlig	330,208	7,3	0,012
10893 HG Mytilus edulis SB	Nordsø	RIB2161022	7	20112021	^ Dårlig	58,320	11,2	0,0001
10899 HG Mytilus edulis SB	Østersø	ROS1727	9	20082018	^ Dårlig	54,811	5,3	0,0118
10955 FLU Mytilus edulis SB	Østersø	FYN018361	7	20112018	^ GES	7,512	24,3	0,0042

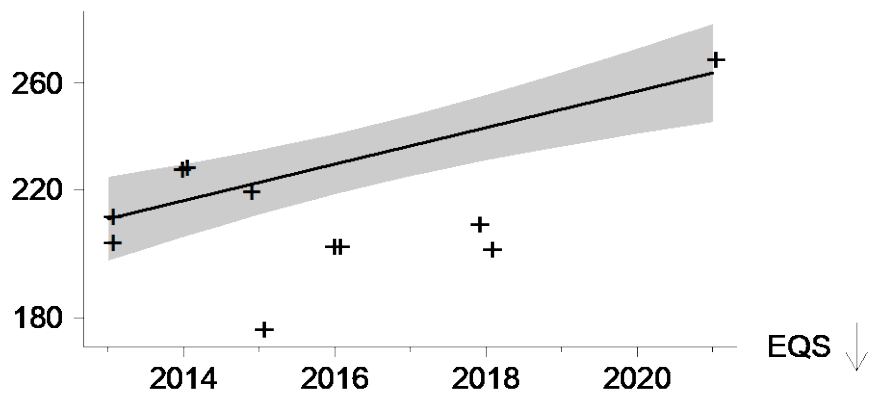
Figur 6.1. Individuelle tidstrends med stigende tidstrends (alle figurer er tilgængelige som download, sorteret efter serie ID fra tabel 6.1). Alle tidstrends findes her: <https://dce2.au.dk/pub/TR286BiotaGraphics.zip>

Lead concentration



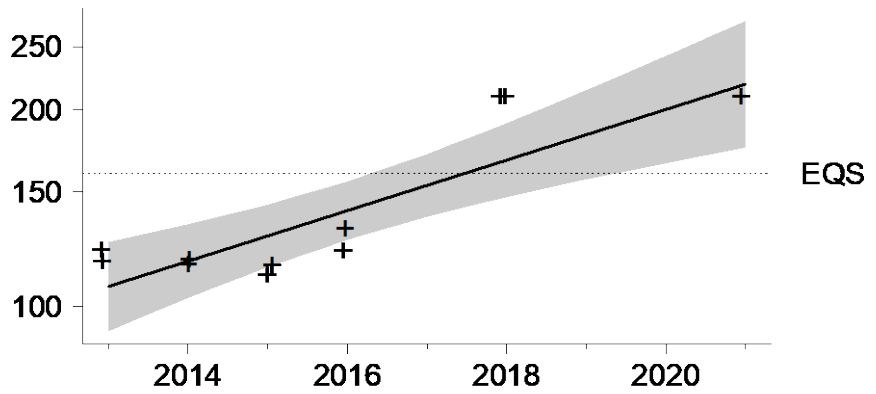
Compartment: Biota (Blue mussel soft body)
 Station: ROS1727 (Koege Bugt Sampling depth 12.5 metres.)
 Units: $\mu\text{g kg}^{-1}$ wet weight
 Data extraction:

Lead concentration



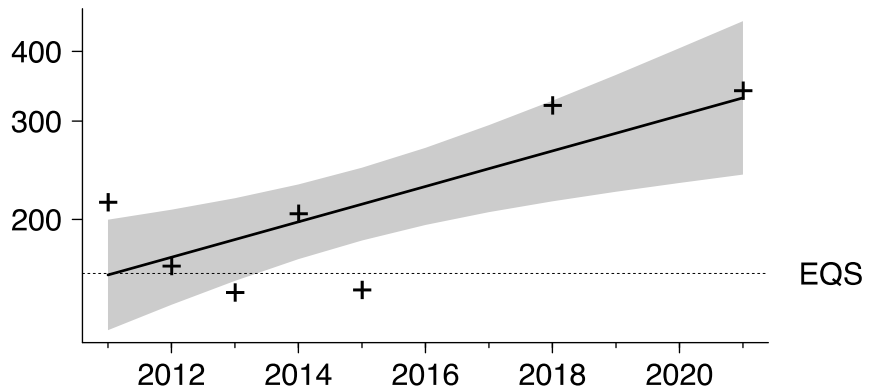
Compartment: Biota (Blue mussel soft body)
 Station: NORM-DokkedalM (Dokkedal Sampling depth 0.5 metres. Kattegat.)
 Units: $\mu\text{g kg}^{-1}$ wet weight
 Data extraction:

Cadmium concentration



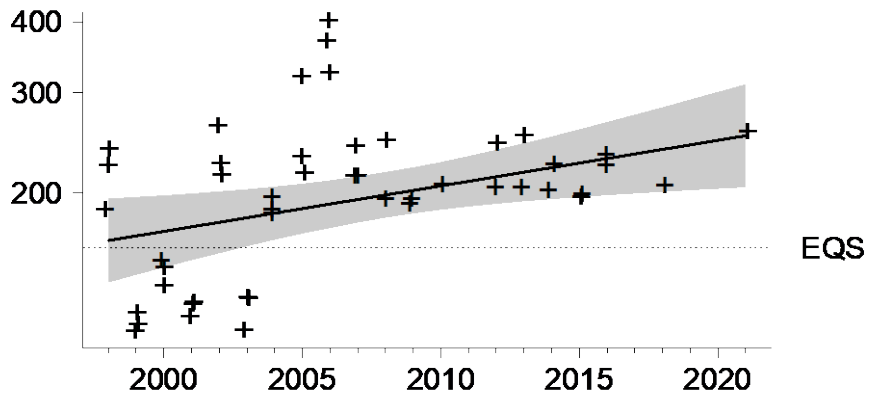
Compartment: Biota (Blue mussel soft body)
 Station: NORM-DokkedalIM (Dokkedal Sampling depth 0.5 metres. Kattegat.)
 Units: µg kg⁻¹ wet weight
 Data extraction:

Cadmium concentration



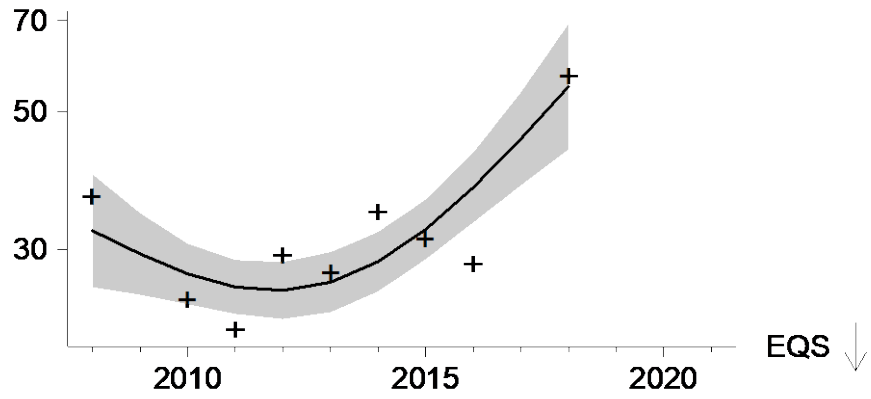
Compartment: Biota (Blue mussel soft body)
 Station: RIB2161022 (Sjølberg Sampling depth 0.0 metres.)
 Units: µg kg⁻¹ wet weight
 Data extraction:

Cadmium concentration



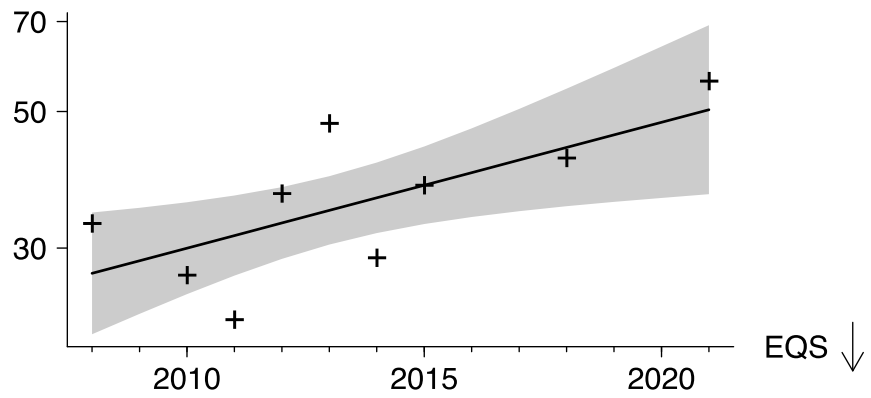
Compartment: Biota (Blue mussel soft body)
 Station: ARH170165 (Bay of Aarhus Close to Aarhus Harbour)
 Units: µg kg⁻¹ wet weight
 Data extraction:

Mercury concentration



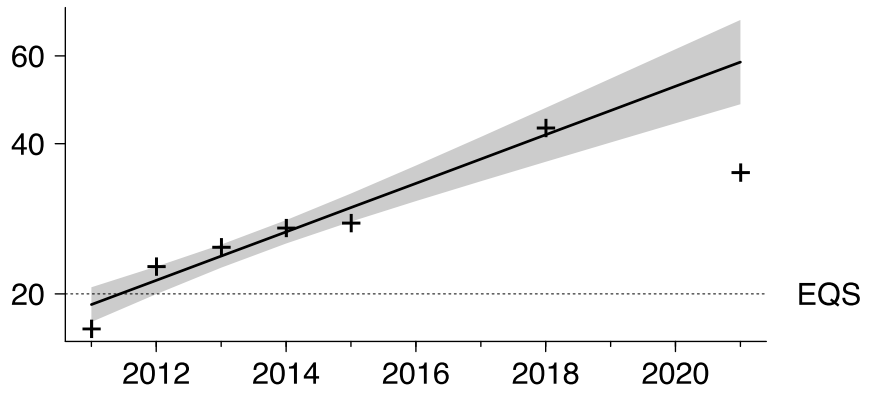
Compartment: Biota (Blue mussel soft body)
Station: ROS1727 (Koege Bugt. Sampling depth 12.5 metres.)
Units: $\mu\text{g kg}^{-1}$ wet weight
Data extraction:

Mercury concentration



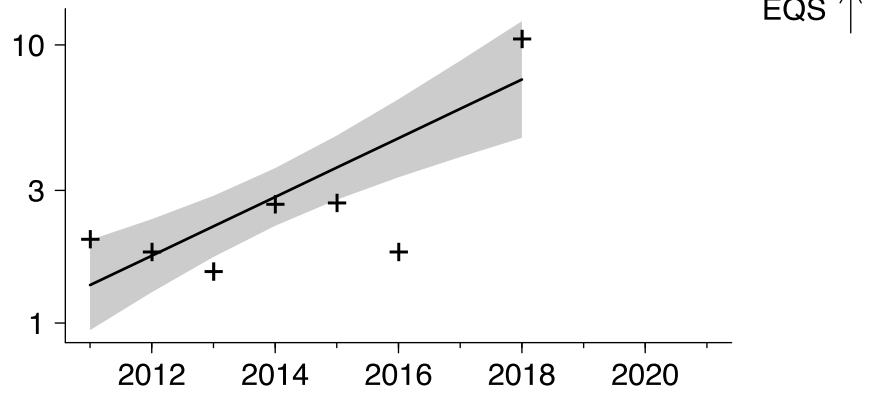
Compartment: Biota (Blue mussel soft body)
Station: RIB2161010 (Halen. Sampling depth 0 metres. Wadden Sea. Halen.)
Units: $\mu\text{g kg}^{-1}$ wet weight
Data extraction:

Mercury concentration



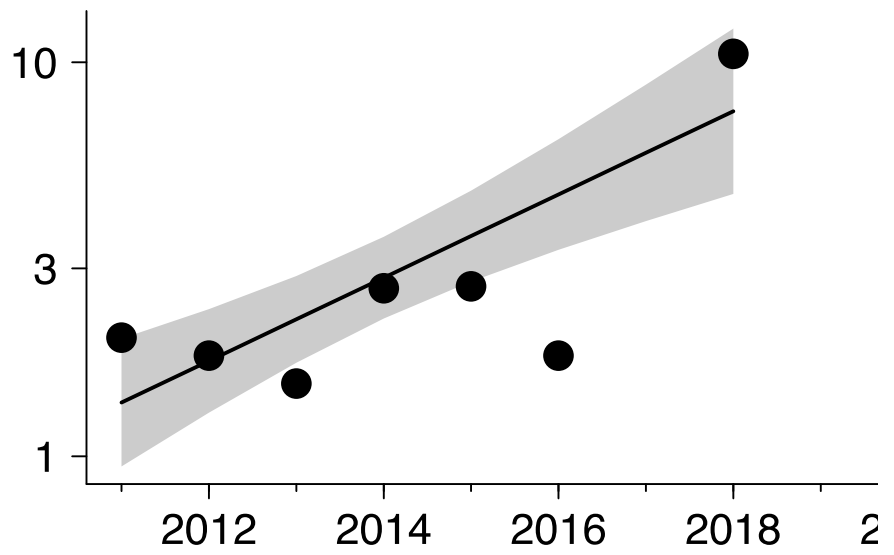
Compartment: Biota (Blue mussel soft body)
Station: RIB2161022 (Sjælborg Sampling depth 0.0 metres.)
Units: $\mu\text{g kg}^{-1}$ wet weight
Data extraction:

Fluoranthene concentration



Compartment: Biota (Blue mussel soft body)
Station: FYN018361 (The South Fyn Archipelago Nakkebølle Fjord)
Units: $\mu\text{g kg}^{-1}$ wet weight
Data extraction:

Fluoranthene concentration



Compartment: Biota (Blue mussel soft body)
Station: FYN018361 (The South Fyn Archipelago Nakkebølle Fjord)
Units : $\mu\text{g kg}^{-1}$ wet weight
Data extraction:

6.3 MFS i Sediment supplerende tabel

Tabel 6.2. Alle sediment stationer, bemærk ingen med mere end 2 års data til trend analyse. Fulde datasæt kan findes her [csv-sediment](#). Figurer for de enkelte kan findes via serie ID'et i figurerne her: <https://dce2.au.dk/pub/TR286SedimentGraphics.zip>

serie	region	Station	# fit	Fra	til	Trend	MI_År	EAC_diff	Klasse
12286 CD SEDTOT	Østersø	ARH142001	1	2016	2016	-	0,47	-1,8	GES
12286 CU SEDTOT	Østersø	ARH142001	1	2016	2016	-	17,64	-12,4	GES
12286 PB SEDTOT	Østersø	ARH142001	1	2016	2016	-	14,50	-105,5	GES
12286 TBSN+ SEDTOT	Østersø	ARH142001	1	2016	2016	-	3,57	2,3	Dårlig
12286 ANT SEDTOT	Østersø	ARH142001	1	2016	2016	-	10,71	5,9	Dårlig
12286 FLU SEDTOT	Østersø	ARH142001	1	2016	2016	-	25,00	-3475,0	GES
10984 CD SEDTOT	Østersø	ARH230444	2	2012	2016	-	0,65	-1,6	GES
10984 CU SEDTOT	Østersø	ARH230444	1	2016	2016	-	18,00	-12,0	GES
10984 PB SEDTOT	Østersø	ARH230444	2	2012	2016	-	45,67	-74,3	GES
10984 TBSN+ SEDTOT	Østersø	ARH230444	2	2012	2016	-	12,35	11,0	Dårlig
10984 ANT SEDTOT	Østersø	ARH230444	2	2012	2016	-	161,90	157,1	Dårlig
10984 FLU SEDTOT	Østersø	ARH230444	2	2012	2016	-	1119,05	-2381,0	GES
11099 CD SEDTOT	Østersø	ARH5790	1	2016	2016	-	1,65	-0,7	GES
11099 CU SEDTOT	Østersø	ARH5790	1	2016	2016	-	37,29	7,3	Dårlig
11099 PB SEDTOT	Østersø	ARH5790	1	2016	2016	-	39,00	-81,0	GES
11099 TBSN+ SEDTOT	Østersø	ARH5790	1	2016	2016	-	3,57	2,3	Dårlig
11099 ANT SEDTOT	Østersø	ARH5790	1	2016	2016	-	24,29	19,5	Dårlig
11099 FLU SEDTOT	Østersø	ARH5790	1	2016	2016	-	127,14	-3372,9	GES
12288 CD SEDTOT	Østersø	FYNKERTS1	1	2016	2016	-	4,97	2,7	Dårlig
12288 CU SEDTOT	Østersø	FYNKERTS1	1	2016	2016	-	32,31	2,3	Dårlig
12288 PB SEDTOT	Østersø	FYNKERTS1	1	2016	2016	-	123,00	3,0	Dårlig
12288 TBSN+ SEDTOT	Østersø	FYNKERTS1	1	2016	2016	-	23,56	22,3	Dårlig
12288 ANT SEDTOT	Østersø	FYNKERTS1	1	2016	2016	-	36,78	32,0	Dårlig
12288 FLU SEDTOT	Østersø	FYNKERTS1	1	2016	2016	-	321,84	-3178,2	GES
410 CD SEDTOT	Østersø	FYNS4	2	2014	2016	-	2,02	-0,3	GES
410 CU SEDTOT	Østersø	FYNS4	2	2014	2016	-	68,52	38,5	Dårlig
410 PB SEDTOT	Østersø	FYNS4	2	2014	2016	-	46,05	-73,9	GES
410 TBSN+ SEDTOT	Østersø	FYNS4	2	2014	2016	-	86,21	84,9	Dårlig
410 ANT SEDTOT	Østersø	FYNS4	2	2014	2016	-	144,83	140,0	Dårlig
410 FLU SEDTOT	Østersø	FYNS4	2	2014	2016	-	206,90	-3293,1	GES
12173 CD SEDTOT	Østersø	MFS0201001	1	2016	2016	-	0,36	-1,9	GES
12173 PB SEDTOT	Østersø	MFS0201001	1	2016	2016	-	9,37	-110,6	GES
12173 TBSN+ SEDTOT	Østersø	MFS0201001	1	2016	2016	-	7,69	6,4	Dårlig
12173 ANT SEDTOT	Østersø	MFS0201001	1	2016	2016	-	23,08	18,3	Dårlig
12173 FLU SEDTOT	Østersø	MFS0201001	1	2016	2016	-	46,15	-3453,8	GES

12337 TBSN+ SEDTOT	Østersø	MFS0201002	1	2016	2016	-	12,20	10,9	Dårlig
12337 ANT SEDTOT	Østersø	MFS0201002	1	2016	2016	-	12,20	7,4	Dårlig
12337 FLU SEDTOT	Østersø	MFS0201002	1	2016	2016	-	36,59	-3463,4	GES
12287 CD SEDTOT	Østersø	MFS0701001	1	2016	2016	-	0,75	-1,6	GES
12287 PB SEDTOT	Østersø	MFS0701001	1	2016	2016	-	25,50	-94,5	GES
12287 TBSN+ SEDTOT	Østersø	MFS0701001	1	2016	2016	-	23,81	22,5	Dårlig
12287 ANT SEDTOT	Østersø	MFS0701001	1	2016	2016	-	71,43	66,6	Dårlig
12287 FLU SEDTOT	Østersø	MFS0701001	1	2016	2016	-	142,86	-3357,1	GES
812 CD SEDTOT	Østersø	VSJ 10006	1	2016	2016	-	2,91	0,6	Dårlig
812 CU SEDTOT	Østersø	VSJ 10006	1	2016	2016	-	41,00	11,0	Dårlig
812 PB SEDTOT	Østersø	VSJ 10006	1	2016	2016	-	128,17	8,2	Dårlig
812 TBSN+ SEDTOT	Østersø	VSJ 10006	1	2016	2016	-	3,10	1,8	Dårlig
812 ANT SEDTOT	Østersø	VSJ 10006	1	2016	2016	-	14,00	9,2	Dårlig
812 FLU SEDTOT	Østersø	VSJ 10006	1	2016	2016	-	130,00	-3370,0	GES
704 CD SEDTOT	Østersø	VSJ10003	1	2016	2016	-	1,41	-0,9	GES
704 CU SEDTOT	Østersø	VSJ10003	1	2016	2016	-	27,44	-2,6	GES
704 PB SEDTOT	Østersø	VSJ10003	1	2016	2016	-	77,87	-42,1	GES
704 TBSN+ SEDTOT	Østersø	VSJ10003	1	2016	2016	-	1,11	-0,2	GES
704 ANT SEDTOT	Østersø	VSJ10003	1	2016	2016	-	13,33	8,5	Dårlig
704 FLU SEDTOT	Østersø	VSJ10003	1	2016	2016	-	122,22	-3377,8	GES
11098 CD SEDTOT	Kattegat	ARH230987	1	2016	2016	-	0,47	-1,8	GES
11098 CU SEDTOT	Kattegat	ARH230987	1	2016	2016	-	17,71	-12,3	GES
11098 PB SEDTOT	Kattegat	ARH230987	1	2016	2016	-	26,60	-93,4	GES
11098 TBSN+ SEDTOT	Kattegat	ARH230987	1	2016	2016	-	3,82	2,5	Dårlig
11098 ANT SEDTOT	Kattegat	ARH230987	1	2016	2016	-	44,12	39,3	Dårlig
11098 FLU SEDTOT	Kattegat	ARH230987	1	2016	2016	-	323,53	-3176,5	GES
478 TBSN+ SEDTOT	Nordsø	DMU 1025	1	2016	2016	-	54,95	53,6	Dårlig
478 ANT SEDTOT	Nordsø	DMU 1025	1	2016	2016	-	109,89	105,1	Dårlig
478 FLU SEDTOT	Nordsø	DMU 1025	1	2016	2016	-	439,56	-3060,4	GES
188 TBSN+ SEDTOT	Nordsø	DMU 1026	1	2016	2016	-	45,45	44,2	Dårlig
188 ANT SEDTOT	Nordsø	DMU 1026	1	2016	2016	-	45,45	40,7	Dårlig
188 FLU SEDTOT	Nordsø	DMU 1026	1	2016	2016	-	181,82	-3318,2	GES
136 PB SEDTOT	Nordsø	DMU 1027	1	2016	2016	-	46,71	-73,3	GES
136 TBSN+ SEDTOT	Nordsø	DMU 1027	1	2016	2016	-	17,24	15,9	Dårlig
136 ANT SEDTOT	Nordsø	DMU 1027	1	2016	2016	-	17,24	12,4	Dårlig
136 FLU SEDTOT	Nordsø	DMU 1027	1	2016	2016	-	103,45	-3396,6	GES
484 TBSN+ SEDTOT	Nordsø	DMU 1044	1	2016	2016	-	64,94	63,6	Dårlig
484 ANT SEDTOT	Nordsø	DMU 1044	1	2016	2016	-	64,94	60,1	Dårlig
484 FLU SEDTOT	Nordsø	DMU 1044	1	2016	2016	-	194,81	-3305,2	GES
486 CU SEDTOT	Nordsø	DMU 1046	1	2016	2016	-	73,59	43,6	Dårlig
486 TBSN+ SEDTOT	Nordsø	DMU 1046	1	2016	2016	-	58,82	57,5	Dårlig
486 ANT SEDTOT	Nordsø	DMU 1046	1	2016	2016	-	117,65	112,8	Dårlig
486 FLU SEDTOT	Nordsø	DMU 1046	1	2016	2016	-	470,59	-3029,4	GES
12334 CU SEDTOT	Nordsø	DMU 1047	1	2016	2016	-	36,87	6,9	Dårlig
12334 PB SEDTOT	Nordsø	DMU 1047	1	2016	2016	-	29,31	-90,7	GES

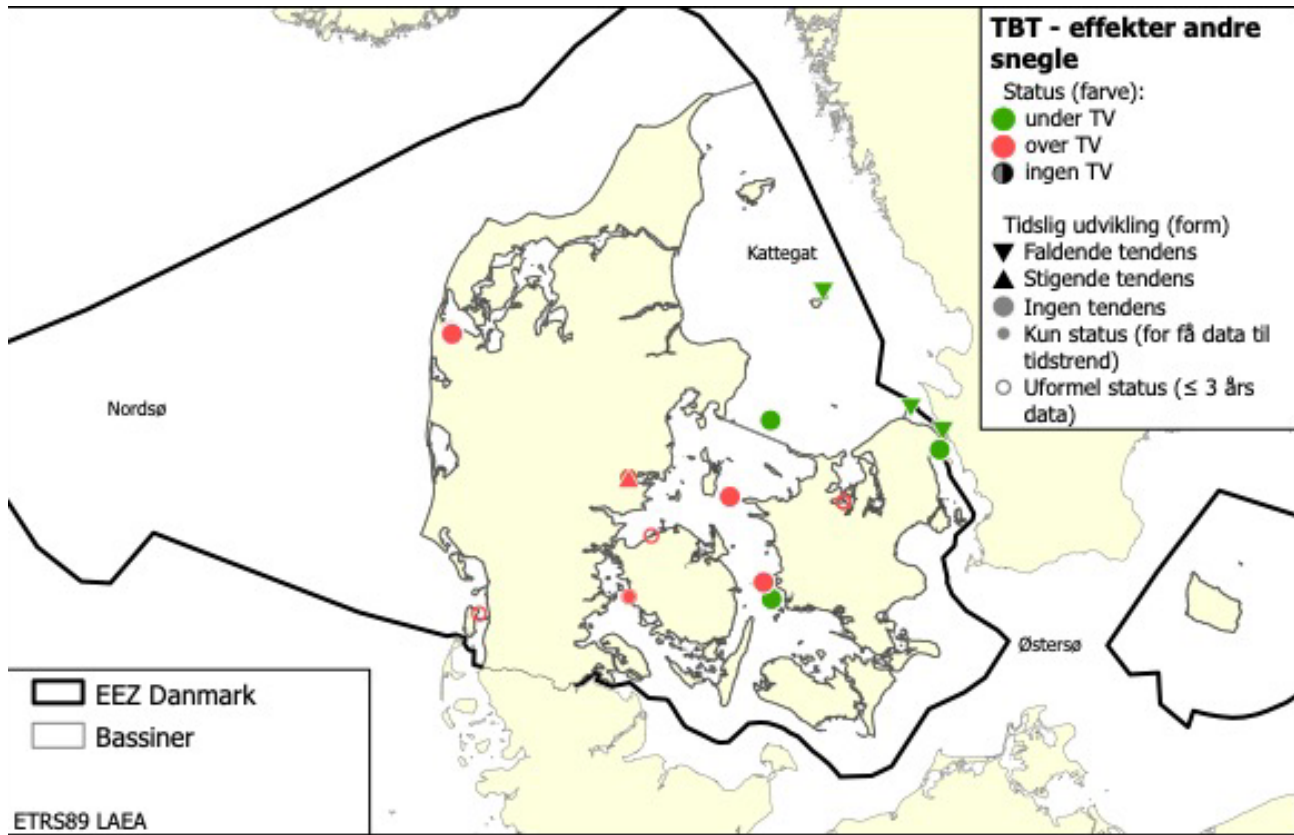
12334 TBSN+ SEDTOT	Nordsø	DMU 1047	1	2016	2016	-	16,13	14,8	Dårlig
12334 ANT SEDTOT	Nordsø	DMU 1047	1	2016	2016	-	64,52	59,7	Dårlig
12334 FLU SEDTOT	Nordsø	DMU 1047	1	2016	2016	-	209,68	-3290,3	GES
12335 TBSN+ SEDTOT	Nordsø	DMU 1048	1	2016	2016	-	31,25	30,0	Dårlig
12335 ANT SEDTOT	Nordsø	DMU 1048	1	2016	2016	-	31,25	26,5	Dårlig
12335 FLU SEDTOT	Nordsø	DMU 1048	1	2016	2016	-	93,75	-3406,3	GES
487 TBSN+ SEDTOT	Nordsø	DMU 1052	1	2016	2016	-	55,56	54,3	Dårlig
487 ANT SEDTOT	Nordsø	DMU 1052	1	2016	2016	-	55,56	50,8	Dårlig
487 FLU SEDTOT	Nordsø	DMU 1052	1	2016	2016	-	166,67	-3333,3	GES
499 TBSN+ SEDTOT	Nordsø	DMU 1072	1	2016	2016	-	55,56	54,3	Dårlig
499 ANT SEDTOT	Nordsø	DMU 1072	1	2016	2016	-	55,56	50,8	Dårlig
499 FLU SEDTOT	Nordsø	DMU 1072	1	2016	2016	-	166,67	-3333,3	GES
514 CU SEDTOT	Nordsø	DMU 1133	1	2016	2016	-	32,55	2,5	Dårlig
514 PB SEDTOT	Nordsø	DMU 1133	1	2016	2016	-	25,50	-94,5	GES
514 TBSN+ SEDTOT	Nordsø	DMU 1133	1	2016	2016	-	22,73	21,4	Dårlig
514 ANT SEDTOT	Nordsø	DMU 1133	1	2016	2016	-	113,64	108,8	Dårlig
514 FLU SEDTOT	Nordsø	DMU 1133	1	2016	2016	-	272,73	-3227,3	GES
593 CD SEDTOT	Nordsø	RIB 2161056	1	2016	2016	-	0,37	-1,9	GES
593 CU SEDTOT	Nordsø	RIB 2161056	1	2016	2016	-	25,73	-4,3	GES
593 PB SEDTOT	Nordsø	RIB 2161056	1	2016	2016	-	43,06	-76,9	GES
593 TBSN+ SEDTOT	Nordsø	RIB 2161056	1	2016	2016	-	2,27	1,0	Dårlig
593 ANT SEDTOT	Nordsø	RIB 2161056	1	2016	2016	-	22,73	17,9	Dårlig
593 FLU SEDTOT	Nordsø	RIB 2161056	1	2016	2016	-	111,36	-3388,6	GES
11094 TBSN+ SEDTOT	Nordsø	RKB-NF21	1	2016	2016	-	13,51	12,2	Dårlig
11094 ANT SEDTOT	Nordsø	RKB-NF21	1	2016	2016	-	54,05	49,3	Dårlig
11094 FLU SEDTOT	Nordsø	RKB-NF21	1	2016	2016	-	108,11	-3391,9	GES
12336 CD SEDTOT	Nordsø	RKB-NF26	1	2016	2016	-	0,87	-1,4	GES
12336 CU SEDTOT	Nordsø	RKB-NF26	1	2016	2016	-	8,45	-21,5	GES
12336 PB SEDTOT	Nordsø	RKB-NF26	1	2016	2016	-	26,60	-93,4	GES
12336 TBSN+ SEDTOT	Nordsø	RKB-NF26	1	2016	2016	-	4,55	3,2	Dårlig
12336 ANT SEDTOT	Nordsø	RKB-NF26	1	2016	2016	-	40,91	36,1	Dårlig
12336 FLU SEDTOT	Nordsø	RKB-NF26	1	2016	2016	-	195,45	-3304,5	GES
648 TBSN+ SEDTOT	Nordsø	SJY JUVD5001	1	2016	2016	-	20,83	19,5	Dårlig
648 ANT SEDTOT	Nordsø	SJY JUVD5001	1	2016	2016	-	41,67	36,9	Dårlig
648 FLU SEDTOT	Nordsø	SJY JUVD5001	1	2016	2016	-	83,33	-3416,7	GES

6.4 Biologiske effekter supplerende figurer og tabeller

Tabel 6.3. Alle sneglestationer med tidstrend, v = faldende trend, ^= stigende trend, – = ikke vurderet (under 4 år med data) og imposex/intersex klasse (bemærk Littorina bedste klasse C). Fulde datasæt findes her: [csv-Imposex](#), Figurer for de enkelte kan findes via serie ID'et. Figurerne kan findes her: https://dce2.au.dk/pub/TR286GraphicsAll_ImposexTBT.zip.

serie	region	Station	# fit	Fra	til	Trend	MI_År	Tids-trend	p-tids-trend	Klasse
733 VDS Buccinum undatum	Østersø	DMU D1	11	1999	1999	-	0,079	0,0543	-0,1109	B
735 VDS Buccinum undatum	Østersø	DMU D13	5	2009	2009	-	0,014	0,4973	-0,1054	B
736 VDS Buccinum undatum	Østersø	DMU D14	5	2009	2009	^	0,118	0,0046	0,752	B
746 VDS Buccinum undatum	Østersø	DMU D2	4	2009	2009	-	0,2	0,5801	0,1333	D
754 VDS Buccinum undatum	Østersø	DMU D4	5	2009	2009	-	0,432	0,5078	0,3097	D
13529 INTS Littorina littorea	Østersø	FYN6101012	1	2008	2020	-	1,1	-	-	E
13531 INTS Littorina littorea	Østersø	FYN6200302	3	2010	2010	-	1,246	-	-	F
13531 VDS Tritia nitida	Østersø	FYN6200302	1	2020	2020	-	4	-	-	-
734 VDS Buccinum undatum	Kattegat	DMU D12	5	2009	2009	-	0,017	0,9895	0,0017	B
756 VDS Neptunea antiqua	Kattegat	DMU D7	3	2009	2009	-	0,167	-	-	C
758 VDS Buccinum undatum	Kattegat	DMU D9	5	2009	2009	v	0,001	0,0253	-0,5706	B
635 INTS Littorina littorea	Kattegat	ROS FRB1993	1	2020	2020	-	0,79365079	-	-	E
635 VDS Tritia nitida	Kattegat	ROS FRB1993	1	2020	2020	-	3,63414634	-	-	-
740 VDS Buccinum undatum	Nordsø	DMU D16	5	2009	2009	^	0,276	0,0047	0,9957	C
740 INTS Littorina littorea	Nordsø	DMU D16	1	2020	2020	-	0,02325581	-	-	C
740 VDS Tritia nitida	Nordsø	DMU D16	1	2020	2020	-	0,82608696	-	-	-
13525 INTS Littorina littorea	Nordsø	LIM-MSLEM4	5	2007	2007	-	0,409	0,5174	-0,0849	F
13525 VDS Tritia nitida	Nordsø	LIM-MSLEM4	2	2013	2013	-	2,9047619	-	-	-
626 INTS Littorina littorea	Nordsø	RKB MSLEM2	4	2009	2009	-	0,066	0,1806	-0,2296	E
626 VDS Tritia nitida	Nordsø	RKB MSLEM2	5	2007	2007	-	0,301	0,1098	-0,1857	-
648 INTS Littorina littorea	Nordsø	SJY JUVD5001	1	2008	2020	-	0,3	-	-	D

Figur 6.2. Kort for de "ikke så følsomme" snegle arter konk og strandsnegl, og er på grund af den lavere følsomhed kun relevant til at følge



Figur 6.3. Tidstrend for Intersex og imposex i *Buccinum undatum* (konk) og *Littorina littorea* (strandsnegl), som ikke er følsomme nok til at dokumentere GES med god sikkerhed, især ikke Strandsneglen der typisk indsamle på havnemøler og hvis følsomhed ikke er god nok til at dokumentere værdier under GES.

VURDERING AF TILSTANDEN I DANSKE HAVOMRÅDER FOR HAVSTRATEGI D8

Denne rapport giver baggrunden for basisanalysen for havstrategi III i Danmark ift. indikator D8: miljøfarlige forurenende stoffer, baseret på data anvendt af OSPAR til deres kvalitetsstatus rapport QSR 2023 og HELCOM til deres HOLAS 3 holistiske assessment, med værktøjet Hazardous Substance Tool. For at harmonisere resultaterne fra de danske farvandsområder anvendes HELCOMs indikatorværdier, der stemmer overens med de danske miljøkvalitetskrav. Udover tærskelværdier (TV baseret på EQS) og relaterede værdier for miljøfarlige stoffer er HELCOMs indikatorer for radioaktive stoffer (137Cs) og biologiske effekter behandlet. De fleste resultater svarer til HELCOMs HOLAS 3 vurderinger, men HELCOM har medtaget flere kystnære områder og vurderet dem individuelt, hvor denne rapport fokuserer på den samlede tilstand af Nordsøen (OSPAR-område), Kattegat (HELCOM og OSPAR-område) og Østersøen (HELCOM område). Værktøjet indikerer ikke-opnåelse af god miljøtilstand (GES) for indikatorerne Cd, Pb, Hg, ΣPBDE, og anthracen i sediment udviser generelt ikke-opnåelse af god miljømæssig tilstand (GES), hvilket svarer til udkommet i HELCOMs assessment, hvorimod OSPARs alternative indikatorværdier ikke er helt sammenlignelige med HELCOM og denne rapport, især for ΣPBDE.