PFAS overvågning i det danske marine miljø

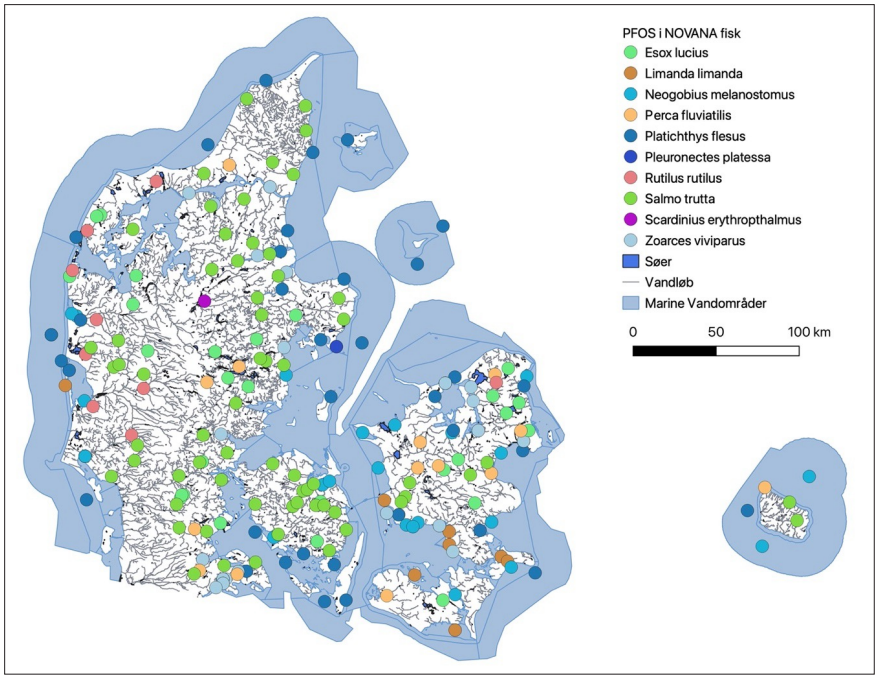
Selvom per- og polyfluorerede alkylstoffer (PFAS) har været undersøgt i en årrække, blev PFOS et stof alle danskere lærte at kende i 2021, for sin forurening af køer i et ko-laug ved Korsør, som havde græsset ved Korsør brandskole. Siden har PFAS været på den nationale og internationale dagsorden som et alvorligt miljøproblem. Hvordan er situationen i dag, og hvad viser miljøovervågningsdata?

Martin M. Larsen, Rossana Bossi & Katrin Vorkamp

Introduktion

Per- og polyfluorerede alkylstoffer (PFAS) har haft en bred anvendelse i industri og husholdningsprodukter, som fx imprægneringsmiddel til tøj og sko eller pander, da de både kan afvise olie og vand. De fleste PFAS er svære at nedbryde og ophobes derfor i naturen. I starten af det nye årtusind stod det klart, at PFAS var blevet til et globalt miljøproblem /1/. De første undersøgelser koncentrerede sig om perfluoroktansulfonat (PFOS) og perfluoroktansyre (PFOA) (Boks 1). I Danmark viste den første screeningsundersøgelse i 2005 /2, 3/, at PFAS, især PFOS og PFOA fra renseanlæg, kunne udgøre en trussel for vandmiljøet. Stoffer som PFOS og PFOA kunne nogle gange findes i højere koncentrationer i udløbene end i indløb pga. omdannelse af andre PFAS til disse svært nedbrydelige stoffer. Koncentrationerne i marine og ferskvandsfisk var højere end den daværende grænseværdi på 17 μg/kg vådvægt, med 10 – 156 μg/kg i marine fladfisk og 14 – 71 μg/kg i ferskvandsfisk. EU fastlagde i 2008 det nu gældende miljøkvalitetskrav (Environmental Quality Standard EQS) på 9,1 μg/kg vådvægt for fiskemuskel /4/.

PFAS i fiskelever blev tilføjet til NOVANA-overvågningen for det marine miljø i 2011, vandløb i 2017 og søer i 2019. Som de øvrige bioakkumulerende organiske stoffer analyseres de i fisk, da det giver indikation af biologisk aktive mængder og en middelværdi over længere tid fremfor spot-målinger med vandprøver. En af forskellene på PFAS og andre bioakkumulérbare stoffer som bromerede flammehæmmere og chlorerede pesticider er, at de er meget mere vandopløselige. I biologiske matricer binder de sig til proteiner og ikke til fedtvævet. Dataene for PFAS er hvert år rapporteret i NOVANA-rapporter.



Figur 1. Overvågningsprogram for forskellige fiskearter i NOVANA for marine fisk 2011-2020 (blå symboler, Negobius=sortmundet kutling, Platichtys = skrubber, Pleuronectes = rødspætter og Zoarces=ålekvabber) og ferske fisk 2016-2020 (grønne og rødlige nuancer fortrinsvis aborre fra søer og ørred fra vandløb)

Som følge af PFAS-problematikkens omfang blev der samtidig iværksat en række undersøgelser af PFAS i vandløbs- og marint vand i 2021-2022, og fra renseanlæg findes også data, som kan bruges til at estimere bidraget til de marine områder i Danmark. I projektet Rent Hav For Alle har vi i samarbejdet med Rådet for Grøn Omstilling, finansieret af Velux fonden, regnet på tilførslerne af PFOS til danske farvande fra renseanlæg og vandløb, for at sammenligne de danske bidrag med Østersøens totale bidrag.

Tilførsler af PFAS til Østersøen

I Østersøsamarbejdet er viden om PFAS i havmiljøet gennemgået i /5/, hvor PFOS-bidraget fra renseanlæg til hele Østersøen blev vurderet til 44 kg/år baseret på person ækvivalenter for renseanlæg (studie fra 2013), eller 33,7 kg/år for Sverige, Finland og Estland baseret på 1,2-2,2 mg/person/år og befolkningspopulationen (studie fra 2019). EU projektet COHIBA's bud fra 2012 på 100

$$Total\ [kg/år] = \sum_{anlægstyper} \frac{\sum V_{anlægstypen}}{\sum_{med\ C} V_{anlægstypen}} \times \frac{1}{n_{anlægstype}} \sum_{årstal,sæson} \left(C_{anlægstype,årstal,sæson\ [\frac{\mu g}{kg}]} \times V_{anlægstype,årstal,sæson\ [\frac{1000m^3}{år}]}\right)$$

Formel 1: Beregning af total sum for alle rensetyper, baseret på sæson og år hvor der findes data for vandføring (V) og målt PFOS koncentration (C).

kg/år er også angivet i /5/. En opfølgende opgørelse af udledninger fra renseanlæg omkring Østersøen /6/ vurderede, at bidraget af PFOS fra renseanlæg til hele Østersøen er 19 kg/år baseret på medianværdier, med 25-75% percentilerne på 8-38 kg/år, noget lavere end estimaterne fra /5/. Opgørelsen inkluderer bidrag fra danske renseanlæg fra Miljøstyrelsens PULS database for 2010-2019. For summen af PFOS, PFOA, perfluorhexansyre (PFHxA) og perfluordecansyre (PFDA) er der ældre opgørelser på omkring 300 kg/år rapporteret i /5/, hvorimod /6/ beregner median udledninger for summen af de 4 PFAS'er til 81 (47-141) kg/år til Kattegat og Østersøen.

Tilførsel fra luften til Østersøen beregnes i /5/ til mellem 13 og 444 kg/år i 2015-2016, og 89-2074 kg/år i 2007-2008. Opskalering af tilførsler fra floder i /5/ giver 876-952 kg (2005-2008), hvorimod nyere estimater fra Finland og Sverige (2013-2017) finder 115-121 kg/år. Til sammenligning estimeres alene brandslukningsskums udledningen af PFOS fra svenske lufthavne frem til et forbud mod anvendelsen i skum fra 2011, at have bidraget med 1000-3500 kg/år.

Estimat af tilførsler fra renseanlæg til danske farvande

For at regne på de danske renseanlægs udledning til både Østersøen og Nordsøen er PULS data fra i alt 642 udledningspunkter for 2016-2021 gennemgået, hvor der er målt for PFAS på 165 avancerede renseanlæg (med mindst både mekanisk og biologisk rensning), og 95 "simple" rensetyper. Heraf er der målt PFOS over detektionsgrænsen i 171 observationer, fordelt på 70 individuelle renseanlæg. PFOS er målt på i alt 14 forskellige rensetyper, og de 4 største rensetypers bidrag er vist i tabel 1, sammen med summen af alle 14 rensetyper. Renseanlæg hvor der ikke er målbare PFOS koncentrationer indgår ikke i beregningerne, da detektionsgrænserne varierer mellem anlæggene. Bidragene er herefter skaleret til hele landet ud fra formel 1, baseret på vandføringen x middelkoncentrationen, opgjort pr. år og sæson. For 10 anlæg er der målt i mindst 4 år/sæsoner med en middel relativ standard afvigelse på 55±25%, hvilket indikerer en rimelig år til år/sæson til sæson variation, dog er der flere høje værdier i forår og sommer end vinter og efterår. Der er fortrinsvis målt PFAS på de største avancerede anlæg, så der kan være en bias fx på MBNDKF-anlæggene (tabel 1) hvor der kun er målt på 3 af 26 af anlæggene, men vandføringen er meget højere så de står for ca. 50% af volumenet for denne rensetype. De større avancerede anlæg ligger typisk ved storbyer eller områder med meget industri, som kan give en højere koncentration i indløbene end for mindre renseanlæg. De mindre avancerede (mekaniske) anlæg bruges typisk i tyndtbefolkede områder med mindre vandføring og måske også lavere koncentrationer i indløb. Middel vandføringerne dækker over store variationer mellem renseanlæggene indenfor hver type og mellem år og sæsoner, med en faktor 2-16 mellem højeste og laveste vandføring, samme niveau som variationen mellem middel og maksimum PFOS udledningen pr. dag indenfor rensetyperne. For alle er angivet udledningen baseret på middel mg PFOS pr. dag og den maksimale PFOS udledning, både fra de anlæg, hvor der findes målinger og skaleret til hele landet ud fra vandføringen (dvs. antagende at alle anlæg har samme middel koncentration, hvilket sandsynligvis er overestimeret).

Sammenlagt giver det forventet udledning fra renseanlæg på ca 6 kg/år (tabel 1), hvoraf noget tilføres direkte til marine områder og andet til vandløb, før det kommer ud i det marine miljø. Dette virker som et realistisk estimat for danske renseanlæg i forhold til skønnene på 19-44 kg/år fra /5, 6/, da de største danske renseanlæg alle ligger ud til Østersø/Kattegat. Udledningen fra målte anlæg på 2 kg/år er nok den nedre grænse for hvad der kommer fra danske renseanlæg. Der vil være størst effekt på reduktion af tilførslerne fra renseanlæg hvis de målrettes de store avancerede renseanlæg, selvom de ikke nødvendigvis har de højeste koncentrationer af PFOS, men bare meget større vandføring end tyndtbefolkede områder.

Estimat af tilførsler til danske farvande fra vandløb

I 2021 og 2022 blev der målt et stort antal prøver (~2800) for PFAS i vandløb og kystnære marine stationer, som summen af 4 PFAS'er (PFOS, PFOA, perfluorhexansulfonat (PFHxS) og perfluornonansyre (PFNA)). Prøverne dækker 40 af 49 oplander i Danmark, men de 40 oplande repræsenterer ~97% (41580 af 43041 km²)af Danmarks areal og ca. det samme af median afstrømningen til de marine områder, så prøverne bør være repræsentative for den samlede udledning direkte til havet og via vandløb. Det er ikke alle vandløb der er målt i, og ikke nødvendigvis tæt på udløbene til havet, er middelværdien af de 4 PFAS'er i hvert af de 40 oplande er brugt som estimat på den generelle vandløbskoncentration. Der ses en relativ standard afvigelsepå PFOS koncentrationerne indenfor vandløb af størrelsesordenen 50%, men imellem vandløbene indenfor de enkelte oplande er den noget højere (175% i gennemsnit). Da der er stor forskel på afstrømningen fra år til år, er medianen for afstrømning mellem 1990 og 2020 anvendt som basis for opgørelsen. Der ses en relativ standard afvigelse på 27% i gennemsnit mellem de 30 års opgørelser, men op til en faktor 3,5 mellem den laveste afstrømning og median afstrømningen. Opgørelsen for summen af de 40 områder og de 10 vandområder med største bidrag er vist i tabel 2.

De to største bidrag til PFAS-udledningen er Hellegård/Vium Mølle Å systemet der løber

Boks 1 Per- og polyfluorerede alkylstoffer (PFAS)

PFAS består af en vandskyende kulstofkæde (alkylkæde) (grønne del), hvor der sidder fluoratomer i stedet for brint. Længden af kulstofkæden angives med tredje bogstav i de fleste akronymer (O i "PFOS" for oktan = 8 kulstof), fulgt af bogstaver der angiver den funktionelle gruppe for enden af alkylkæden, som er den hydrofile del af molekylet (blå del) (S= sulfonat, A= acid (syre)). I et foreslået miljøkvalitetskrav for 24 PFAS'er (∑24PFAS) anvendes en relativ potens faktor (RPF), der angiver stoffernes giftighed i forhold til PFOA (angivet i sidste kolonne). Eksempler på PFAS stoffer og deres RPF:

PFOS (perfluoroktansulfonat)	CF_3-CF_2-CF_2-CF_2-CF_2-CF_2-CF_2-CF_2-SO_2OH	*RPF 2*
PFOA (perfluoroktansyre)	CF_3-CF_2-CF_2-CF_2-CF_2-CF_2-CF_2-COOH	*RPF 1*
PFNA (perfluornonansyre)	CF_3-CF_2-CF_2-CF_2-CF_2-CF_2-CF_2-CF_2-COOH	*RPF 10*
PFHxS (perfluorhexansulfonat)	CF_3-CF_2-CF_2-CF_2-CF_2-CF_2-CF_2-CF_2-SO_2OH	*RPF 0,6*
Meget små PFAS fx		Ikke i
TFA (trifluoreddikesyre)	CF_3-COOH (*fx Propulse SE 250*)	∑24PFAS

Tabel 1. Bidrag fra de 4 rensetyper med størst udledning, samt simpel mekanisk rensning. Antal anlæg med målt PFOS koncentration og alle ($n_{målte}/n_{alle}$) samt den gennemsnitlige målte vandføring $V_{med\ data}$ for rensetypen med PFOS-koncentrationer over detektionsgrænsen, og den gennemsnitlige vandføring for alle renseanlæg af rensetypen, V_{alle}. De 4 rensetyper dækker ~73% af renseanlæg med detekterbar PFOS og ~97% af den samlede beregnede udledning. Intervallerne viser beregning baseret på gennemsnitskoncentrationer og maksimum koncentrationer fra renseanlæggene. Rensetype akronymerne er sammensat af M=mekanisk, B=biologisk, N=nitrifikation, D=denitrifikation, K=kemisk, F=filter, L= lagune, S=sandfilter.

RENSETYPE	MIDDEL – MAKS.	$N_{MÅLTE}/N_{ALLE}$	MIDDEL $V_{MED\ DATA}$	MIDDEL V_{ALLE}	UDLEDNING FRA MÅLTE	DK SKALERET
	[mg/dag]	[antal]	[m³/dag]	[m³/dag]	[kg/år]	[kg/år]
MBNDK	129 – 2092	35/237	53000	11400	1,6 – 27	5,2 – 85
MBNDKF	99 – 271	3/26	11500	5400	0,11 – 0,3	0,2 – 0,55
MBNDKS	27 – 92	3/5	1500	9600	0,03 – 0,1	0,31 – 1,1
MBNDKL	5 – 19	4/33	3400	2600	0,01 – 0,03	0,05 – 0,17
M	0,2 – 1,9	6/35	63	68	0 – 0	0 – 0,03
∑ 14 TYPER	-	70/506	8600	3150	1,8 – 27	5,9 – 87

ud i Kattegat, hvor der er en middelkoncentration på 172 ng/l (59-530 ng/l), som dog bliver fortyndet af vandløbssystemerne Gerå, Tranumå og Solbjerg Å med 100 gange lavere koncentrationer. Hvis de høje værdier beregnes ud fra et bidrag til PFAS afstrømningen på 0,7% til området, falder bidraget til Kattegat Aalborg Bugt nord fra 16,8 til 0,3 kg/år, og bidraget fra Hellegård/Vium Mølle Å er 4,2 kg og dermed et mere realistisk samlet bidrag fra vandløb på 38 kg/år til danske farvande men stadig 11% fra dette ene vandløbssystem. Da alle resultaterne er forhøjede, tyder det på en lokal forurening af Hellegård/Vium Mølle Å, der bør undersøges nærmere. Det viser samtidig, at særligt forurenede vandløb skal behandles for sig i denne type opgørelser for at få et retvisende billede af udledningen til havet. For Vadehavet er det høje målinger fra især mindre grøfter, Søvig Bæk, Varde Å og Ribe Å, der trækker gennemsnittet af ∑4PFAS-koncentrationerne op, men det er samtidig de største afstrømninger, så her vurderes tallet at være realistisk.

For at få et bedre estimat af tilførslerne skal afstrømningen modelleres, ligesom det skal bemærkes at mange renseanlæg leder ud til vandløb, så udledningerne herfra indgår også i vandløbsopgørelsen. I gennemsnit er de direkte udledningers bidrag til afstrømningen 5%, men kan være omkring 25% i enkelte oplande (Øresund syd og Vigsø Bugt), helt op til over 50% for Øresund Nord. De 38 kg /år af 4 PFAS fra Danske vandløb er dog i samme boldgade som de seneste Svensk-Finske opgørelser på 115-121 kg PFOS/år via ferskvandsafstrømning /5/.

Tabel 2. PFAS-afstrømning for de 10 mest bidragende vandområder (~50% af afstrømningen til det danske marine område). #: Resultater fra Hellegård/Vium Mølle Å systemet tages ud af marinreference 38 og regnes for sig. For Hellegård/Vium Mølle Å, fås middelkoncentration på 172 ng/l, svarende til 4,2 kg PFAS/år. Hvis middelværdien for alle vandløb i området anvendes fås en middel koncentration på 87,9 ng/l med udledning på 16,8 kg/år eller ca 1/3 af den samlede danske PFOS udledning til Aalborg Bugt,se teksten.

MARIN REFERENCE	MARINT OMRÅDE	# PFAS MÅLINGER	MIDDEL ∑4PFAS NG/L	MEDIAN AFSTRØMNING 1000 M³/ÅR	MEDIAN ∑4PFAS KG/ÅR
∑40 MAR. REF.	**~95% af DK**	**2791**	**4,7**	**13.889.465**	**38**
38	Kattegat, Aalborg Bugt, nord	99	1,7	191.277	0,3+4,2#
16	Vadehavet	286	3,5	2.496.860	8,76
13	Nordsøen, Vedersø-Nymindegab	298	2,2	1.704.177	3,68
12	Nordsøen, Thyborøn-Vedersø	171	4,4	800.062	3,51
37	Limfjorden	143	1,1	2.665.994	2,81
32	Isefjord og Roskilde Fjord	529	7,3	356.228	2,58
72	Øresund, nord	25	10,8	209.052	2,25
51	Lillebælt, nord	23	4,6	407.229	1,87
22	Skagerrak, Jammerbugten	14	7,5	158.020	1,19
35	Kattegat, Hevring Bugt	89	0,8	1.194.465	0,96
62	Småvands-farvandet, vest	134	2,1	435.834	0,91

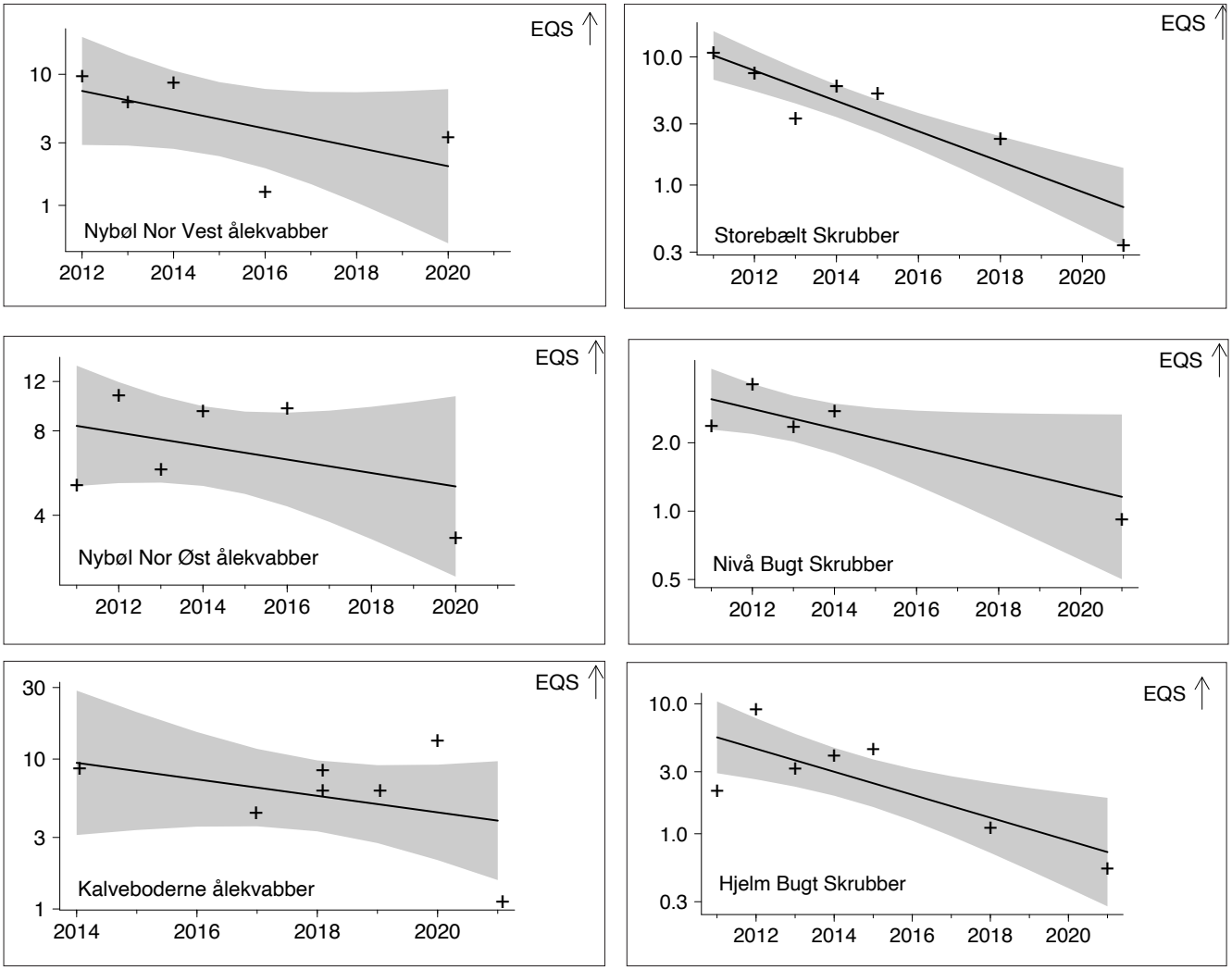
Tidslig udvikling i de marine områder

Stationerne i det marine NOVANA og i ferskvandsprogrammerne for sø og vandløb er vist i figur 1. Igennem hele forløbet er resultaterne blevet sammenholdt med en miljøkvalitetskrav fra EU's Vandrammedirektiv PFOS på 9,1 µg/kg vådvægt (baseret på fiskemuskel, til beskyttelse af mennesker ved fiskeindtag). PFOS er fundet i alle prøver over detektionsgrænsen, og perfluoroktansyre (PFOA) er fundet i hovedparten af prøverne, men de er målt i fiskelever. Der er fastlagt omregningsfaktorer mellem lever og muskel på en faktor 10, så den tilsvarende grænseværdi for PFOS i fiskelever vil være ca. 91 µg/kg levervådvægt /6/. Tabel 3 opsummere percentilerne for marine fisk, søfisk og vandløbsfisk. De fleste ferskvandsfisk (>90%) er aborre (*Perca fluviatilis*) og ørreder (*Salmo trutta*), mens det marine program omfatter skrubber (*Platichtys flesus*), ålekvabber (*Zoarces viviparus*) og sortmundet kutling (*Neogobius melanostomus*). For nogle stationer er der taget prøver årligt eller næsten årligt, så det har været muligt at etablere tidstrends for PFOS (Figur 2).

Resultaterne indikerer, at PFOS-koncentrationerne er faldende i det marine miljø sandsynligvis en effekt af forbuddet mod PFOS. Området omkring Korsør har i mange år haft en marin tidstrend station ved Agersø (Storebælt), som viser en faldende tendens (figur 2), ligesom prøver andre steder i Østersøen og Bælthavet (Nybøl Nor ud til Flensborg Fjord, Nivå Bugt, Hjelm Bugt og Kalveboderne ved Hvidovre Havn).

Ny viden og revision af grænseværdierne

Der arbejdes på EU-plan med at få fastlagt



Figur 2. Tidsmæssig udvikling af PFOS i leverkoncentrationerne af fisk (µg /kg vådvægt), for ålekvabber ved Nybol Nor (vest og øst) og Kalvebod (øverst) og skrubber fra Storebælt, Nivå Bugt og Hjelm Bugt (nederst). De enkelte datapunkter er årsværdien, stregen er tendenslinjen og det grå felt 95% konfidensintervallet /7/. Generelt observeres et årligt fald på ca. 14% i koncentrationen af PFOS pr. år for Østersøen fra 2011 til 2021.

nye miljøkvalitetsgrænser for den kommende revision af Vandrammedirektivet, baseret på en vægtet sum af 24 individuelle PFAS med deres relative potentielle giftighed (RPF i tabel 1). Otte af ∑24PFAS har et større giftighedspotentiale end PFOA, med en RPF mellem 1,3 (for perfluorheptansulfonat (PFHpS)) og 10 (for PFNA), mens de øvrige 15 stoffer er mindre giftige end PFOA. PFOS vurderes at være dobbelt så giftig som PFOA (RPF på 2). Den foreslåede EQS ∑24PFAS er 0,077 µg/kg, dvs. en faktor 236 lavere end den aktuelle PFOS EQS-værdi på 9,1 µg/kg. Det skyldes især, at den Europæiske Fødevaresikkerhedsautoritet (EFSA) nedsatte grænseværdien for sikkert ugentligt indtag dramatisk i 2020. Hvis man tager hensyn til at PFOS kun udgør ca. 50% af giftvirkningen for summen i søfisk, og ca 2/3 i vandløbsfisk, vil den nye grænseværdi være op til 500 gange mere restriktiv. Omregnes den foreslåede RPF-baserede grænseværdi til lever med PFOS som 50% af ∑24PFAS fås en PFOS-grænse på 0,39 µg/kg vådvægt. Sammenlignet med denne grænse, vil der kun være 9% af de 427 fiskeprøver, der er målt siden 2011, hvoraf 1% var under detektionsgrænsen, der overholder EQS-værdien, mens der tidligere kun er set én overskridelser af den gamle EQS-værdi omregnet til lever. Hvis PFAS fortsat reduceres med 14% om året vil den gennemsnitlige marine fisk være under grænseværdien omkring 2027, mens vandløbsfisk først når ned på grænseværdien i 2033 – forudsat faldet på 14% per år for marine fisk i Østersøen også gælder for ferskvandsfisk og andre marine områder, og før effekten af de øvrige 23 PFAS på ∑24PFAS er medregnet (hvilket vil udskyde opfyldelsen til 2031 –2038). Beregningen er dog baseret på mange antagelser med tilhørende usikkerheder og kan også blive påvirket af nye indsatser til at nedbringe PFAS-udledninger til vandmiljøet.

Hvordan komme vi videre?

Der er iværksat en række undersøgelser, udover dem, der allerede indgår i NOVANA overvågningen, brandslukningsøvelsespladser er kortlagt, og der er analyseret en række jordprøver, som viser forhøjede koncentrationer. På landsiden er optaget i terrestriske fødekæder et relevant spørgsmål. Grundvandets PFAS-indhold er også blevet kortlagt, med indikation af forhøjede koncentrationer flere steder. Videnshuller i forhold til PFAS-problematikken i Danmark er for nylig blevet beskrevet af en PFAS Videnstaskforce /8/ og vil blive adresseret i målrettede projekter i 2024. PFAS Videnstaskforcen vil fortsætte sit arbejde med at sammendrage relevant forskning til anbefalinger for indsatsområder til at reducere PFAS-eksponeringen for mennesker og miljøet i Danmark. På EU-plan har Danmark, Norge, Sverige, Tyskland og Holland fremsat et forslag til en omfattende PFAS-anvendelsesrestriktion, som p.t. behandles af den Europæiske Kemikalieagentur (ECHA). Desuden behandler de Forenede Nationer et forslag til en global regulering af langkædede perfluorcarbonsyrer (ud over de allerede

Tabel 3. Middelværdi, standardafvigelse, minimum- og maksimum-koncentrationer (µg/kg vådvægt) i fiskelever fra ferskvands- og marine fisk fra NOVANA stationer pr år. Der er ingen data fra søer før 2019 og vandløb før 2017. Det er ikke de samme stationer der er målt hvert år, ligesom antallet af stationer varierer med hhv. 5–29 stationer/år for marine områder, 7–18 for søer og 5 – 75 for vandløb (prøver fra PFOS screeninger medtaget).

	MARINE FISK		SØFISK		VANDLØBS-FISK	
ÅR	Middel ± sd	min–max	Middel ± sd	min-max	Middel±sd	min–max
2011	7,5 ± 3,9	2,1 – 13,5				
2012	8,6 ± 3,5	1,3 – 14,7				
2013	6,7 ± 4,2	1,4 – 15				
2014	9,5 ± 6,6	2,7 – 26				
2015	7,4 ± 4,9	4,5 – 16,1				
2016	6,2 ± 5,3	0,5 – 16,5				
2017	5,6 ± 5,2	0,1 – 20,7			50,4 ± 18,5	20,4 – 74
2018	3,2 ± 2,8	0,3 – 10,9			5,6 ± 3,6	1,8 – 11,3
2019	3,6 ± 2,3	0,7 – 8,3	27,4 ± 44	2,9 – 184	7,5 ± 4,9	2 – 16,1
2020	2,4 ± 1,5	0,6 – 5,6	17,2 ± 9,1	2,3 – 31	8,5 ± 7,9	1,3 – 51,6
2021	0,5 ± 0,3	0,2 – 1,1	2 ± 1,5	0,8 – 6,1	3,1 ± 2,5	0,2 – 12,1
2022	0,5 ± 0,3	0,2 – 1	1,4 ± 1,9	0,1 – 6	1,4 ± 2,3	0,1 – 11,5

regulerede enkeltstoffer PFOS, PFOA og PFHxS) under Stockholm Konventionen. En stor del af PFAS forureningen kommer udefra, både produktion i fjernøsten og Europæisk forbrug, så der skal gribes ind internationalt.

Referencer

/1/ Vorkamp, K.; Dam, M.; Riget, F. F., Fauser P, Bossi, R., Hansen, A.B. 2004: Screening of "new" contaminants in the marine environment of Greenland and the Faroe Islands. National Environmental Research Institute,. 105 s. (NERI Technical Report, Bind 525).

/2/ Strand, J., Bossi, R., Sortkjær, O., Landkildehus, F. & Larsen, M.M. 2007: PFAS og organotin- forbindelser i punktkilder og det akvatiske miljø. NOVANA screeningsundersøgelse. Danmarks Miljøundersøgelser. 49 s. – Faglig rapport fra DMU nr. 608.

/3/ Bossi, R.; Strand, J.; Sortkjær, O., Larsen, M.M. 2008: Perfluoroalkyl compounds in Danish wastewater treatment plants and aquatic environment. Environment International, Bind 34, Nr. 4, s. 443-450.

/4/ Larsen, M.M. & Bossi, R. 2021. Omregning af indhold af PFAS mellem muskel og lever i fisk . Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 44 s. - Teknisk rapport nr. 199
http://dce2.au.dk/pub/TR199.pdf

/5/Johansson, J. og Undeman, E. 2020. Perfluoroctane sulfonate (PFOS) and other perfluorinated alkyl substances (PFASs) in the Baltic Sea – Sources, transport routes ad trends. Helcom Baltic Sea Environment Proceedings no. 173.

/6/ Undeman, E., Rasmusson, K., Kokorite, I., Leppänen, M. T., Larsen, M. M., Pazdro, K. & Siedlewicz, G. 2022. Micropollutants in urban wastewater: large-scale emission estimates and analysis of measured concentrations in the Baltic Sea catchment. Marine Pollution Bulletin. 178, 113559.

/7/ Larsen. M.M., Strand, J. Tairova, Z. Göke, C. 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

/8/ https://mst.dk/erhverv/sikker-kemi/kemikalier/fokus-paa-saerlige-stoffer/pfas/videnstaskforce-for-pfas

Martin M. Larsen er seniorforsker på Institut for Ecoscience- Marin biodiversitet og eksperimentel økologi, Aarhus Universitet. mml@ecos.au.dk

Rossana Bossi er seniorforsker på Institut for Miljøvidenskab – Atmosfæriske målinger, Aarhus Universitet. kvo@envs.au.dk

Katrin Vorkamp er professor i miljøkemi på Institut for Miljøvidenskab - Environmental chemistry & toxicology, Aarhus Universitet. kvo@envs.au.dk