



PROJEKTER - SLUTRAPPORT

Titel: PFAS, Dioxin, PCB og tungmetaller (arsen, cadmium, kviksølv og bly) i fisk fanget i Østersøen i 2022-2024.

J. nr.: 2025-27308

BAGGRUND OG FORMÅL

Sild fra Østersøen har igennem mange år været en del af et overvågningsprojekt for indholdet af dioxin og PCB, da der ofte har været indhold over grænseværdien i disse fisk, som følge af forurening fra de mange industrier i landene omkring Østersøen.

Sprængningen af gasrørledningerne Nordstream 1 og 2 i september 2022 gjorde det ekstra interessant at udvide analyserne med tungmetaller og PFAS og inkludere nogle flere fiskearter, da det formodes, at havbunden blev hvirvlet op, og der blev frigivet store mængder af forurening, som havde været bundet i havbunden.

Cadmium, kviksølv og bly er blandt de sundhedsmæssigt mest betænkelige tungmetaller, idet de kan ophobes i kroppen og forårsage helbreds-mæssige komplikationer. Derudover er der EU grænseværdier for disse stoffer, se mere i Tabel 1. Total arsen blev også målt for at se, om dette ændrede sig over årene, da en del af dette kan være at finde som uorganisk arsen. I efteråret 2025 træder der grænseværdier i kraft for uorganisk arsen i fisk.

Dioxin og PCB er på Stockholmkonventionens liste over uønskede stoffer, og der er stor fokus på kilder til denne forurening, hvilket har bevirket, at indholdet i fødevarer og foder er kraftigt reduceret de seneste årtier. Punktkilder fra forbrændingsprocesser (brændeovne, bålpladser og lignende) samt områder forurenede af tidligere industriel aktivitet kan stadig medføre forhøjede indhold i visse fødevarer. Østersøen er netop sådan et område, hvor der tidligere har været betydelig industriel aktivitet.

PFAS anvendes industrielt, når der ønskes brandhæmmende, vand-, fedt- og smudsafvisende egenskaber og kan ende i miljøet som forurening. De anvendes eller har været anvendt i blandt andet fødevareemballage, maling, imprægneringsmidler, brandslukningsskum med mere. Nogle fluorerede stoffer er forbudte i dag, og EU arbejder mod en bred anvendelsesbegrænsning for dem alle i kemikaliereglerne (REACH).

Regler

Kommissionens forordning 2023/915 om maksimalgrænseværdier for bestemte forurenende stoffer i fødevarer.

Tabel 1: Gældende grænseværdier for de undersøgte matricer, EU Kommissionens forordning 2023/915

	Brisling	Sild	Skrubbe
Cadmium, mg/kg	0,05	0,05	0,05
Kviksølv, mg/kg	0,3	0,5	0,3
Bly, mg/kg	0,3	0,3	0,3
Total arsen, mg/kg *	-	-	-
Dioxin, pg TEQ/g vådvægt **	3,5	3,5	3,5
Sum Dioxin+PCB, pg TEQ/g vådvægt **	6,5	6,5	6,5
ICES-6-PCB, ng/g vådvægt **	75	75	75
PFOS, µg/kg	7,0	7,0	7,0
PFOA, µg/kg	1,0	1,0	1,0
PFNA, µg/kg	2,5	2,5	2,5
PFHxS, µg/kg	0,20	0,20	0,20
Sum-4PFAS, µg/kg	8,0	8,0	8,0

*Der er ingen grænseværdier for total arsen i fisk

**Se bilag angående forkortelser

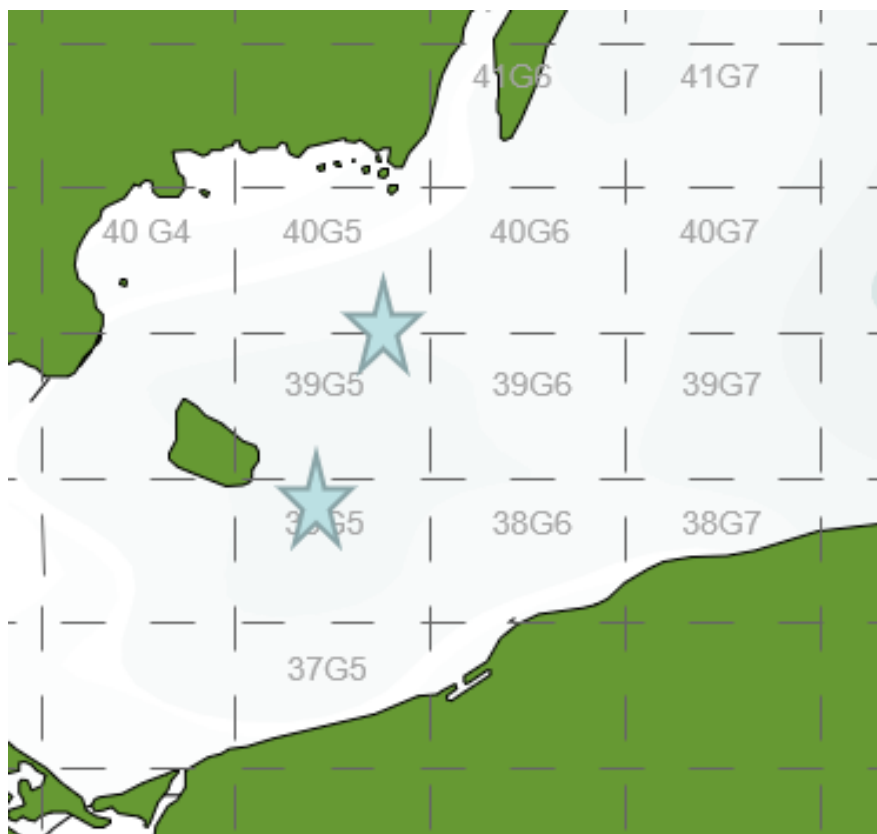
RESULTATER

Prøver

Der indgår 49 prøver af sild, brisling og skrubbe i dette projekt. Alle prøver er analyseret for dioxin og PCB, mens 35 prøver er analyseret for tungmetaller og 24 prøver for PFAS. Fiskene er fanget af DTU-Aqua på deres togtur forår (marts) og efterår (november) i Østersøen i 2022-24. Fiskene er fanget i området ICES 25, som er området øst for Bornholm. I Figur 1 vises området ICES 25, med yderligere inddeling i underområder. Det er angivet i Tabel 3, i hvilke af områderne de analyserede fisk er fanget. De to stjerner i figuren angiver de to steder hvor sprængningerne af Nordstream 1 og 2 fandt sted.

Sildene blev delt i store sild (ca. 25 cm i længden) og små sild (ca. 20 cm). Sildene blev fileteret og poollet med op til 10 fisk i hver prøve, men enkelte prøver bestod kun af 1-5 sild. Skrubber er fileteret og poollet med 10 fisk i hver prøve. Brisling er poollet af omkring 50 hele fisk i hver prøve, så indvolde, hoved og hale også indgår. I Tabel 3 ses flere detaljer om de enkelte prøver.

Analysemetoderne er kort beskrevet i Bilag 3.

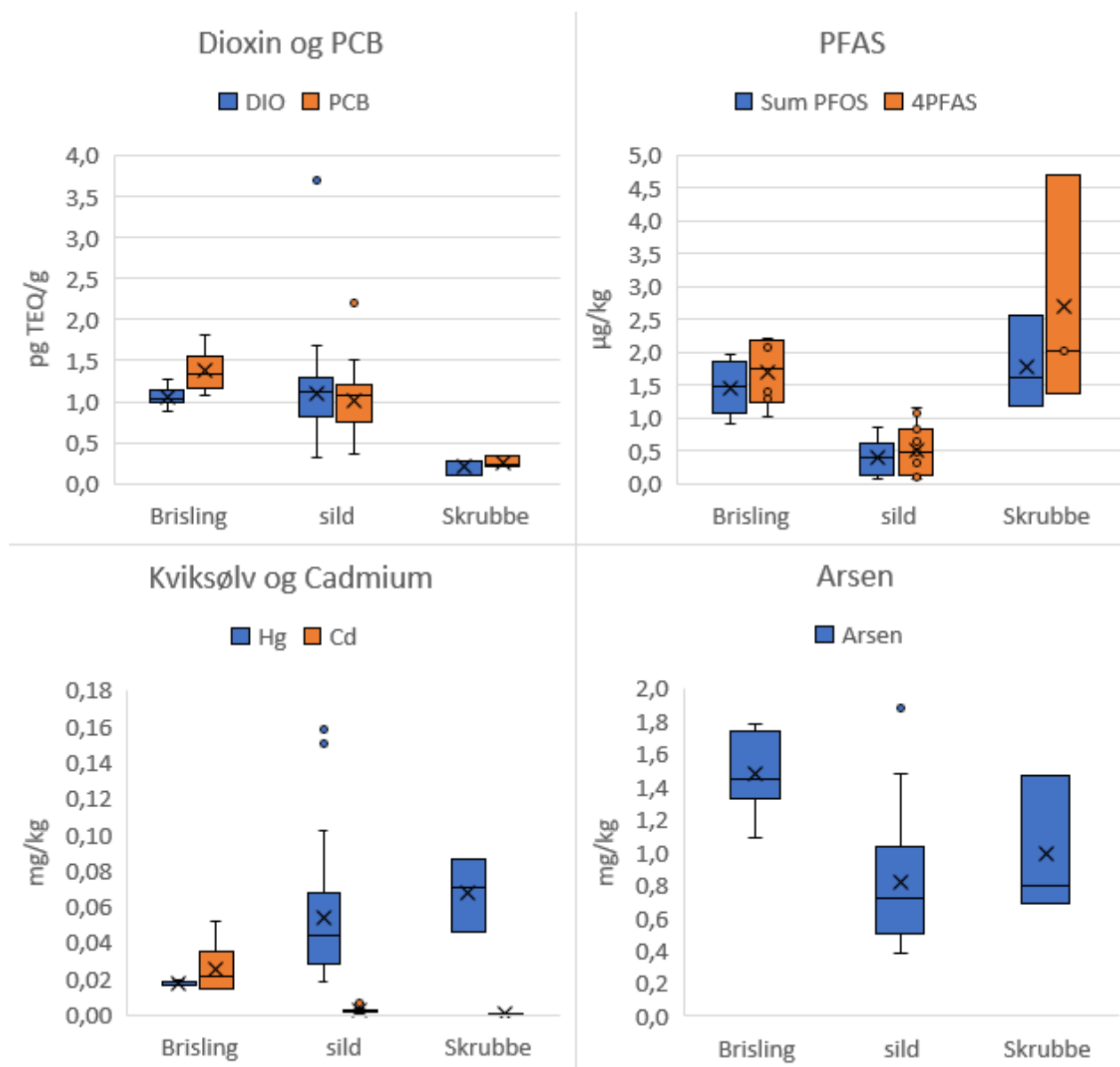


Figur 1 Kort over ICES-25, farvandet øst for Bornholm, med yderligere inddeling i forhold til fangstområder. De 2 stjerner markerer de omtrentlige eksplosioner for Nordstream 1 og 2.



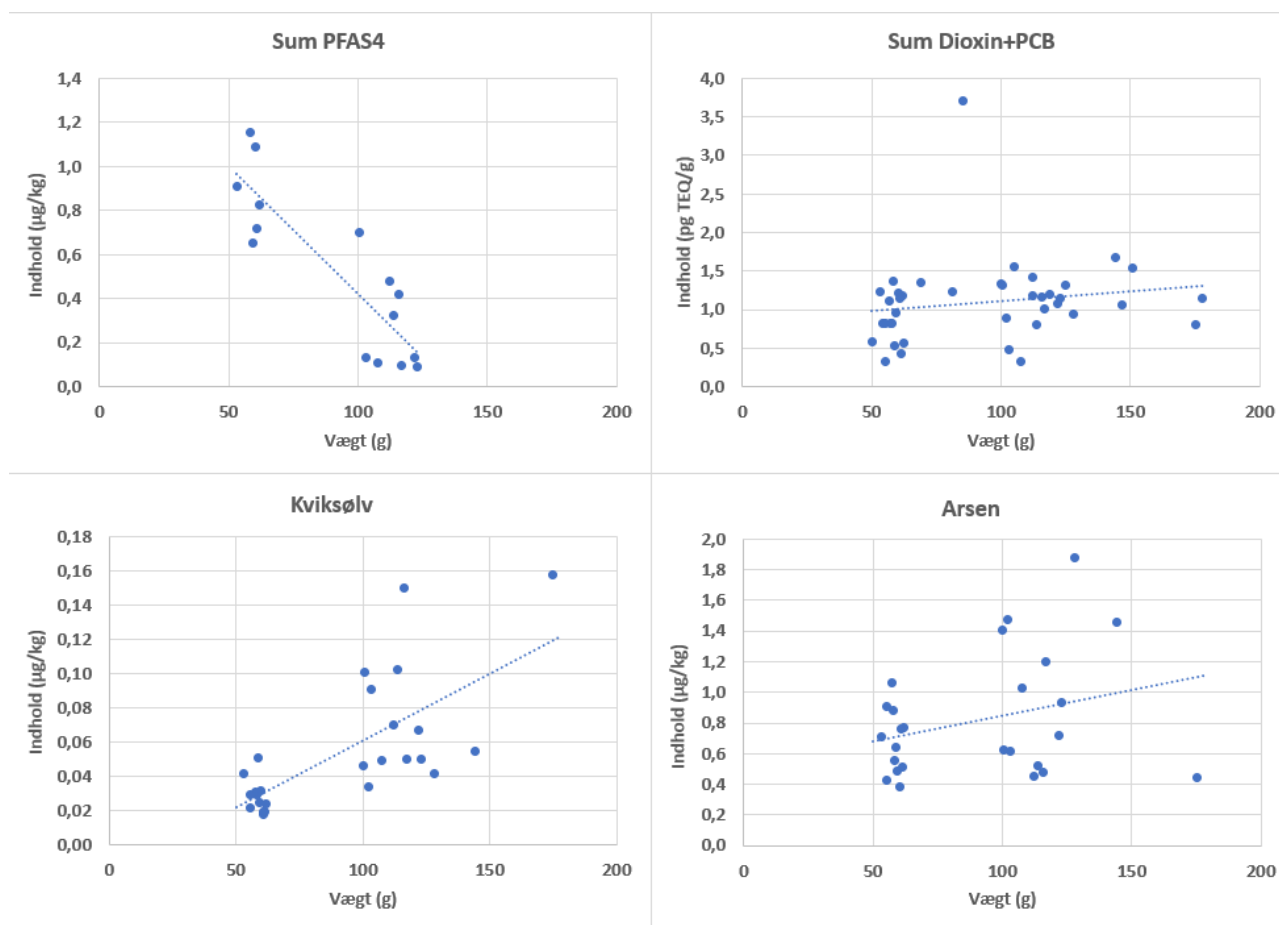
Resultater

Figur 2 viser de fundne indhold af dioxin og PCB (ø.tv.), PFAS (ø.th), Kviksølv og Cadmium (n.tv) og arsen (n.th). Der er undersøgt 3 prøver af skrubber, 6 prøver af brisling og 15-40 prøver af sild.



Figur 2 Prøvernes indhold af kontaminanter vist som boksplot med middelværdi (x'et), medianværdi (den vandrette streg i boksen), og halerne som angiver højeste og laveste datapunkt. Datapunkter der statistisk set er vurderet som outliers er markeret ved prikker over de pågældende haler.

For sildene var alder, længde og vægt bestemt for alle fiskene, og den generelle tendens er at for kviksølv, arsen, dioxin og PCB stiger indholdet, jo større fiskene bliver. Denne tendens ser ud til at være omvendt for PFAS, hvor de små fisk har højere indhold end de store fisk fra samme fangstområde (se figur 3). Vi kender ikke på nuværende tidspunkt årsagen til at PFAS opfører sig omvendt af de øvrige kontaminanter i fisk.



Figur 3 Sammenhæng mellem vægt og indhold af kontaminanter i sild. Hvert punkt er bestemt som medianværdien af vægten, for de enkelte sild der indgår i prøven. Den stiplede linje på hver graf angiver tendenslinjen.

KONKLUSION OG VURDERING

Cadmium: Der blev fundet cadmium i alle de undersøgte prøver, dog i meget små mængder i sild og skrubbe helt nede omkring LOQ niveau for metoden og langt under den gældende grænseværdi på 0,05 mg/kg. I Brisling var der lidt højere niveauer af cadmium, og en enkelt prøve overskrider den gældende grænseværdi, her blev der fundet 0,052 mg/kg. Det skal dog tilføjes, at brisling ikke kan fileteres og derfor er analyseret med indvolde. Det er kendt, at der kan være højere indhold af cadmium i indvolde sammenlignet med muskel.

Kviksølv: Der blev fundet kviksølv i alle de undersøgte prøver, dog i niveauer langt under de gældende grænseværdier på 0,3 mg/kg for brisling og skrubbe og 0,5 mg/kg for sild. I Figur 2 ses en større variation af indholdet i kviksølv i sild, dette hænger dog nok sammen med, at langt de fleste analyserede prøver er sild. Der er fundet kviksølv i lidt højere niveau i sild og skrubbe sammenlignet med brisling.

Bly: Der blev fundet bly i 9 ud af 35 undersøgte prøver, som alle var sild. Værdierne er dog meget lave, som det ses i Tabel 2 (de 8 af målingerne er dog under vores nuværende LOQ). Der er en enkelt måling på 0,035 mg/kg – dette er dog fortsat langt under den gældende grænseværdi på 0,3 mg/kg.



Dioxin og PCB: Ingen prøver har indhold af dioxin og PCB over grænseværdierne og de højeste indhold findes i prøver af enkelt sild, som har været meget ældre eller meget større end de øvrige fisk fanget i samme område. De fundne niveauer af både dioxin og PCB i sild er stadig ret lave og passer fint ind i den faldende tendens, der er observeret i fisk fra Østersøen de seneste mange år (se tidligere rapporter på foedevarestyrelsen.dk/proeveresultater). Indholdet i brisling er på samme niveau som sild, men det specielle for brisling er, at indholdet af PCB er højere end indholdet af dioxin, hvilket er omvendt i sild. De bundlevende skrubber har betydeligt lavere indhold af både dioxin og PCB end sild og brisling.

PFAS: Modsat dioxin og PCB, er indholdet af PFAS højest i den bundlevende skrubbe. I alle fiskene er det PFOS, der er den dominerende kontaminant med en andel på 80-100%, men jo længere mod nordøst fiskene er fanget, des flere PFAS-stoffer bliver detekteret over analysemetodens LOQ. Det er specielt andelen af PFNA, der vokser, så PFOS andelen falder til 50-60%.

De store mængder af bundmateriale der må formodes at være hvilet op, i vandmasserne ved sprængningen af Nordstream 1 og 2, har ikke umiddelbart medført en forøgelse af tungmetaller, PFAS, dioxin og PCB i de undersøgte fisk, som er fanget i området kort efter sprængningerne.

Kontaktpersoner:

Fødevarestyrelsen, Laboratorie Ringsted:

Maria Haar (tungmetaller); mahaa@fvst.dk
Gitte Geertsen (PFAS); gig@fvst.dk
Søren Sørensen (dioxin og PCB); ssn@fvst.dk

Fødevarestyrelsen, Kemi og Fødevarekvalitet:

Lulu Krüger (PFAS, dioxin og PCB); LCHK@fvst.dk
Dorthe Licht Cederberg (tungmetaller); dli@fvst.dk

DTU, Fødevareinstituttet:

Tommy Licht Cederberg (dioxin og PCB); tlce@food.dtu.dk
Agnieszka Niklas (PFAS); anik@food.dtu.dk
Heidi Amlund; (tungmetaller); haml@food.dtu.dk

Dato: September, 2025

Sikkerhed, sundhed og kvalitet fra jord til bord



BILAG 1

Tabel 2: Resultater af analyserne opgivet for hver matrice er her vist som minimum og maksimum værdier samt medianer for prøver med indhold over LOQ.

	Brisling		Sild		Skrubbe	
	An- tal *	Interval; median	Antal*	Interval; median	An- tal*	Interval; median
Arsen mg/kg	6 ; 6	[1,1-1,8] ; 1,5	26 ; 26	[0,38-1,9] ; 0,72	3 ; 3	[0,69 – 1,5]; 0,80
Cadmium mg/kg	6 ; 6	[0,014-0,052]; 0,021	26 ; 26	[0,001-0,006]; 0,002	3 ; 3	[0,001-0,001]; 0,001
Kviksølv mg/kg	6 ; 6	[0,016-0,019]; 0,016	26 ; 26	[0,018 – 0,16] ; 0,044	3 ; 3	[0,046-0,086]; 0,071
Bly mg/kg	6 ; 0	-	26 ; 9	[0,001-0,035]; 0,001	3 ; 0	-
Dioxin, pg TEQ/g	6 ; 6	[0,87-1,3] ; 1,0	40; 40	[0,32-3,7]; 1,1	3 ; 3	[0,11 – 0,28] ; 0,27
Sum Dio+PCB pg TEQ/g	6 ; 6	[2,0-3,1] ; 2,4	40; 40	[0,68-5,9]; 2,2	3 ; 3	[0,31 – 0,62] ; 0,51
ICES-6-PCB, ng/g	6 ; 6	[8,0-15] ; 9,9	40; 40	[4,0-25]; 10,26	3 ; 3	[1,1 – 2,2]; 1,54
Sum PFOS µg/kg	6 ; 6	[0,93-2,0]; 1,5	15; 15	[0,090 – 0,88]; 0,40	3 ; 3	[1,2 – 2,6]; 1,63
PFOA µg/kg	6 ; 5	[<0,05-0,13]; 0,073	15; 4	[<0,05 – 0,10]; <0,05	3 ; 1	[<0,05 – 0,42]; <0,05
PFNA µg/kg	6 ; 6	[<0,05-0,10]; 0,15	15; 10	[<0,05 – 0,21]; 0,082	3 ; 3	[0,18 – 1,7]; 0,41
PFHxS µg/kg	6 ; 1	[<0,05-0,052]; <0,05	15; 3	[<0,05 – 0,10]; <0,05	3 ; 1	[<0,05 – 0,06]; <0,05
Sum-4PFAS µg/kg	6 ; 6	[1,0– 2,2] ; 1,8	15; 15	[0,090 – 1,2]; 0,48	3 ; 3	[1,3– 4,7]; 2,0

*angiver (antal prøver i alt; antal prøver over LOQ)



Bilag: 2, Fiskedata

Tabel 3: Information om fiskene der indgår i dette projekt. Alder, længde og vægt for sildene er bestemt af DTU-Aqua. For analyser er anvendt følgende forkortelser: P = PFAS, T = tungmetaller, D= Dioxin og PCB

Prø- venr.	Fangst peri- ode	Fangstom- råde	Produkt	Antal fisk til prøven	Median længde (cm)	Median vægt (g)	Median alder (år)	Analyser
1	nov-23	38G5-40G5	Brisling	50	12,5	17		P, T, D
2	nov-23	40G6	Brisling	50	12,5	17		P, T, D
3	nov-23	41G7	Brisling	50	12,5	17		P, T, D
4	nov-24	39G7	Brisling	50				P, T, D
5	nov-24	40G7	Brisling	50				P, T, D
6	nov-24	40G6	Brisling	50				P, T, D
7	mar-22	38G5	sild	10	21,4	50	6,7	D
8	mar-22	38G5	sild	5	26,7	105	9,2	D
9	mar-22	38G6	sild	5	27	147	10	D
10	mar-22	39G6	sild	10	21,7	57	8	D
11	mar-22	39G6	sild	10	26,3	119	10,6	D
12	mar-22	39G6	sild	9	26	112	11,3	D
13	mar-22	40G7	sild	10	21,4	54	8	D
14	mar-22	40G7	sild	1	24	85	11	D
15	nov-22	39G5	sild	10	21,5	55,5	3	T, D
16	nov-22	39G5	sild	10	26,2	128	5	T, D
17	nov-22	40G6	sild	10	21,1	58	7,5	T, D
18	nov-22	40G6	sild	9	25,4	102	5	T, D
19	nov-22	40G7+40G8	sild	10	21,5	57,5	7,5	T, D
20	nov-22	40G7+40G8	sild	9	25,2	100	8	T, D
21	nov-22	39G6	sild	1	28,3	144	8	T, D
22	nov-22	40G7+40G8	sild	1	28	175	13	T, D
23	mar-23	40G6	sild	10	21,5	69	9	T, D
24	mar-23	40G6	sild	10	25	125	11	D
25	mar-23	39G7	sild	10	21,3	81	8,5	D
26	mar-23	39G7	sild	10	26,2	151	11,5	D
27	mar-23	37G5	sild	10	28	178	8,5	D
28	mar-23	37G5	sild	10	21,4	62,5	3	D
29	nov-23	38G5-40G5	sild	10	21,7	55,5	4,5	T, D
30	nov-23	40G6	sild	10	21,7	61,5	4,5	T, D
31	nov-23	41G7	sild	10	21,6	59	5,5	T, D
32	nov-23	39G7-40G7	sild	10	26	113,5	11	P, T, D
33	nov-23	38G5-38G6	sild	10	25,2	103	7	P, T, D
34	nov-23	40G6	sild	10	25,8	107,5	5	P, T, D
35	mar-24	38G5-40G5	sild	10	21,7	59,5	7,5	P, T, D
36	mar-24	38G5-40G5	sild	9	27,2	122	7	P, T, D
37	mar-24	40G6	sild	10	21,3	53	9	P, T, D



38	mar-24	40G6	sild	8	26,3	116	14	P, T, D
39	mar-24	41G7	sild	10	22,2	58,5	9	P, T, D
40	mar-24	40G7-40G8-41G7	sild	10	26,5	100,5	11	P, T, D
41	nov-24	40G6	sild	10	21,8	62	7	P, T, D
42	nov-24	40G5	sild	8	26,6	117	7	P, T, D
43	nov-24	40G6	sild	8	21,3	60,5	7	P, T, D
44	nov-24	40G6	sild	8	26,8	123	7	P, T, D
45	nov-24	39G7	sild	9	21,8	61	5	P, T, D
46	nov-24	39G7-41G7	sild	10	26,2	112	12	P, T, D
47	nov-23	38G5-40G5	Skrubbe	10	27	208		P, T, D
48	nov-23	40G6	Skrubbe	10	27	208		P, T, D
49	nov-23	41G7	Skrubbe	10	25	204		P, T, D

Bilag 3: Definitioner og analysemetoder

TEQ, Toksiske ækvivalenter: En prøves samlede dioxinindhold angives som summen af de 17 dioxin- og furanforbindelser, som bestemmes i metoden. Da de forskellige forbindelser har forskellige toksicitetsniveauer, omregnes hver enkelt af dem til toksiske ækvivalenter ved hjælp af nogle toksikologiske faktorer (TEF-værdier), som angiver forbindelsernes giftighed i forhold til TCDD, som er den mest toksiske dioxin.

LOQ: Angiver den lavest mulige koncentration, som kan kvantificeres med anvendte metode.

PCB: Polychlorerede-Biphenyler. En gruppe på 209 forskellige stoffer, hvoraf 19 analyseres i dette projekt.

PFAS: Per- og polyfluorerede alkyl forbindelser. De vigtigste stoffer i denne gruppe er perfluoroktansulfonsyre (PFOS), perfluoroktansyre (PFOA), perfluornonansyre (PFNA) og perfluorhexansulfonsyre (PFHxS).

Dioxinlignende-PCB: De 12 PCB'er, som har toksikologiske egenskaber svarende til dioxin. Disse 12 PCB'er har også en TEF-værdi og bidrager derfor til en prøves samlede TEQ-indhold.

Fangstområde: ICES 25 er området fra Bornholm i vest, Öland mod nord, Polen mod syd og længdegraden 17°Øst.

Ikke-dioxinlignende PCB: De øvrige PCB'er, som ikke er dioxinlignende, men som har en anden toksikologisk profil.

ICES-6-PCB: Angiver summen af de 6 ikke-dioxinlignende indikator-PCB'er (PCB 28, 52, 101, 138, 153 og 180). Denne sum, som typisk dækker omkring halvdelen af den samlede ikke-dioxinlignende-PCB i fødevarer og foder, anses for at være en passende markør for forekomst i miljøet og menneskers eksponering for ikke-dioxinlignende-PCB. Der er fastsat grænseværdier for ICES-6-PCB i de fleste fødevarer og fodertyper.

Grænseværdier: For at beskytte folkesundheden er det afgørende nødvendigt, at forekomsten af forurenende stoffer holdes på et niveau, der er toksikologisk acceptabelt. Der er derfor fastsat lave grænseværdier for tungmetaller, PFAS og summen af dioxiner og dioxinlignende PCB'er, som med rimelighed kan forventes overholdt under iagttagelse af god landbrugs-, fiskeri- og fremstillingspraksis, under hensyntagen til den risiko, der er forbundet med forbruget af de pågældende fødevarer.



Analysemetode ANA-03.6101 "Perfluorerede stoffer i fødevarer og foder ved QUECHERS UPLC-MS/MS": Prøverne ekstraheres og oprenses ved dispersiv SPE og de perfluorerede stoffer detekteres herefter ved UPLC-MS/MS. Metoden udvides løbende med nye aktuelle stoffer og der analyseres for mere end 20 PFAS stoffer, heribland de 4 stoffer nævnt i Tabel 1, som der er grændeværdier for. Bestemmelsesgrænsen (LOQ) er 0,05 µg/kg vådvægt.

Analysemetode ANA-03.5050 "Bestemmelse af dioxiner og PCB i fødevarer og foder med højtopløsende GC-MS": Prøven ekstraheres med højt tryk og temperatur på et ASE instrument fra Thermo Scientific. Derefter oprenses ekstraktet på et automatisk oprensingsudstyr (Dioxin Sample Preparation, DSP, Holland), hvor fedtstoffer nedbrydes og urenheder fjernes. Dioxiner og PCB'er opsamles i 2 adskilte fraktioner. Den analytiske detektion foregår på et højtopløsende GC-MS udstyr (DFS, Thermo). Dioxinmetoden benyttes til kvantificering af 17 2,3,7,8-chlorsubstituerede dioxiner fordelt på 10 furaner og 7 dioxiner, samt 19 PCB'er fordelt på 12 dioxinlignende-PCB'er og 7 ikke-dioxinlignende-PCB'er (heri indgår ICES-6-PCB'er).

Analysemetode ANA-02.2010 "Spormetaller i fødevarer": Prøven findeles ved homogenisering og en delprøve destrueres med koncentreret salpetersyre i Anton Paar Multiwave. Kombinationen af syre, opvarmning ved mikrobølger og højt tryk medvirker til at prøven destrueres og spormetallerne frigøres i opløsningen. Destruktionsopløsningens indhold af spormetallerne As, Cd, Hg, Pb bestemmes ved ICP-MS (Agilent 8900 triple quadrupole ICP-MS (ICP-QQQ) overfor certificerede standarder.