

Miljøfarlige stoffer i ålekvabbe

Delrapport I



Titel:	Miljøfarlige stoffer i ålekvabbe - Delrapport I
Resume:	Miljøfarlige stoffer i ålekvabbe blev analyseret og sammenholdt med forekomst af misdannede ålekvabbeunger. Kobber, organotin, dioxiner, furaner, dioxin-lignende PCB'er samt bromerede flammehæmmere blev vurderet som stærke kandidatstoffer til at kunne være årsag til de observerede misdannelser.
Forfatter:	Ingela Dahllöf & Jakob Strand, Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet
Andre bidragyder:	Poul Bjerregaard, Rossana Bossi, Kim Gustavsson, Martin M. Larsen, Pia Lassen, Gitte Petersen, Katrin Vorkamp
Emneord:	Ålekvabbe, tungmetaller, organotin, PFAS, phthalater, dioxin, bromerede flammehæmmere
URL:	www.blst.dk
ISBN:	978-87-92708-21-2 (PDF-udgave)
Udgiver:	By- og Landskabsstyrelsen
Udgiverkategori:	Statslig
År:	2010
Sprog:	Dansk
Copyright©	Må citeres med kildeangivelse. By- og landskabsstyrelsen, Miljøministeriet

By- og Landsskabsstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter inden for miljøsektoren, finansieret af By- og Landskabsstyrelsen. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for By- og Landskabsstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at By- og Landskabsstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik

Indhold

Forord.....	5
Sammenfatning	7
Summary	9
Introduktion.....	11
Lokaliteter i FORMÅL	11
Miljøfarlige stoffer i ålekvabbe	12
Valg af prøvetyper i relation til eksponering af ålekvabber.....	12
Misdannelser i ålekvabbe i 2009	14
Indsamling, analyser og beregningsmetoder	15
Prøveindsamling	15
Fordeling af prøver	15
Analysemetoder.....	16
Vurdering af forskelle mellem lokaliteter.....	16
Resultater	17
Tungmetaller.....	17
Organotin.....	19
PAH-metabolitter	21
Perfluorede stoffer (PFAS).....	22
Phthalater	23
Dioxin, furan og dioxinlignende PCB'er	24
Bromerede flammehæmmer.....	27
Diskussion	31
Konklusioner og anbefalinger.....	35
Referencer.....	37

Forord

I forbindelse med den nationale overvågning af vandmiljøet (NOVANA) i årene 2004-2008 er der fundet et stigende antal misdannede ålekvabbeunger i danske fjorde. I andre lande, herunder Tyskland og Sverige, er der gjort lignende fund af misdannede ålekvabbeunger.

Der er tidligere blevet gennemført to litteraturstudier i regi af Miljøministeriet, hvilke er afrapporteret i: 1) Misdannet ålekvabbeunger og andre biologiske effekter i danske vandområder. Litteraturudredning (Stuer-Lauridsen et al. 2008), og 2) Kemiske stoffer der kan føre til misdannelser i fisk. Indkredsning af stoffer ud fra deres biokemiske virkemekanisme (Halling-Sørensen et al. 2008).

Konklusionerne fra disse udredninger var, at ålekvabbeunger med misdannelser er hyppigst forekommende i kystnære områder med menneskelig aktivitet, og at der er mistanke om, at fx klorerede organiske forbindelser, TBT, PAH, pesticider, tungmetaller, lægemidler og stoffer med hormonforstyrrende effekter er årsagen til fund af misdannelser, evt. ved additiv virkning fra flere stoffer.

FORMÅL-projektet ("Et undersøgelsesforløb til at **FOR**klare fund af **M**isdannede **Å**lekvabbeunger i danske fjorde") er en del af Miljøministeriets tilvejebringelse af viden, der er nødvendig for at By- og Landskabsstyrelsen kan opstille evt. forslag til indsatser, der kan imødegå biologiske effekter i miljøet.

FORMÅL-projektet består af tre trin:

1. Et måleprogram, der kan tilvejebringe et fyldestgørende billede af vandmiljøets tilstand med hensyn til miljøfarlige stoffer for at indkredse årsagen til fund af misdannelser i ålekvabbeunger.
2. Laboratorieforsøg til etablering af viden om effektive niveauer for udvalgte kemiske stoffer i ålekvabber.
3. En tværgående analyse af de gennemførte aktiviteter og resultater fra andre projekter, der sammenfatter viden om årsager til forekomst og udbredelse af effekter og misdannelser i ålekvabber.

De overordnede resultater og konklusioner fra trin 1, er sammenfattet i Miljøfarlige stoffer og ålekvabbe – et feltstudie. Trin 1.

Denne delrapport er den første af tre, hvor resultaterne fra FORMÅLs første trin rapporteres og omhandler miljøfarlige stoffer i ålekvabbe. De andre to delrapporter omhandler: II) Biomarkører i ålekvabber samt III) Miljøfarlige stoffer i sediment og bundfauna.

Sammenfatning

Projektet FORMÅL ("Et undersøgelsesforløb til at **FOR**klare fund af **Misdannede ÅL**ekvabbeunger i danske fjorde") er fase 3 i By- og Landskabsstyrelsens undersøgelsesforløb iværksat for at klargøre et eventuelt sammenhæng mellem miljøfarlige stoffer og misdannelser. FORMÅL indeholder tre trin, hvor det første er et måleprogram, som vurderer vandmiljøets og ålekvabbens tilstand med hensyn til miljøfarlige stoffer. Denne rapport er en af tre delrapporter fra del 1 og omhandler forekomst af miljøfarlige stoffer i ålekvabbe. De andre rapporter er: II) forekomst af misdannelser og biomarkørrespons i ålekvabbe og III) forekomst af miljøfarlige stoffer i sediment og muslinger. En overordnet sammenfatning af de tre delrapporter findes i: 'Miljøfarlige stoffer og ålekvabbe – et feltstudie. Trin 1'.

Ålekvabber blev fanget i august, september og november ved Agersø, Roskilde og Frederiksværk. Agersø repræsenterer et referenceområde med en lille påvirkning af miljøfarlige stoffer, og de to andre stationer i Roskilde Fjord repræsenterer mere forurenede områder.

Litteraturstudier i de tidligere to faser har peget på, at bl.a. tungmetaller, organotin, tjærestoffer (PAH'er), klorerede aromatiske stoffer som fx dioxin og dioxinlignende PCB'er og bromerede flammehæmmere er de mest sandsynlige årsager til misdannelser. Disse miljøfarlige stoffer samt blødgørere (phthalater) og perfluorerede stoffer (PFAS) blev målt i æg, muskel og lever hos hunner samt i unger. Individuelle prøver blev slået sammen i én pulje per lokalitet, hvilket giver en vurdering af den gennemsnitlige koncentration i hver population. Stærke kandidatstoffer er udpeget på baggrund af kraftigt forhøjede koncentrationer, samt forhøjede koncentrationer ved Roskilde og Frederiksværk i forhold til Agersø, hvor der ikke blev fundet misdannede unger.

Konklusionerne fra måleprogrammet er, at:

- kobber, organotin, PAH'er, dioxin, dioxinlignende PCB'er samt bromerede flammehæmmere er stærke kandidatstoffer, som kan være årsag til misdannelser,
- PFAS kan også tilhøre de stærke kandidatstoffer, og
- øvrige tungmetaller (kviksølv, kadmium og bly) er ikke kandidatstoffer på disse lokaliteter.

Det anbefales, at der gennemføres kontrollerede eksponeringsforsøg med de stærke kandidatstoffer i blandinger og som enkeltstoffer for at verificere de indikerede kausale sammenhænge mellem miljøfarlige stoffer og misdannelser.

Summary

The Danish Ministry of the Environment has instigated a series of projects with the aim to clarify whether deformities in eelpout (*Zoarces viviparous*) larvae are caused by hazardous substances. The conclusions of the earlier literature-based projects were that substances such as heavy metals, organotin, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), and halogenated aromatic compounds like dioxins, PCBs and flame retardants, were likely candidates to have caused the deformities.

FORMÅL is the third project with the aim to verify whether the candidate substances indeed are the cause for the observed deformities. In order to fulfil the aim FORMÅL consists of three parts: 1) a field study, 2) laboratory experiments with eelpout, and 3) an integrated analysis based on both part 1 and 2 of FORMÅL, as well as on results from other on-going projects on eelpout.

This report is one of three with results from the field study and focuses on hazardous substances in eelpout. The overall results from the field study are also summarised in 'Miljøfarlige stoffer og ålekvabbe – et feltstudie'.

Eelpout were caught at three sites in August, September and November. Ager sø in the southern Belt Sea was considered a reference site, as no deformities were observed here either in September or November. Roskilde and Frederiksværk, both situated in Roskilde Fjord, were impacted sites where more than 5 % of the broods had more than 5 % deformities.

The content of heavy metals, organotin, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), dioxins and dioxin-like PCBs, brominated flame retardants, perfluorinated compounds (PFSA), and PAH metabolites were analysed in females, egg, and larvae from the sampling in August and November.

The conclusions were:

- Copper, organotin, PAHs, dioxins and dioxin-like PCBs, as well as brominated flame retardants were strong candidate substances as they occurred in much higher concentrations at sites with high incident of deformities.
- PFAS could also belong to the candidate substances.
- Other heavy metals are not likely to be the cause of deformities at these sites.

Based on the conclusions, it is recommended that eelpout should be exposed to the candidate substances in controlled laboratory experiments, both as a mixture and as single substances.

Introduktion

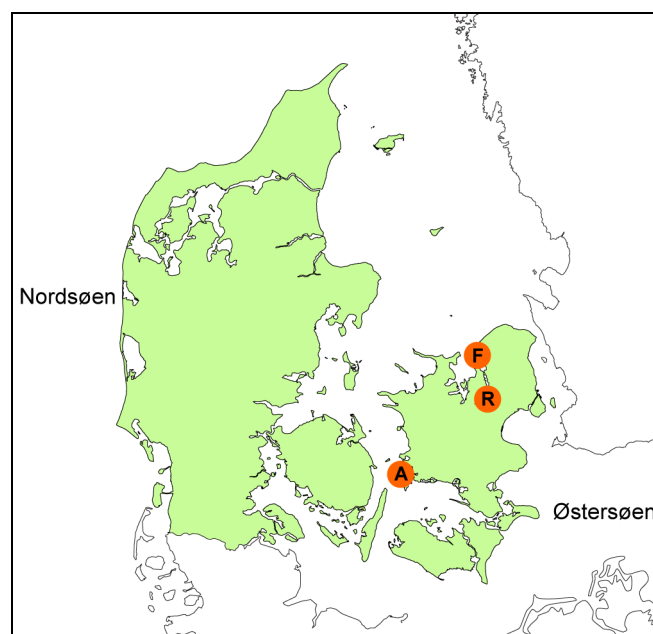
Det overordnede formål med undersøgelsesforløbet var at belyse årsagen til misdannelser i ålekvalbeunger. Hypotesen er, at den øgede forekomst af misdannelser i fiskeunger er forårsaget af miljøfarlige stoffer, der inducerer toksiske effekter og processer, som kan lede til misdannelser.

Test af hypotesen og opfyldelse af det overordnede formål samt delmål forudsætter kendskab til miljøets, de voksne ålekvalbers samt ungers belastning med miljøfarlige stoffer, forekomsten af misdannelser, og biomarkørrespons.

I denne delrapport sammenfattes resultaterne af de kemiske målinger i ålekvalbehunner, æg og unger, som er blevet udført i måleprogrammet.

Lokaliteter i FORMÅL

Undersøgelsen fokuserer på tre lokaliteter, Agersø i Storebælt, Frederiksværk og Roskilde, hvor prøvetagningen af ålekvalber er forgået over tre perioder i august, september og november 2009 (figur 1).



Figur 1. Stationskort over de 3 undersøgelseslokaliteter: Agersø (A), Frederiksværk (F) og Roskilde (R).

Valget af de mere forurenede lokaliteter ved Roskilde og Frederiksværk er baseret på tidligere undersøgelser, der har vist, at der er forhøjet forekomst af misdannelser og biomarkørrespons (Strand et al. 2004; Strand 2010), at populationerne er store nok til at tillade en større prøvetagning, og at kontamineringsprofilen sandsynligvis er forskellig imellem områderne. Som referencestation

er udvalgt området ved Agersø i Storebælt. Stationen ved Agersø anses som referencestation, da den betragtes som den generelt mindst belastede station og stationen med størst vandudveksling af de tre. De andre områder ligger tæt på større byer og i mere aflukkede fjordområder med lavere vandudveksling.

Miljøfarlige stoffer i ålekvabbe

Flere grupper af miljøfarlige stoffer indgik i undersøgelsen for at kunne beskrive forskellige typer af forurening. Det drejer sig om tungmetaller, organotin, polyaromatiske hydrokarboner (PAH'er), phthalater, perfluorede stoffer (PFAS), dioxin, dioxinlignende PCB'er samt bromerede flammehæmmere. Disse stofgrupper kan ifølge de tidligere litteraturundersøgelser forårsage misdannelser (Stuer-Lauridsen et al. 2008; Halling-Sørensen et al. 2008).

Koncentrationen af et stof på et givent tidspunkt siger ikke nødvendigvis alt om den eksponering ålekvabberne er udsat for. Mange stoffer bliver omsat (metaboliseret) i organismer, herunder organotin, phthalater, PFAS og PAH'er. Metabolisering bevirker, at stofferne bliver mere vandopløselige og derved kan udskilles. Men at et stof bliver nedbrudt er ikke en garanti for, at giftigheden mindskes. Kortvarige eksponeringer af stoffer fx via blodbanen kan godt resultere i effekter, men derudover kan også nedbrydningsproduktet have effekter, og omsætningen af stoffer kan medføre andre konsekvenser. Dels koster metabolisering energi, der kunne være brugt anderledes, hvis organismen ikke var eksponeret. Dels betyder det, at koncentrationer af miljøfarlige stoffer i ålekvabber varierer over tid som en funktion af variation i optag og metabolisering, hvilket gør vurdering af belastning vanskeligere.

Af de metaller, som er målt i FORMÅL, er kobber et såkaldt essentielt metal, idet det indgår i organismens behov for sporstoffer. Men ved høje koncentrationer har kobber dog, som de øvrige tungmetaller, negative effekter. Metaller kan også blive reguleret af organismen, og opbevaret som organiske metalkomplekser – mest i leveren, men også i muskler.

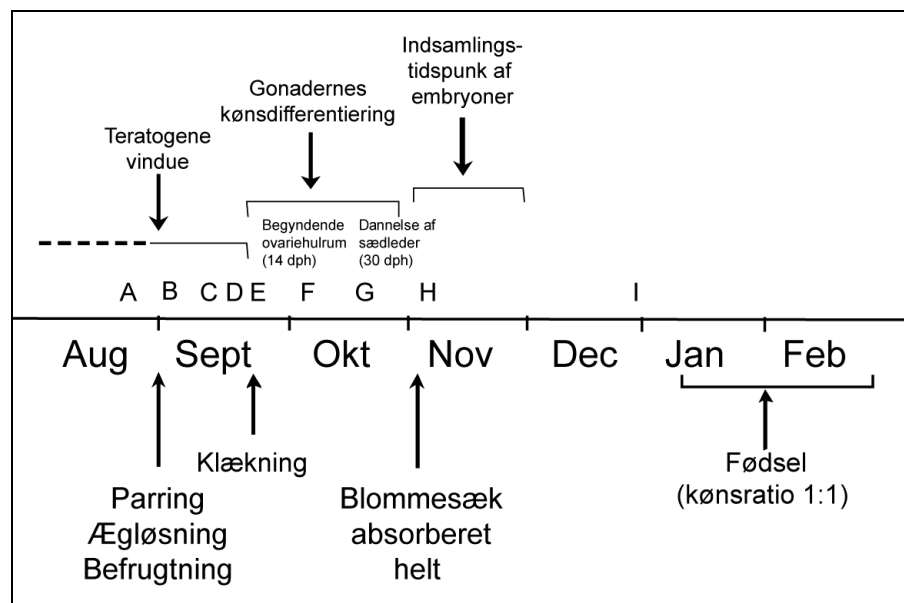
Stoffer som dioxin, dioxinlignende PCB'er og bromerede flammehæmmere har en meget lavere omsætningshastighed i organismer, og nogle bliver ikke nedbrudt. Det betyder, at de i højere grad kan oplagres, hvilket ofte sker i fedt (lipider), som findes i cellemembraner og i lipiddepoter. Stoffer, som opbevares i lipiddepoter, bliver især frigjort igen, når organismerne har brug for lipider som energi bl.a. i forbindelse med den reproduktive periode.

Valg af prøvetyper i relation til eksponering af ålekvabber

Ålekvabbeembryoner forventes at være mest følsomme for eksponering fra august til og med september, da celledifferentieringen overvejende foregår i denne

periode (det teratogene vindue) (figur 2). I denne periode sker eksponeringen primært fra de stoffer, som allerede er overført fra hunnen til æggene.

Fra medio september frem til sidst i oktober udvikles gonader i ungerne, og blommesækken absorberes. Efterfølgende får de nu udviklede unger næring via ovarievæsken, hvor yderligere overførsel fra hunnen til unger kan medføre en løbende eksponering af ungerne for miljøfarlige stoffer.



Figur 2. Ålekvabbens reproduktionscyklus fra ægløsning til fødsel (fra Stuer-Lauridsen et al. 2008).

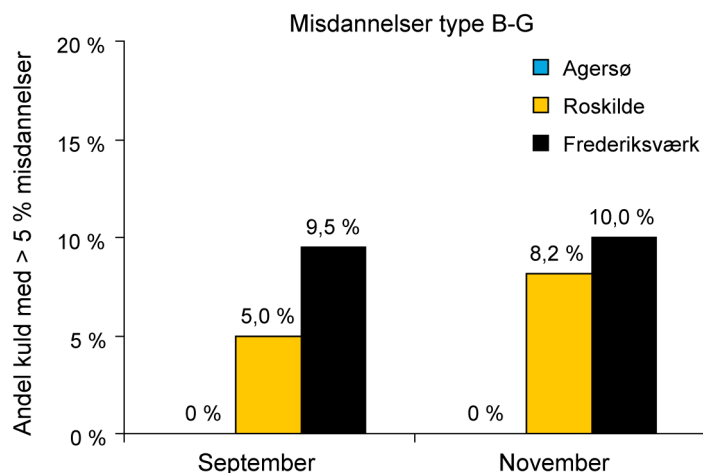
Det vides dog ikke med sikkerhed, om eksponering i det teratogene vindue er vigtigere end den mere kontinuerlige eksponering over tid, som sker i de efterfølgende måneder. Derfor blev der indsamlet muskel og lever fra moderfisk i august, september og november, æg i august og unger i september og november.

Endvidere kan eksponering af hunnerne ved tidspunktet for anlæggelse af æg være af betydning. Anlæggelse af æg starter i efteråret inden befrugtning, dvs. på det tidspunkt hvor det pågældende års udvikling af unger sker. Det betyder, at belastningen af miljøfarlige stoffer i efteråret 2008 kan have haft betydning for udviklingen af ålekvabbeunger i 2009. I delrapport III vurderes derfor også miljøtilstanden i 2008.

Misdannelser i ålekvalbe i 2009

For at kunne vurdere sammenfald mellem misdannelser og forekomst af miljøfarlige stoffer i ålekvalbe gives her en kort sammenfatning af misdannelsesdata, hvilke ellers er præsenterede i detalje i delrapport II.

Agersø var i 2009 at betragte som en referencestation, da der ikke forekom misdannelser af type B-G (figur 3). Ved Roskilde og Frederiksværk fandtes derimod misdannede unger, og forekomsten steg fra september til november, mest i Roskilde. De miljøfarlige stoffer, som mest sandsynligt er årsag til misdannelser i disse to områder, burde derfor også forekomme i højere koncentrationer ved Roskilde og Frederiksværk.



Figur 3. Misdannelser i ålekvalbe i 2009.

Der var ikke nogen større forskelle i typen af misdannelser mellem Roskilde og Frederiksværk (Delrapport I). Dog var der en højere andel af øjne-misdannelser ved Roskilde, hvorimod misdannelser på blommesæk og indre organer var forholdsvis hyppigere ved Frederiksværk. Disse forskelle tyder på, at der ikke kun er en højere forekomst af visse miljøfarlige stoffer ved Roskilde og Frederiksværk, men at der også er en forskel på typerne af miljøfarlige stoffer de to steder.

I denne delrapport præsenteres resultaterne fra de kemiske målinger af miljøfarlige stoffer i ålekvalbe. De ligger til grund for udpegelsen af de miljøfarlige stoffer som mest sandsynligt er årsag til de observerede misdannelser. I delrapport III vurderes koncentrationerne af miljøfarlige stoffer i det omgivende miljø på de tre lokaliteter, for at styrke eventuelle sammenhænge mellem misdannelser og miljøfarlige stoffer.

Indsamling, analyser og beregningsmetoder

Prøveindsamling

Indsamlingen blev i alle områder udført med åleruser af enten DMU, Aarhus Universitet eller med hjælp fra lokale fritidsfiskere. Efter endt indsamling blev fiskene transporteret til Risø i Roskilde Fjord, hvor fiskene blev opbevaret i af-lukkede trådbure frem til dissektion og udtagning af prøver til de forskellige delundersøgelser.

Æg fra august, samt æg, lever og muskel fra august, september og november blev udtaget fra de fisk, hvor misdannelsesfrekvensen, men ikke biomarkører, blev målt.

Vævsprøver blev udtaget ved dissektion umiddelbart efter, at de voksne fisk var blevet aflivet med kraftige slag i hovedet. Først blev blod og lever udtaget, derpå æg eller unger og efterfølgende de andre vævsprøver. De udtagne prøver fra november skulle, udover at anvendes til dette projekt, også anvendes til andre supplerende undersøgelser i forbindelse med BONUS+-projekterne BAL-COFISH og BEAST. Dette indebærer, at lever og muskel blev opdelt i henholdsvis 7 og 4 delprøver. Prøver fra august og september blev kun anvendt i forbindelse med FORMÅL-projektet.

Alle delprøver blev registeret og opbevaret separat i en biobank, så senere identifikation og analyser af individbaserede prøver kunne gennemføres. Prøver af lever, galde og muskel til analyser for miljøfarlige stoffer blev alle frosset ned til -20°C frem til analysen. Lever blev opbevaret i rensede og udglødede glasvials, galde i Eppendorfrør og muskel i Rilsanposer. Æg og unger blev frosset ned med tøris i glasvials og opbevaret ved -80°C .

Fordeling af prøver

Kemiske analyser kræver en større prøvemængde end biomarkører, og derfor blev de forskellige prøvetyper såsom æg, muskel og lever slået sammen til én pulje per station. Da mængden af prøvemateriale var begrænset selv efter prøverne var puljet, var det ikke muligt at analysere for alle stoffer i alle typer af prøver. Metaller, TBT og PFAS genfindes bedst i lever, og til dels i muskelvæv, hvorimod bromerede flammehæmmere og dioxin er mere knyttet til lipider i organismer.

På baggrund af denne viden, samt krav om minimumsprøvemængde for forskellige analyser, blev stofferne målt ifølge *tabel 1*. Det skal bemærkes, at der ikke kunne fanges ålekvabber ved Agersø i september, og derfor blev dette tidspunkt fravalgt. Det prøvemateriale, som er indsamlet i FORMÅL og som ikke er blevet brugt til analyser, er stadig opbevaret, og forhåbentligt vil nogle kom-

pletterende analyser kunne gennemføres i regi af andre projekter i efteråret 2010.

Tabel 1. Udvalgte stofgrupper og type af prøve.

			Stofgruppe					
			Dioxin	Metaller	Organotin	Phthalater	PFAS	BFR
August	Muskel	Agersø						
		Frederiksværk						
		Roskilde						
	Æg	Agersø						
		Frederiksværk						
		Roskilde						
November	Muskel	Agersø						
		Frederiksværk						
		Roskilde						
	Unger	Agersø						
		Frederiksværk						
		Roskilde						
	Lever	Agersø						
		Frederiksværk						
		Roskilde						

1 puljet prøve
 Ikke analyseret

Analysemetoder

Samtlige analyser er udført af akkrediterede laboratorier ifølge de tekniske anvisninger for NOVA/NOVANA (Pedersen et al. 2004a-c; Strand & Dahllöf 2005), eller af ikke-akkrediterede laboratorier udpeget af Miljøstyrelsen (*Annex 1, tabel 1*). Analysemetoder, detektionsgrænser og usikkerhed for samtlige stoffer findes i *Annex 1, tabel 2*.

Usikkerheder er angivet som usikkerhed mellem dobbeltprøver for selve ålekvabbeanalysen, eller som de akkrediterede usikkerheder, når der ikke fandtes nok prøvemateriale til dobbeltanalyser.

Vurdering af forskelle mellem lokaliteter

Da der kun var en prøve per station og prøvetype, var det ikke muligt at gennemføre statistisk verificering af forskel mellem lokaliteter ved brug af replikater. Da prøverne omfattede en pulje af 10-20 individer, blev det antaget at analyseresultaterne kunne give god vurdering af middeleksponeringen på de forskellige lokaliteter. Der blev derfor brugt analyseusikkerheder for at estimere sandsynligheden for forskelle mellem lokaliteter.

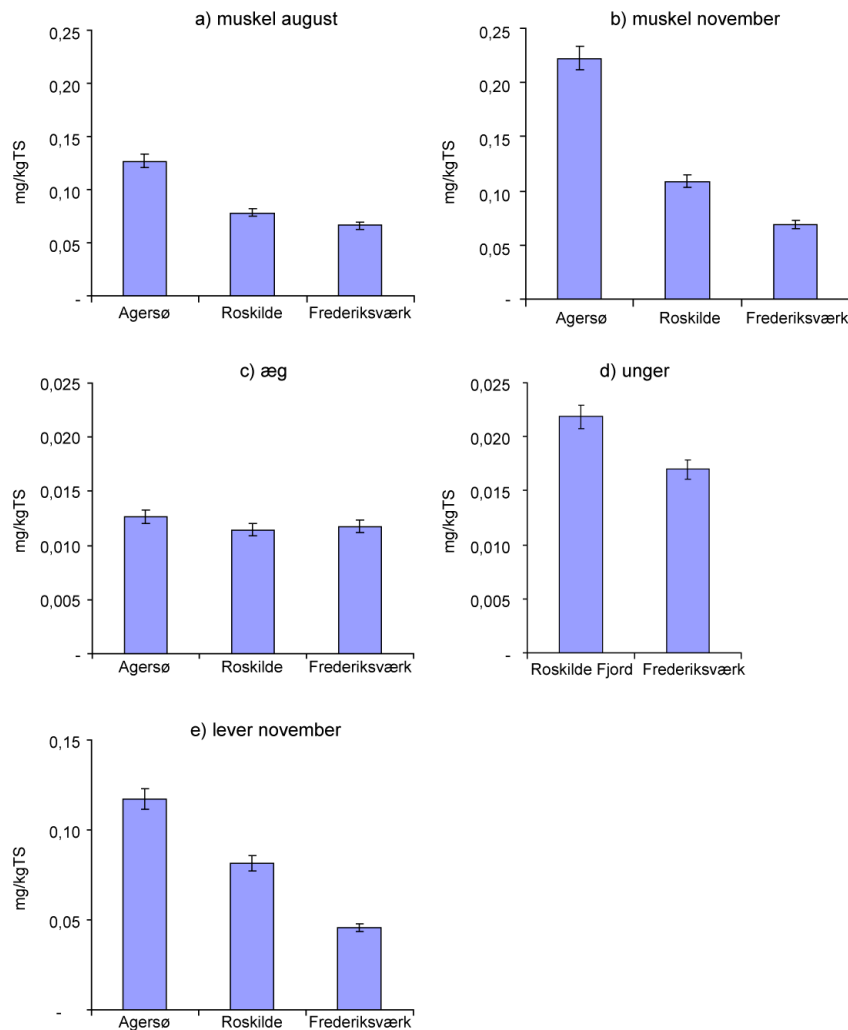
Lipidindhold blev også målt i de forskellige prøvetyper, dels som et mål for ålekvabbernes energitilstand (se delrapport II), men også for at kunne vurdere om forskelle i koncentration af de lipofile stoffer kun skyldes forskelle i lipidindhold og ikke i belastning.

Resultater

Tungmetaller

Der blev analyseret for kviksølv (Hg), kadmium (Cd), kobber, (Cu) og bly (Pb) i æg, lever, muskel og unger.

De højeste koncentrationer af kviksølv blev fundet ved Agersø (figur 4).

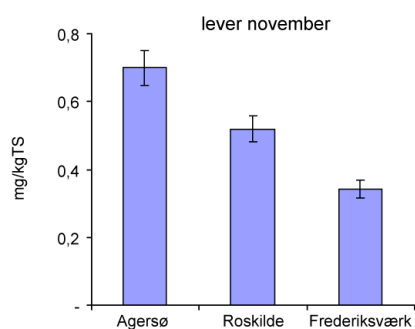


Figur 4. Kviksølv (Hg) i ålekvalbe i 2009. a) muskel august, b) muskel november, c) æg, d) unger november, e) lever november. Der blev ikke målt på unger fra Agersø i november. TS = tørstof.

Der var en lille øgning i kviksølvkoncentrationer i muskel fra august til november, og unger indeholdt lidt mere end æg, hvilket tyder på, at der er en kontinuerlig overførsel fra moderfisk til ungerne. Kviksølv vurderes ikke at tilhøre de stoffer,

som er årsag til misdannelser, idet de højeste koncentrationer fandtes ved Agersø.

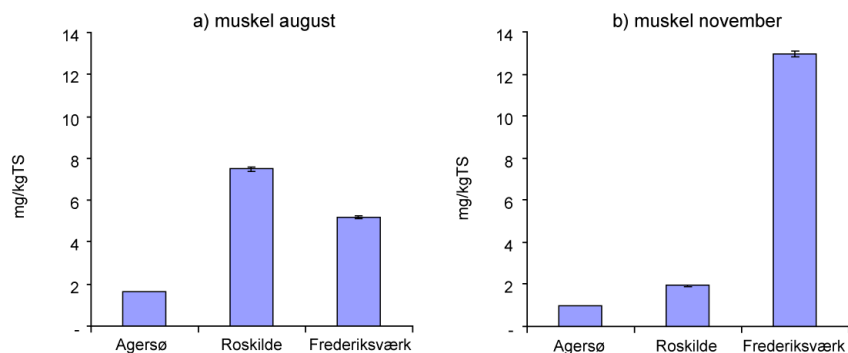
Kadmium kunne ikke detekteres i muskelvæv i august, og kun i lever overskred kadmium den akkrediterede detektionsgrænse på 0,05 mg/kg TS (*figur 5*). Kadmium kunne dog detekteres i andre prøver, men usikkerhederne var store, idet koncentrationerne var under den akkrediterede detektionsgrænse.



Figur 5. Kadmium (Cd) i ålekvabbelever i november 2009.

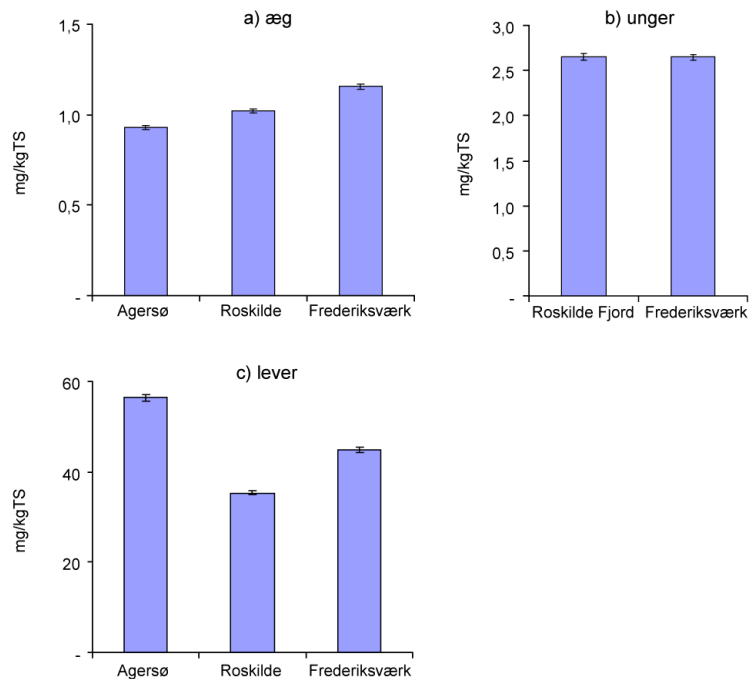
Der var ikke nogen direkte sammenhæng til misdannelser, eftersom Agersø var den lokalitet hvor koncentrationen var højest. Dog er denne vurdering svag i det koncentrationerne af kadmium i de fleste målinger var under den akkrediterede detektionsgrænse.

Kobber var det tungmetal, som forekom i de højeste koncentrationer (*figur 6, 7*). I august og november var der mest i muskelvæv ved Roskilde Fjord og Frederiksværk. Koncentrationerne ved Agersø og Roskilde mindskedes over tid, hvorimod der var en stigning ved Frederiksværk (*figur 6a, b*).



Figur 6. Kobber i muskel i 2009 i a) august, b) november.

Roskilde og Frederiksværk var også de lokaliteter, hvor der var mest kobber i æg (figur 7), men forskellen mellem lokaliteter var ikke så stor som i muskel. Niveaue af kobber i unger var ens i Roskilde og Frederiksværk i november (figur 7), og højere end i æg, hvilket tyder på et optag over tid begge steder. De højeste koncentrationer i lever blev fundet ved Agersø (figur 7c).



Figur 7. Kobber (Cu) i ålekvabbe i 2009. a) æg b) unger november, c) lever november. Der blev ikke målt i unger fra Agersø i november.

Roskilde og Frederiksværk er de lokaliteter, hvor belastningen af kobber var højest, ifølge koncentrationerne i muskel hos hunner, hvilket giver en sammenhæng til forekomst af misdannelser. Selv om koncentrationerne i hunner kun i mindre grad er afspejlet i æg, kan en forhøjet metalbelastning for hunner også have konsekvenser for unger.

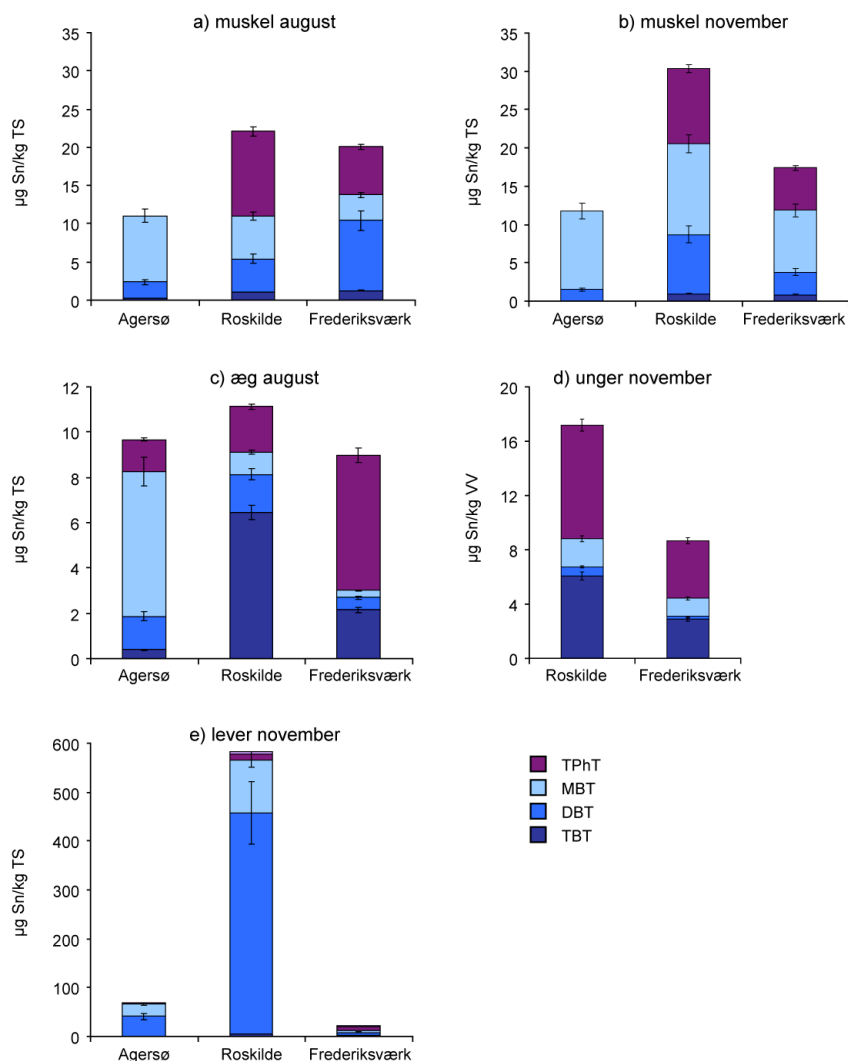
For bly var der kun få målinger over detektionsgrænsen, så sammenhængen med misdannelser kan ikke vurderes.

Organotin

Roskilde og Frederiksværk havde de højeste koncentrationer af tributyltin (TBT) og triphenyltin (TPhT) (figur 8a, b), hvilke er de mest toksiske organotinforbindelser. Dibutyltin (DBT), der er mellemtrin i nedbrydningen, fandtes også i de højeste koncentrationer ved Roskilde og Frederiksværk, hvorimod det efterføl-

gende nedbrydningsprodukt monobutyltin (MBT), som er meget mindre toksisk, dominerede i Agersø. Specielt i Roskilde, men også ved Frederiksværk, var der en stigning i organotin over tid, hvilket tyder på et kontinuerligt optag.

Det var også MBT som dominerede i æg fra Agersø, hvorimod de mere toksiske TBT og TPhT dominerede ved Roskilde og Frederiksværk (figur 8c). I unger dominerede stofferne TBT og TPhT, og Roskilde havde de højeste koncentrationer. Roskilde var også den lokalitet, hvor de højeste koncentrationer blev fundet i lever i november, men denne gang drejede det sig om DBT (figur 8e), hvilket tyder på en høj omsætning af TBT.



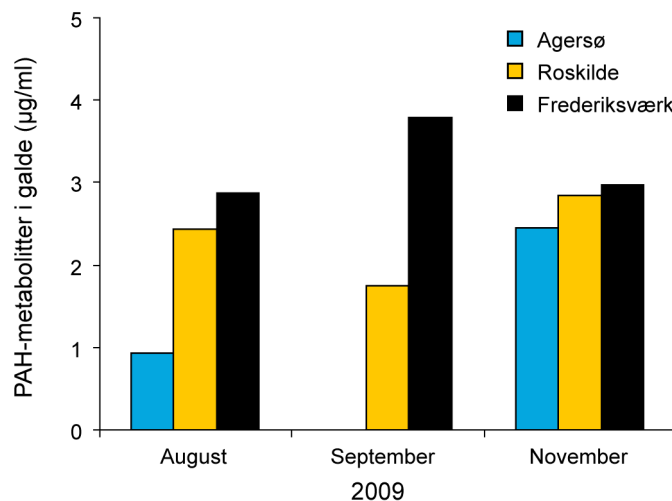
Figur 8. Organotin i ålekvabbe i 2009. a) muskel august, b) muskel november, c) æg, d) unger november, e) lever november. Der blev ikke målt miljøfarlige stoffer i unger fra Agersø i november.

Der var en tydelig sammenhæng mellem forekomst af TBT, DBT og TPhT og misdannelsesfrekvens. Nedbrydningsproduktet MBT dominerede ved Agersø, hvorimod det ved Roskilde og Frederiksværk var TBT, DBT samt TPhT som dominerede. TPhT detekteres fortrinsvis i fisk sammenlignet med andre marine prøvetyper (Strand & Jacobsen 2005).

PAH-metabolitter

Fisk nedbryder PAH via P450-enzymssystemet (se *Delrapport II*), og derfor finder man sjældent PAH i fiskeprøver. Men PAH-metabolitterne kan måles i galde, hvilket giver et billede af eksponeringen inden for de seneste dage op til uger. Den primære PAH-metabolit i fiskegalde er 1-hydroxypyren.

PAH-metabolitter i galde blev målt ved prøvetagningerne i august, september og november. I august var eksponeringen højest i Roskilde og ved Frederiksværk, hvorimod eksponeringen i november var ens på de tre lokaliteter (*figur 9*). Der kunne ikke fanges fisk i Agersø i september, men resultaterne fra Roskilde og Frederiksværk peger mod, at eksponering disse steder var forholdsvis konstant, hvorimod der var en øgning ved Agersø.



Figur 9. PAH-metabolitter i ålekvabbe i 2009. Der blev ikke målt PAH-metabolitter ved Agersø i september, da der ikke kunne fanges fisk.

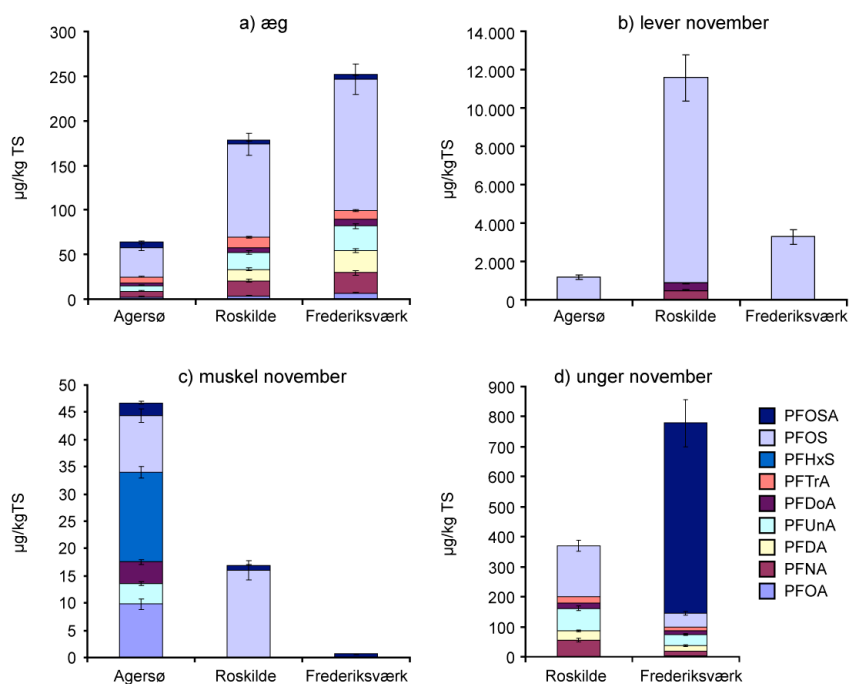
PAH'er kan tilhøre de stofgrupper, der kan forårsage misdannelser, da PAH-eksponeringen var markant højest ved Roskilde og Frederiksværk i august, hvilket formodes være den mest følsomme periode i udvikling af unger.

Perfluorerede stoffer (PFAS)

Mange perfluorerede stoffer bruges til imprægnering og beskyttelse af overflader. PFOS er ofte det dominerende stof, og er såvel et moderstof som et nedbrydningsprodukt af andre PFAS.

Roskilde og Frederiksværk var de steder, hvor indholdet i æg var højest (figur 10a), og PFOS dominerede alle tre steder. PFOS dominerede også i lever (figur 10b), hvor de højeste koncentrationer i november blev fundet ved Roskilde.

Agersø havde de højeste koncentrationer i muskel fra november (figur 10c), og dette var den eneste prøve, hvor modersubstansen PFHxS forekom. I unger var der forskel i stofsammensætning mellem Roskilde og Frederiksværk (figur 10d), hvor Frederiksværk havde en høj forekomst af modersubstansen PFOSA, hvilket ikke er afspejlet i de andre prøver fra det samme område.



Figur 10. PFAS-koncentrationer i ålekvabbe i 2009. a) æg, b) lever november, c) muskel november, d) unger november. Der blev ikke målt miljøfarlige stoffer i unger fra Agersø.

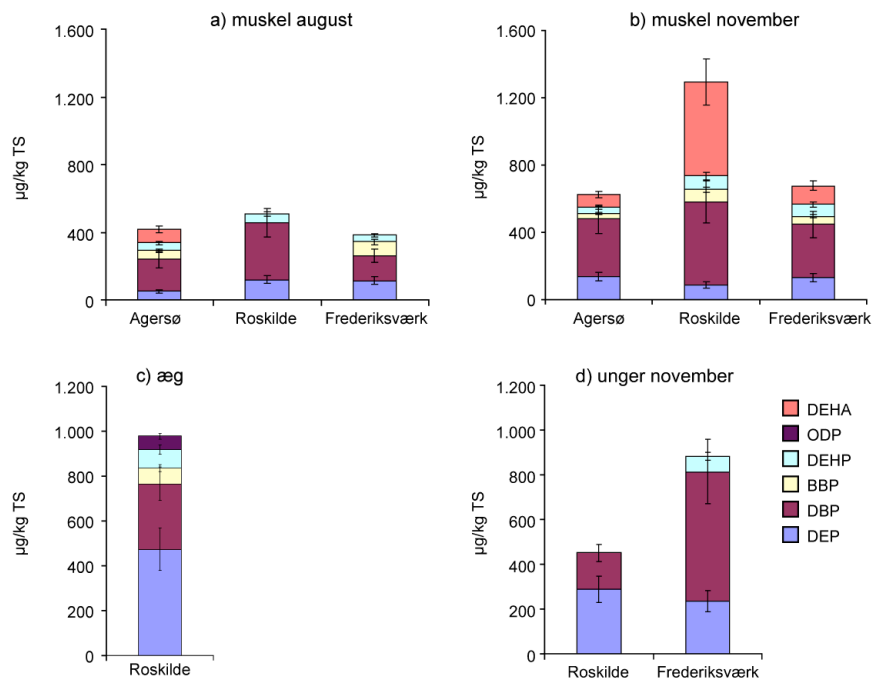
De højere koncentrationer i æg- og leverprøver fra Roskilde og Frederiksværk peger på PFAS som mulig årsag til misdannelser.

Phthalater

Phthalater (blødgørere i plastic) fandtes i muskeltvæv på alle lokaliteter i august og november (figur 11a, b). Koncentrationerne var generelt højere i november end i august, specielt i Roskilde, hvor også diethylhexyladipate (DEHA) blev fundet i høj koncentration (figur 11b).

Indholdet i æg fra Roskilde fjord var to gange højere end i muskel, og fordelingen af stoffer var noget anderledes (figur 11c). For eksempel kunne butylbenzylphthalate (BBP) og octylphthalate (ODP) detekteres i æg, men ikke i muskel.

Forekomsten af phthalater i unger var højere ved Frederiksværk end i Roskilde, hvilket er modsat den samtidige forekomst af stofferne i muskel. DEHA, der forekom i muskeltvæv, kunne ikke detekteres i unger.



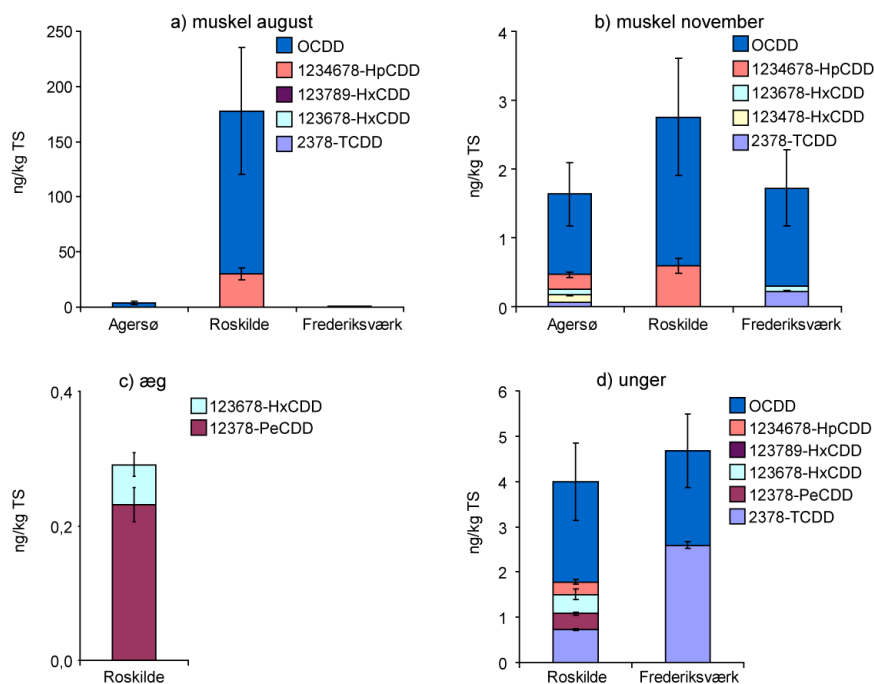
Figur 11. Phthalater i ålekvalbe i august 2009. a) muskel august, b) muskel november, c) æg, d) unger november.

Eftersom phthalater omsættes i organismer, er det svært at vurdere eksponeringen. Der var en højere koncentration af phthalater i muskeltvæv ved Roskilde i august og november og en høj koncentration af phthalater i unger i Frederiksværk, og det kan derfor ikke udelukkes, at denne stofgruppe kan bidrage til forekomst af misdannelser.

Dioxin, furan og dioxinlignende PCB'er

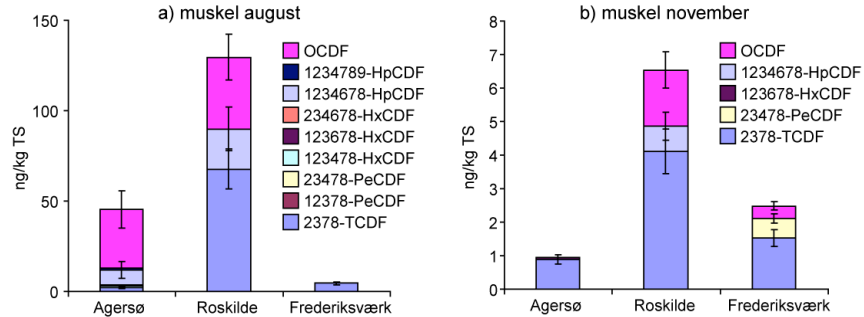
De højeste koncentrationer af dioxin i muskelvæv blev fundet i Roskilde i august, men også november, hvor koncentrationer dog var væsentligt lavere (figur 12a, b). Koncentrationerne i Frederiksværk og Agersø var mere ens – også over tid.

Der blev kun målt på æg ved Roskilde, og der var ca. 500 gange lavere end i muskel hos hunner (figur 12c). Der var også forskel på typen af dioxiner, som var til stede på det samme tidspunkt. Unger indeholdt derimod omtrentlig de samme koncentrationer og sammensætning af dioxin som de voksne i november (figur 12d). Dette tyder på, at der også sker en overførsel fra moder til unger i løbet af efteråret.



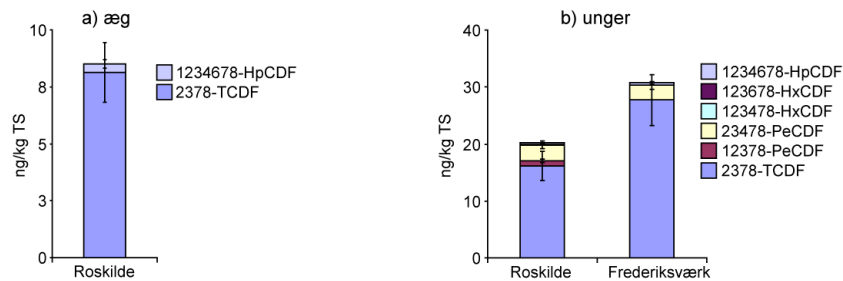
Figur 12. Dioxiner i ålekvabbe i 2009. a) muskel august, b) muskel november, c) æg august, d) unger november.

De højeste koncentrationer af furaner i muskel blev fundet i Roskilde i august og november (figur 13a, b), og koncentrationerne faldt med tiden. Ved Frederiksværk var koncentrationerne lavere end ved Agersø i august, men højere i november.



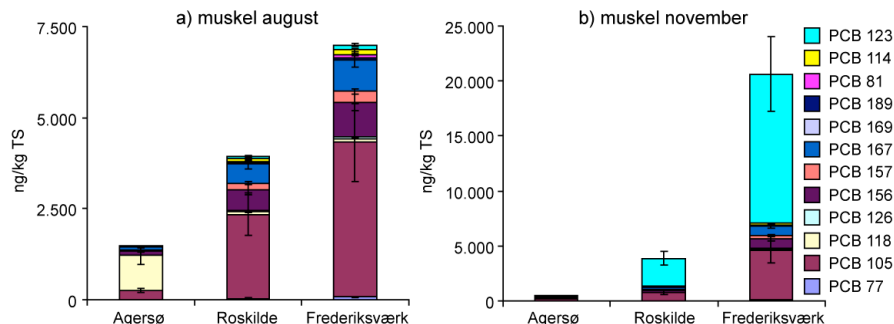
Figur 13. Furaner i ålekvalbe i 2009. a) muskel august, b) muskel november.

Ved Roskilde var koncentrationerne af furaner mere 15 gange højere i muskel hos hunner end i æg på det samme tidspunkt (figur 14a og 13a). Octachlorodifuran (OCDF), der blev fundet i hunnerne, blev ikke registreret i æg. OCDF var heller ikke til stede i unger i november, hvor summen af furaner var 3-10 gange højere end i hunner på det samme tidspunkt. Også for furaner ser det ud til, at der sker en overførsel fra moder til unger i løbet af efteråret.



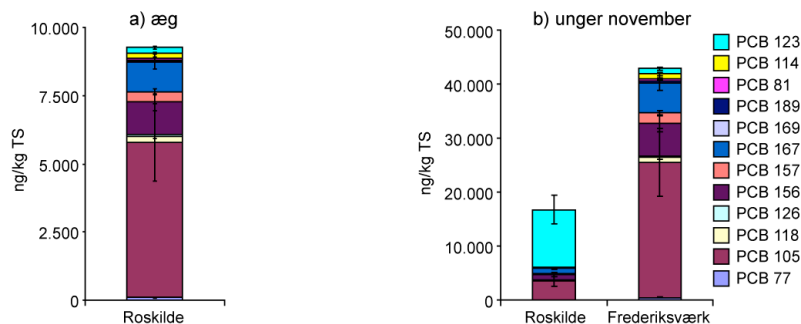
Figur 14. Furaner i ålekvalbe i 2009. a) æg, b) unger november.

Koncentrationerne af dioxinlignede PCB'er var 100-1.000 gange højere end koncentrationerne af dioxin og furaner. Højest var de i muskelvæv indsamlet ved Frederiksværk både i august og i september (figur 15a, b), hvor PCB 105 dominerede. I Roskilde fandtes de næsthøjeste koncentrationer. I Frederiksværk øgedes koncentrationerne til november, hvor PCB 123 dominerede. Den samme PCB dominerede også i Roskilde i november, men her var totalkoncentrationen dog lavere end i august.



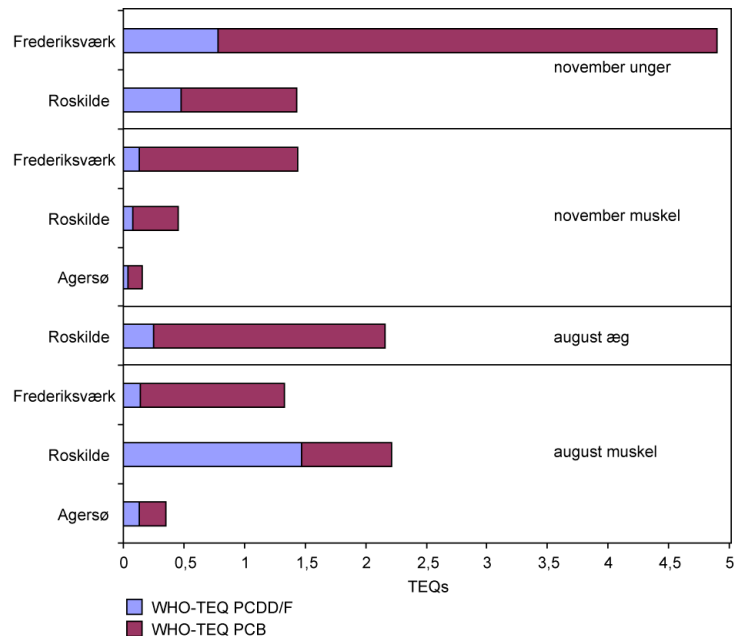
Figur 15. Dioxinlignede PCB'er i ålekvabbe i 2009. a) muskel august, b) muskel november.

Koncentrationen var dobbelt så høje i æg end i muskel hos hunner i august, og sammensætningen var ens (figur 16a og 15a). I unger var koncentrationerne 2-4 gange højere end i hunner i november (figur 16b og 15b). Sammensætningen af PCB'er i unger fra Roskilde var omtrent den samme som i hunnerne, hvorimod unger fra Frederiksværk ikke havde optaget PCB 123 i samme udstrækning.



Figur 16. Dioxinlignede PCB'er i ålekvabbe i 2009. a) æg, b) unger november.

Dioxiner, furaner og dioxin-lignende PCB'er kan vurderes samlet ved at regne koncentrationer om til toksiske ækvivalenter (TEQs). TEQs er baseret på en sammenligning af disse substanser og deres påvirkning af Ah-receptoren i mamalieceller. Derfor er de kun en indirekte indikation af toksicitet for fisk. En sammenligning af TEQ viste, at Agersø havde de laveste værdier, hvorimod Roskilde og Frederiksværk i 6 ud af 7 tilfælde havde en TEQ > 1 (figur 17). Bortset fra prøver fra Roskilde i august var det de dioxinlignede PCB'er som stod for størstedelen af toksiciteten.



Figur 17. Toksiske ækvivalenter (TEQs) af dioxinlignende PCB'er i ålekvabbe i 2009.

Forskellen i dioxin, furaner og dioxinlignende PCB'er i ålekvabbe kunne ikke forklares ved forskellene i lipidindhold mellem lokaliteter. Det betyder, at også belastningen af disse stoffer var højere ved Roskilde og Frederiksværk end ved Agersø.

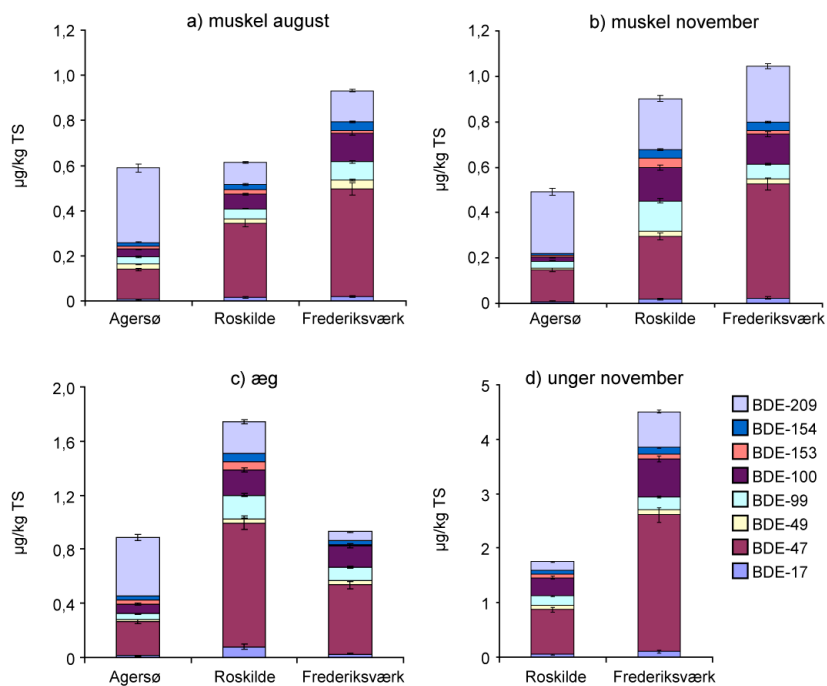
Dioxiner, furaner og dioxinlignende PCB'er kan være en del af årsagen til de observerede misdannelser, i det at såvel koncentrationer som toksiske ækvivalenter var markant højere ved Roskilde og Frederiksværk end ved Agersø.

Bromerede flammehæmmere

Bromerede flammehæmmere (BFR) er en gruppe af mange stoffer. Af dem som er målt i ålekvabbe, tilhører BDE-47, -85, -99, -100, -153, og -154 modersubstanser, som indgår i et kommercielt produkt. BDE-209 er også en modersubstans, men fra et andet produkt. Til nedbrydningsprodukterne hører BDE-17 og -49.

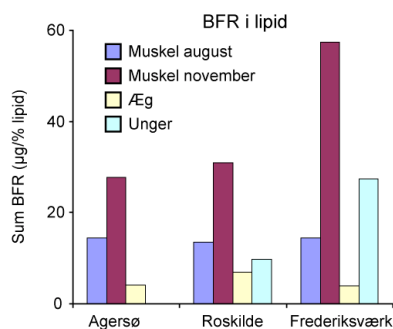
Koncentrationerne af BFR var højest ved Frederiksværk i muskelvæv indsamlet i august og november (figur 18). Ved Agersø var BDE-209 dominerende, hvilket peger på, at der er andre kilder til stede end ved Roskilde og Frederiksværk, hvor der overvejende fandtes BDE-47. Ved Roskilde og Frederiksværk steg koncentrationerne fra august til november, hvorimod der var en mindre nedgang i koncentrationer ved Agersø.

De højeste koncentrationer i æg blev fundet ved Roskilde (figur 18c), hvorimod den højeste koncentration i unger fandtes ved Frederiksværk (figur 18d).



Figur 18. Bromerede flammehæmmere i ålekvalbe. a) muskel august, b) muskel november, c) æg, d) unger november.

Da bromerede flammehæmmere bindes til lipider, kan det være relevant at normalisere koncentrationerne til lipidindhold (figur 19).



Figur 19. Sum af koncentrationer af bromerede flammehæmmere normaliseret til lipidindhold.

Stigningen i den normaliserede sum af bromerede flammehæmmere i muskelvæv fra august til november ved Agersø og Roskilde svarer til tab af lipid i hunderne over tid. Der er derfor sandsynligvis snarere tale om en opkoncentrering

end en øget belastning. Derimod er stigningen i muskel ved Frederiksværk 2,5 gange højere, end hvad der kunne forventes ud fra tab af lipid. Forholdet mellem BFR normaliseret til lipid i unger og i æg viste noget tilsvarende. Indholdet af lipid var højere i et kuld med unger end i æg, hvilket betyder, at der også er et optag over tid i Roskilde.

Det vurderes, at de bromerede flammehæmmere kan være en af de stofgrupper, der forårsager misdannelser, idet eksponeringen var højere ved Roskilde, og specielt ved Frederiksværk, end i Agersø.

Diskussion

En af antagelserne ved denne form for feltbaseret undersøgelser er, at stoffer, som forventes at være årsag til forekomst af misdannelser, burde forekomme i højere koncentrationer ved Roskilde og Frederiksværk end ved Agersø. Da der var visse forskelle i typerne af misdannelser på de to lokaliteter, kan der samtidigt forventes en forskel i typen af stoffer, som dominerer ved Roskilde og Frederiksværk. Det kan dog ikke udelukkes, at andre stoffer, end dem som er blevet målt i FORMÅL, også kan bidrage til misdannelser.

Da mange af stofgrupperne bliver metaboliseret og tilførslerne til miljøet kan variere over tid, har vi valgt at udpege stærke og svage kandidater af stofgrupper. Stærke kandidater er dels de stofgrupper, som i forhold til Agersø, forekommer i mindst en prøvetype ved enten Roskilde og Frederiksværk i mere end 5 gange forhøjede koncentrationer i august eller i november. Derudover er stærke kandidatstoffer, de som har mindst dobbelt så høje koncentrationer ved såvel Roskilde som Frederiksværk i enten august eller november. Dette betyder, at vurderingen er baseret på koncentrationer i hunner og æg, da unger ikke blev målt ved Agersø i november, og at kun visse stoffer blev målt i lever.

Det samlede billede af forekomst og koncentrationer af miljøfarlige stoffer peger på kobber, organotin, PAH'er, dioxin og dioxinlignende PCB'er samt bromerede flammehæmmere som stærke kandidater til at være årsag til de observerede misdannelser (*tabel 2*).

Kobber blev udpeget på baggrund af de forhøjede koncentrationer i muskel hos hunner i såvel august som november, og PAH-metabolitter pga. de forhøjede koncentrationer både ved Roskilde og Frederiksværk i august.

Organotin er også en stærk kandidatstofgruppe, da koncentrationerne af de mest toksiske forbindelser, tributyltin (TBT) og triphenyltin (TPhT), i alle prøvetyper var meget højere ved Roskilde og Frederiksværk end ved Agersø.

Dioxiner og furaner er også en stærk stofgruppe, eftersom den forekom i meget højere koncentrationer ved Roskilde både i august og november og i forhøjede koncentrationer ved Frederiksværk i november. Sammenligningen er baseret på indhold i hunner, da disse stoffer ikke blev målt i æg ved Agersø eller Frederiksværk.

De dioxinlignende PCB'er blev heller ikke målt i æg fra Agersø og Frederiksværk. Koncentrationerne i hunner ved Roskilde og Frederiksværk var stærkt forhøjede i hunner i november samt ved Frederiksværk i august, hvilket gør også denne stofgruppe til en stærk kandidat til at kunne forårsage misdannelser.

Tabel 2. Sammenligning af miljøfarlige stoffer i ålekvabbe mellem lokaliteter. Lysegrå, mellemgrå og mørkegrå felter angiver hhv. 2-4, 5-10 og > 10 gange højere koncentrationer end i Agersø. **Fed** skrift angiver en > 20 % øgning af koncentrationen fra august til november, og understreget en > 20 % mindskning. Kursiv angiver at sammenligninger ikke var mulige. i.d. = ikke detekteret, i.a. = ikke analyseret.

Stof	Agersø	Roskilde	Frederiksværk
Æg august			
Hg (mg/kg TS)	0,0	0,0	0,0
Cd (mg/kg TS)	i.d	0,0	i.d
Cu (mg/kg TS)	0,9	1,0	1,2
Pb (mg/kg TS)	i.d	i.d	i.d
ΣTBT,TPhT (µg Sn/kg TS)	1,8	8,5	8,1
ΣDioxin + furan (ng/kg TS)	i.a	8,8	i.a
ΣDioxinlign. PCB (ng/kg TS)	i.a	9 270	i.a
ΣPFAS (µg/kg TS)	18,5	64	42
ΣPhthalater (µg/kg TS)	i.a,	978	i.a
ΣBFR (µg/kg TS)	0,9	1,7	0,9
Muskel august			
Hg (mg/kg TS)	0,1	0,1	0,1
Cd (mg/kg TS)	i.d	i.d	i.d
Cu (mg/kg TS)	1,7	7,5	5,2
Pb (mg/kg TS)	i.d	i.d	i.d
ΣTBT,TPhT (µg Sn/kg TS)	0,2	12,2	7,5
PAH metabolitter (µg/ml)	0,9	2,4	2,9
ΣDioxin + furan (ng/kg TS)	49	307	5
ΣDioxinlign. PCB (ng/kg TS)	1 474	3 936	6 997
ΣPFAS (µg/kg TS)	i.a	i.a	i.a
ΣPhthalater (µg/kg TS)	417	505	383
ΣBFR (µg/kg TS)	0,6	0,6	0,9
Muskel november			
Hg (mg/kg TS)	0,2	0,1	0,1
Cd (mg/kg TS)	0,0	0,0	i.d
Cu (mg/kg TS)	<u>1,0</u>	<u>1,9</u>	13
Pb (mg/kg TS)	i.d	0,2	i.d
ΣTBT,TPhT (µg Sn/kg TS)	<u>0,0</u>	11	6,4
PAH metabolitter (µg/ml)	2,5	2,8	3,0
ΣDioxin + furan (ng/kg TS)	<u>2,6</u>	<u>9,3</u>	4,2
ΣDioxinlign. PCB (ng/kg TS)	<u>468</u>	3 849	20 627
ΣPFAS (µg/kg TS)	3,3	9,3	0,1
ΣPhthalater (µg/kg TS)	624	1 294	677
ΣBFR (µg/kg TS)	<u>0,5</u>	0,9	1,0

Bromerede flammehæmmer (BFR) er også en stærk kandidatgruppe, da der var forhøjede koncentrationer ved Roskilde i august (æg) og ved Frederiksværk i november. Denne udpegning er noget svagere, da der ikke var nogen kraftigt forhøjede koncentrationer, men kun forhøjede. Årsagen til at der ikke var større forskelle i forhold til Agersø var, at BDE 209 dominerede ved Agersø, hvorimod de andre BFR dominerede ved Roskilde og Frederiksværk. Hvis BDE 209 ikke medtages, da den forekom mest ved Agersø, hvor der ikke var misdannelser, bliver forskellene mellem Roskilde samt Frederiksværk i forhold til Agersø mindst dobbelt så stor i alle prøver (se også *figur 18*).

PFAS kan ikke udelukkes at tilhøre de stærke kandidater, men da datagrundlaget er mindre for denne stofgruppe, er denne vurdering mere usikker. Der er desuden mistanke om, at denne stofgruppe bidrager til at øge toksiciteten af andre stoffer, idet den øger gennemtrængeligheden af membraner.

Phthalater forekom generelt i høje koncentrationer, men det var kun i ét af tilfældene, at der var en forskel fra Roskilde og Frederiksværk til Agersø, og phthalater må derfor betragtes som en svag kandidatgruppe.

De øvrige målte tungmetaller forventes ikke at bidrage til misdannelser på disse udvalgte lokaliteter.

Der var også forskelle mellem Roskilde og Frederiksværk. Bromerede flammehæmmere og dioxinlignende PCB'er må betragtes som mere karakteristiske for Frederiksværk, hvorimod PFAS og dioxin var mere karakteristiske for Roskilde.

Der findes ikke information om dosis-respons sammenhæng for nogen af disse stofgrupper og misdannelser for ålekvabbe. Det er derfor vanskeligt at vurdere, hvor højre koncentrationerne i ålekvabbe skal være for at sandsynliggøre, at et stof er årsag til misdannelser. Derudover er det sandsynligt, at der også er kombinationseffekter af stofferne. Dette findes der endnu mindre information om for alle typer af organismer, specielt når det drejer sig om kombinationer af forskellige stofgrupper. Trin 2 i projektet har derfor som formål at undersøge sammenhæng i kontrollerede laboratorieforsøg.

Konklusioner og anbefalinger

Konklusionerne fra måleprogrammet er, at:

- kobber, organotin, PAH'er, dioxin, dioxinlignende PCB'er samt bromerede flammehæmmere er stærke kandidatstoffer, som kan være årsag til misdannelser,
- PFAS kan også tilhøre de stærke kandidatstoffer, og
- øvrige tungmetaller (kviksølv, kadmium og bly) er ikke kandidatstoffer på disse lokaliteter.


For at kunne verificere at de stærke kandidatstoffer kan være årsag til misdannelser anbefales, at

1. der gennemføres kontrollerede eksponeringsforsøg med ålekvalbe med såvel blandinger af stoffer som enkeltstoffer ifølge det planlagte Trin 2 i FORMÅL,
2. samtlige stærke kandidatstofgrupper bør indgå i blandingerne, herunder kobber, organotin, dioxin og dioxinlignende PCB'er samt bromerede flammehæmmere,
3. kobber, organotin, dioxin og dioxinlignende PCB'er er de stoffer som bør undersøges enkeltvis i de samme koncentrationer, som de har i blandingerne for at kunne vurdere blandingseffekter samt enkelte stoffers bidrag til effekter,
4. verificering af eksponering af ålekvalbe gennemføres efter forsøget er afsluttet ved kemiske analyser i muskel og/eller lever samt unger,
5. biomarkører måles samtidigt med vurdering af misdannelse for at kunne sammenligne respons af biomarkører i naturen med respons under kontrollerede forhold.

Referencer

- Halling-Sørensen, B., Petersen, G., Stuer-Lauridsen, F., Slothuus, T., Kinnberg, K. & Bjerregaard, P. 2008: Kemiske stoffer der kan føre til misdannelser i fisk. Indkredsning af stoffer ud fra deres biokemiske virkemekanisme. Rapport fra By- og Landskabsstyrelsen 2008, 112 s.
<http://www2.blst.dk/udgiv/Publikationer/2008/978-87-92256-41-6/pdf/978-87-92256-42-3.pdf>
- Pedersen, B., Larsen, M.M. & Dahllöf, I. 2004a: Teknisk anvisning for marin overvågning. 4.4 Miljøfarlige stoffer i muslinger. Danmarks Miljøundersøgelser. - Teknisk anvisning fra DMU's Marine Fagdatacenter: 19 s.
<http://www.dmu.dk/myndighedsbetjening/overvaagning/fagdatacentre/fdcmarint/tekniskeanvisningernovana20042009/>
- Pedersen, B., Larsen, M.M. & Dahllöf, I. 2004b: Teknisk anvisning for marin overvågning. 6.2 Miljøfarlige stoffer i fisk. Danmarks Miljøundersøgelser. - Teknisk anvisning fra DMU's Marine Fagdatacenter: 19 s.
<http://www.dmu.dk/myndighedsbetjening/overvaagning/fagdatacentre/fdcmarint/tekniskeanvisningernovana20042009/>
- Pedersen, B., Larsen, M.M. & Dahllöf, I. 2004c: Teknisk anvisning for marin overvågning. 5.4 Miljøfarlige stoffer i sediment. Danmarks Miljøundersøgelser. - Teknisk anvisning fra DMU's Marine Fagdatacenter: 22 s.
<http://www.dmu.dk/myndighedsbetjening/overvaagning/fagdatacentre/fdcmarint/tekniskeanvisningernovana20042009/>
- Strand, J., Andersen, L., Dahllöf, I. & Korsgaard, B. 2004: Impaired larval development in broods of eelpout (*Zoarces viviparus*) in Danish coastal waters. -- Fish Physiology and Biochemistry 30: 37-46.
- Strand, J. & Dahllöf, I. 2005: Teknisk anvisning for marin overvågning. 4.5 Biologisk effektmonitoring - muslinger. NOVANA. Danmarks Miljøundersøgelser. - Teknisk anvisning fra DMU's Marine Fagdatacenter: 15 s.
http://www2.dmu.dk/1_Om_DMU/2_Tvaerfunkt/3_fdc_mar/programgrundlag/TekAnv2004_2009/Del4/TA04_4_5_BEM_muslinger_12_12_05.pdf
- Strand, J. & Jacobsen, J. 2005: Accumulation and trophic transfer of organotins in a marine food web from the Danish coastal waters. - Science of Total Environment 350: 72-85.

- Strand, J. 2010: Biologisk effektmonitoring. - I: Hjorth, M. & Josefson, A.B. (red.); Marine områder 2008. NOVANA. Tilstand og udvikling i miljø- og naturkvaliteten, Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus universitet. s. 101-109. Faglig rapport fra DMU nr. 760. <http://www.dmu.dk/Pub/FR760.pdf>
- Stuer-Lauridsen, F., Gustavson, K., Møhlenberg, F., Dahllöf, I., Strand, J., Bjerregaard, P., Korsgaard, B., Rasmussen, T.H. & Halling-Sørensen, B. 2008. Misdannet ålekvabbeunger og andre biologiske effekter i danske vandområder. Litteraturudredning. Miljøministeriet, By- og Landskabsstyrelsen. 208 s. <http://www2.blst.dk/udgiv/Publikationer/2008/978-87-7052-384-4/html/default.htm>



Miljøministeriet
By- og Landskabsstyrelsen
Haraldsgade 53
2100 København Ø

Telefon 72 54 47 00
blst@blst.dk
www.blst.dk