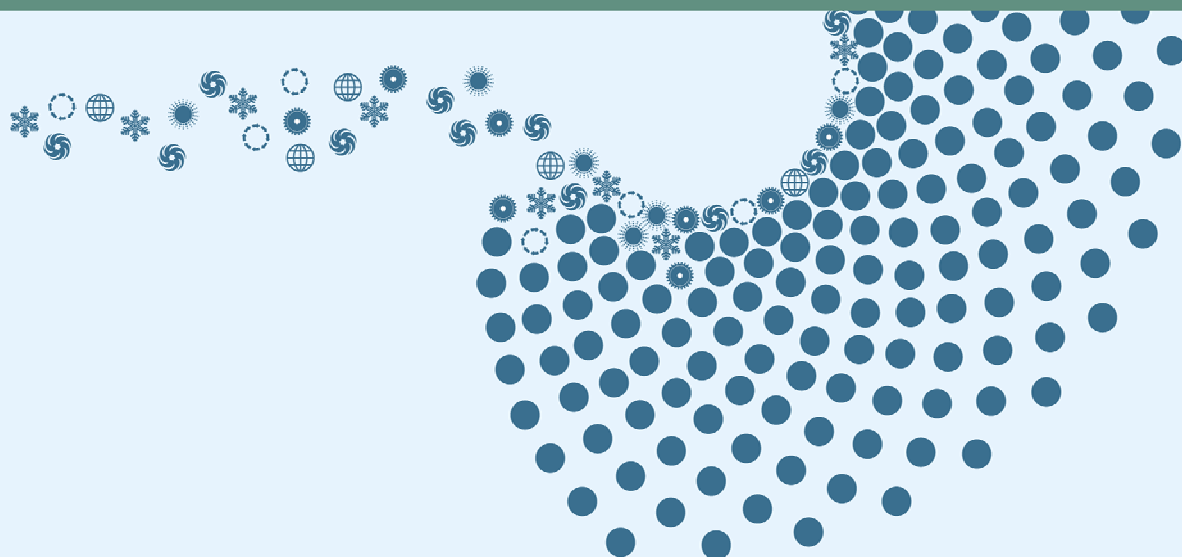


Analyse av sedimenter

KILDESPORING AV BROMERTE FLAMMEHEMMERE I  
ÅLESUNDSOMRÅDET

2441

2008



## **Analyse av sedimenter**

# **Kildesporing av bromerte flammehemmere i Ålesundsområdet**



## Forord

NIVA er engasjert av Statens forurensningstilsyn (SFT) til å gjennomføre undersøkelser av bromerte flammehemmere (BF) i sedimenter i fjordområder nær Ålesund. Arbeidet gjennomføres for nærmere å lokalisere kildene til observert forekomst av høye nivåer av bromerte flammehemmere i fjordområdet.

Feltarbeidet ble gjennomført i november 2007 samtidig med innsamling av prøver for supplerende undersøkelser av miljøgifter i sedimenter i Ålesundsområdet i forbindelse med tiltaksplanen for Ålesund (TA-2426/2008) og ble dekket av SFT-kontrakt 5007190. Analyser og rapportering av selve analysearbeidet dekkes av SFT-kontrakt nr. 5008084.

Følgende personer var med under feltarbeidet:

John Arthur Berge, NIVA	Toktleder
Asbjørn Sævik	Skipper
Nils-Roar Hareide, Runde Miljøseniter	Lokal kontaktperson og fiskeribiolog
Suel Hussein Kassembo	Hjelpemann
Leif Arne Håhjem	Tekniker

Alle analyser av BF og tribromanisol er gjennomført av NILU med Ellen Katrin Enge som kontaktperson og faglig ansvarlig. Støtteparametere (unntatt tribromanisol) er analysert av NIVA.

Dateringen av sedimentprøver ble foretatt av Thorbjørn J. Andersen ved Gamma Dating Center i København.

Kontaktperson hos SFT i forbindelse med feltarbeidet og rapportering har vært Bård Nordbø. John Arthur Berge har vært prosjektleder hos NIVA.

Oslo, 10. oktober 2008

John Arthur Berge

---



## Innhold

<b>Sammendrag</b> .....	<b>6</b>
<b>Innledning</b> .....	<b>10</b>
<b>1. Metoder</b> .....	<b>12</b>
1.1 Feltarbeid .....	12
1.2 Stasjoner .....	17
1.3 Analyse av støtteparametere .....	21
1.4 Analyser av HBCDD og PBDE .....	22
1.5 Multivariate analyser .....	22
1.6 Datering .....	24
<b>2. Resultater og diskusjon</b> .....	<b>26</b>
2.1 Støtteparametere (forklaringsvariabler) .....	26
2.2 PBDE i overflatesediment .....	31
2.3 HBCDD i overflatesediment .....	35
2.4 TBA i overflatesediment .....	38
2.5 Geografiske gradienter .....	40
2.6 Multivariate analyser .....	41
2.6.1 HBCDD-, PBDE- og forklaringsvariabler .....	41
2.6.2 PBDE-konsentrasjoner .....	44
2.6.3 HBCDD-konsentrasjoner .....	45
2.6.4 Konsentrasjonsoppsummering .....	46
2.6.5 Mønster av PBDE .....	48
2.6.6 Mønster av HBCDD .....	50
2.7 Datering .....	53
2.7.1 PBDE i datert sediment .....	54
2.7.2 HBCDD i datert sediment .....	56
2.7.3 TBA i datert sediment .....	59
<b>3. Konklusjoner</b> .....	<b>61</b>
<b>4. Referanser</b> .....	<b>63</b>
<b>5. Vedlegg</b> .....	<b>65</b>
5.1 Vedlegg B – Analyseresultater PBDE .....	69
5.2 Vedlegg C – Analyseresultater HBCDD .....	73
5.3 Vedlegg D – Resultatet fra bestemmelse av bulk tetthet på sedimentprøver for datering .....	75
5.4 Vedlegg E – Dateringsrapport for Spjelkavika .....	76
5.5 Vedlegg F – Dateringsrapport for Tjørundet .....	81
5.6 Vedlegg G – Oppsummering av statistikk fra de multivariate analyser .....	86



## Sammendrag

---

*Det er tidligere observert høye konsentrasjoner av polybromerte difenyletere (PBDE) og heksabromsyklododekane (HBCDD) i Åsefjorden og omkringliggende fjordområder. Dette er forbindelser som er benyttet som bromerte flammehemmere (BF). For HBCDD kjenner en hovedkilden. I denne rapporten presenteres resultater fra undersøkelser gjennomført med tanke på å spore PBDE-kilden(e) i fjordområdet. Det var generelt vanskelig å påvise en entydig kilde for PBDE i resipienten og de fleste stasjonene hadde ganske likt PBDE-mønster. Noen få stasjoner hadde likevel et noe annerledes mønster, med høyere andel av lavere bromerte PBDEer. Dette kan tyde på at en har flere PBDE-kilder i området. En (muligens to) lavbromert kilde (penta-blanding) og minst en høybromert (decablanding) som gir en diffus spredning i hele området. Ut fra et giftighetssynspunkt er forekomsten av HBCDD i sedimentet trolig langt viktigere enn PBDE.*

---

Det er tidligere observert høye konsentrasjoner av bromerte flammehemmere (BF) i Åsefjorden og en del omkringliggende områder. Fokus har vært på polybromerte difenyletere (PBDE) og heksabromsyklododekane (HBCDD alternativt HBCD) som begge er observert i miljøprøver fra området. For HBCDD kjenner en hovedkilden som antas å ligge i Spjelkavika, mens hovedkilden for PBDE foreløpig er ukjent. Dette har ført til at SFT ønsket å lokalisere BF-kilden(e) nærmere ved analyse av PBDE, HBCDD og en del støtteparametere (mengde organisk karbon, andel finfraksjon og vanninnhold, samt tribromanisol=TBA) i overflatesedimenter på i alt 41 stasjoner spredt i Åsefjorden, Borgundfjorden, Spjelkavika, Tjørundet og øst og vest for Vegsundet. For å få bedre kjennskap til områdets eksponeringshistorie ble sedimentet på to stasjoner (Spjelkavika, Tjørundet) aldersdatert (<sup>210</sup>Pb-datering) og dypereleggende sediment analysert for BF. Feltarbeidet ble gjennomført i november 2007.

Resultatene for PBDE og HBCDD er klassifisert i henhold til SFTs klassifiseringssystem basert på giftighet (SFT TA 2229/2007). Kildesporingen er utført ved å vurdere konsentrasjonen i de ulike deler av resipienten opp mot hverandre. En har også foretatt multivariate analyser (Principal komponent analyse=PCA og redundant analyse=RD) på datamaterialet for å se om en kan avdekke bakenforliggende mønstre som kan ha betydning for kildesporingen.



## PBDE

Konsentrasjonen av  $\Sigma$ PBDE i prøvene varierte fra 0,27 ng/g tørrvekt på stasjon 3 vest av Vegsundet til 1034 ng/g tørrvekt på stasjon 12 ut for Rabbevågen, dvs. en faktor på 3830 mellom høyeste og laveste konsentrasjon. Selv om det er relativt høye totalkonsentrasjoner av PBDE i sedimentet på enkelte stasjoner så var konsentrasjonen av pentaforbindelsene såpass lave at det bare er en stasjon (st. 29 nær Spjelkavika) der en kan forvente toksiske effekter for bunnfauna. Enkeltforbindelsene BDE-206 og -209 var de eneste som ble observert i konsentrasjoner over deteksjonsgrensen på alle stasjonene, mens BDE-77 var under deteksjonsgrensen på alle stasjonene. I alle prøvene med unntak av en var BDE-209 den mest dominerende kongener og utgjorde med noen unntak mer enn 80 % av  $\Sigma$ PBDE.

Det var generelt vanskelig å påvise en entydig kilde for PBDE i resipienten og de kildeområdene som antydes var til dels avhengig av hvilken kildesporingsmetode som lå til grunn. Ut fra rene konsentrasjonsbetraktninger basert på  $\Sigma$ PBDE (tørrvektsbasis) kan vi utelukke området øst for Vegsundet som kilde for utslipp av større mengder PBDE. Det ser heller ikke ut som Spjelkavika er noen dominerende kilde for  $\Sigma$ PBDE totalt sett. Begge områder har imidlertid stasjoner med en spesiell kongenersammensetning som gir indikasjon på mindre lokale kilder.

Den høyeste konsentrasjonen på tørrvektsbasis ble observert rundt Tørla. Hovedkilden kan derfor ligge i dette området, men vi har ikke noe grunnlag for nærmere å fastslå hvor kilden ligger. Normaliseres konsentrasjonen av  $\Sigma$ PBDE mot TOC er det til dels andre stasjoner som blir fremtredende (3 stasjoner i Borgundfjorden og 3 stasjoner nordøst for Tørla). Den geografiske fordelingen av  $\Sigma$ PBDE i overflatesedimentet endres dermed en del ved normalisering av sedimentkonsentrasjonen til mengden organisk karbon. Det er likevel noen stasjoner som går igjen blant de med høye konsentrasjoner. Disse er stasjoner på Tørlas østre eller sydøstre side. Ut fra en totalvurdering basert på  $\Sigma$ PBDE antyder vi derfor at hovedkilden kan ligge i dette området, men det kan også være flere kilder som kamufleres av den diffuse belastningen.

Gradientanalyse ble gjort på TOC-korrigerede konsentrasjoner av PBDE, siden TOC varierer mye mellom stasjonene. De fleste stasjoner har høye konsentrasjoner av PBDE-209. De andre PBDEene, spesielt PBDE-47, -99, -100, -154, -153, -49/-71 (Gruppe 1), forekommer i lavere konsentrasjoner, men viser større variasjon mellom stasjonene i området. De høyeste konsentrasjonene av Gruppe 1 PBDEer ble funnet i Tjørsumområdet og to stasjoner i Spjelkavika. Også én stasjon øst for Vegsundet viser høye konsentrasjoner av Gruppe 1 PBDEer i forhold til de andre stasjonene i undersøkelsen. PBDE-209, 206 og -196 (Gruppe 2) varierer mindre mellom stasjonene. Stasjonene ved Tørla har høyt TOC-innhold.

Stasjoner med høye konsentrasjoner av PBDE-206 og -209 har også høy konsentrasjon av TBA. Variasjonen i konsentrasjonene av Gruppe 1 og Gruppe 2 PBDEer mellom stasjoner ser ikke ut til å være relatert. Dette betyr at lav- og høybromerte PBDEer kan ha forskjellige kilder i området, antakelig knyttet til bruk av henholdsvis Penta- og Deca-PBDE blandinger. Stasjonsdyp forklarte noe av variasjonen i PBDE-konsentrasjoner, med høyere konsentrasjoner med økende dyp.

PBDE-mønsteret var generelt likt mellom stasjonene, og var dominert av PBDE-209, som støtter en diffus kilde i form av en deca-blanding. Noen stasjoner skiller seg ut med lavere PBDE-209 og høyere relativt bidrag av lavtbromerte PBDEer. Dette er spesielt for et par stasjoner nær Spjelkavika og 2 stasjoner i området øst for Vegsundet. Dette kan muligens tyde

på lokale kilder i disse områdene. Kongenersammensetningen antyder imidlertid at disse kildene i tilfelle er forskjellige. Kongenersammensetningen i Spjelkavika indikerer at påvirkningen er fra en penta-blanding, mens kongenersammensetningen på de to stasjonene øst for Vegsundet har en annen opprinnelse eller er et resultat av nedbrytning.

### HBCDD

Konsentrasjonene av  $\Sigma$ HBCDD varierte mellom 0,24 og 38884 ng/g tørrvekt, dvs. en faktor på ca. 162000 mellom høyeste og laveste konsentrasjon. Konsentrasjonsforskjellene i resipienten er dermed mer enn en størrelsesorden større for HBCDD enn for PBDE. HBCDD-konsentrasjonene var såpass høye at en på hele 29 av i alt 41 stasjoner kan forvente toksiske effekter på bunnfauna. Ut fra et giftighetssynspunkt er derfor forekomsten av HBCDD i sedimentet trolig viktigere enn PBDE. Tilsvarende som i tidligere undersøkelser, dominerer  $\gamma$ -HBCDD i alle sedimentprøvene etterfulgt av  $\alpha$ -HBCDD og  $\beta$ -HBCDD. Den laveste konsentrasjonen ble observert i et grunnområde (1,5 m) nord for Blindheimsneset. Den høyeste konsentrasjonen ble observert på 34,2 m dyp utenfor Spjelkavika. Resultatene tyder på at så godt som hele undersøkelsesområdet er påvirket av HBCDD, men i svært varierende grad. De aller høyeste konsentrasjonene ble observert i Spjelkavika- og Tjørsumområdet. Det er imidlertid også verdt å merke seg at den grunne st 30 i Spjelkavika inneholdt relativt lave konsentrasjoner. Resultatene endrer ikke på oppfatningen av at hovedkilden til forekomsten av HBCDD ligger i Spjelkavika.

TOC-korrigerede HBCDD-konsentrasjoner minker med avstand til Spjelkavika. Mens stasjoner i Spjelkavika, Tjørsumdet og Åsefjorden generelt har høye HBCDD-konsentrasjoner, har stasjonene øst for Vegsundet, i Ålesundsområdet og i Borgundfjord lavere HBCDD-konsentrasjoner.

### Datering

For begge de daterte kjernene avtok  $^{210}\text{Pb}$ -konsentrasjonen eksponentielt med dypet, men med noen uregelmessigheter i den dypere delen av kjernen fra Spjelkavika. Resultatene ble likevel tolket som tilfredsstillende til å kunne gi en rimelig god datering. I sedimentkjernene fra begge lokaliteter ble det observert  $^{137}\text{Ce}$  i sediments dypere deler. Dette tyder på at det har vært en viss bioturbasjon (sedimentblanding). Prøveinnsamlingen og noen av analyseresultatene tyder totalt sett på at sedimentene i Spjelkavika var mer forstyrret enn de som ble innsamlet fra Tjørsumdet. Vi har derfor mest tiltro til resultatene fra Tjørsumdet og på grunn av usikkerhet ved en del av HBCDD-analysene også mer til PBDE-resultatene enn til HBCDD resultatene.

Dateringen tyder på at sedimentasjonshastigheten i gjennomsnitt er ca 1-2 mm pr år på stasjonen i Spjelkavika og 1,5-4 mm pr år på stasjonen nord for Tjørsumdet. Hovedmengden av PBDE lå i de øvre 10 cm av sedimentet i Tjørsumdet, mens en i kjernen fra Spjelkavika så en topp mellom 6 og 7 cm. Fordelingen av PBDE i ulike dyp av sedimentet antyder at tilførselene til stasjonen i Tjørsumdet tok til før 1966 og at de holdt seg stabilt høye i perioden 1982-2003 for deretter å opphøre eller bli redusert. Våre resultater kan tyde på at tilførselene til sedimentene i Tjørsumdet startet tidlig i forhold til det som er dokumentert i andre undersøkelser. Fordelingen i sedimentet fra Spjelkavika viser en topp som faller sammen med sediment avsatt for ca 50 år siden. Dette er tidlig i forholdt til når bruken av PBDE som flammehemmer startet og er trolig et artifakt som skyldes at kjernen som ble analysert for PBDE var forstyrret.

Det er visse likhetstrekk når det gjelder fordelingen av HBCDD og PBDE i prøvene fra Tjørundet. For begge grupper forbindelser ser det ut til å være reduserte tilførsler i Tjørundet de siste årene. For HBCDD ser det ut til at tilførslene startet mellom 1977 og 1982, dvs. litt etter PBDE, for så å avta de siste 1-3 år. Tar en utgangspunkt i de siste ca 20 årene så tyder resultatene på at tilførslene av HBCDD samlet har vært større til sedimentet i Spjelkavika enn til Tjørundet, dvs. motsatt av hva som ble observert for PBDE.

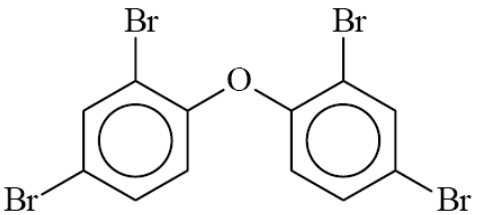
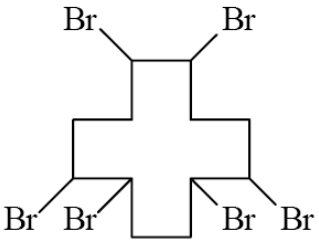
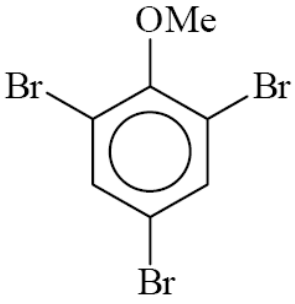
## Innledning

Det er tidligere observert høye konsentrasjoner av bromerte flammehemmere (BF) i Åsefjorden og en del omkringliggende områder (Fjeld et al. 2005, Berge et al. 2006). Noe av de er lite nedbrytbare, kan konsentreres i næringskjeden og er påvist i miljøprøver og i morsmelk. En del av stoffene har også vist helse- og miljøskadelige effekter. Fokus har blant annet vært på polybromerte difenyletere (PBDE) og heksabromsyklododekane (HBCD) som begge er observert i miljøprøver fra Åsefjorden.

Strukturformel for PBDE (difenyleter), HBCDD og den i hovedsak naturlig forekommende bromforbindelsen tribromanisol (TBA) ses nedenfor i **Figur 1**.

For HBCDD kjenner en hovedkilden til de høye konsentrasjonene som er observert i Åsefjordområdet. Observasjonene har i hovedsak blitt knyttet opp mot utslipp fra bedriften Brødrene Sunde AS i Spjelkavika som har brukt forbindelsen i sin produksjon av polystyren til blant annet isolasjonsformål. Stoffet har kommet særlig i fokus de senere år da det har vist seg å være tungt nedbrytbart i miljøet.

Resultater fra resipienten reiste imidlertid spørsmålet om en også kunne ha utslipp av bromerte flammehemmere fra andre typer virksomhet. Eksempelvis er Møre et område av landet der det gjennom mange år har vært drevet møbelproduksjon. Bromerte flammehemmere (BF) har trolig forekommet i tekstiler brukt av møbelindustrien, men undersøkelser tyder likevel ikke på at møbelindustrien i områder som Sykkylven og Stordal har vært noen stor kilde for utslipp av BF (Berge et al., 2007). Hovedkilden for PBDE i Åsefjordområdet er dermed ukjent. Dette førte til at SFT ønsket å gjøre et forsøk på å lokalisere kilden til de observerte forekomstene av PBDE i Åsefjordområdet ved analyse av BF i sedimenter. SFT engasjerte derfor NIVA til å foreta en slik undersøkelse.

<p>Polybromerte difenyletere (PBDE)</p>  <p>The structure shows two benzene rings connected by an oxygen atom at the para position. Each benzene ring has two bromine atoms attached at the meta positions relative to the ether oxygen, for a total of four bromine atoms.</p>	<p>Heksabromsyklododekan (HBCD)</p>  <p>The structure is a saturated 12-membered ring (cyclohexane derivative) with six bromine atoms attached to the ring carbons.</p>
<p>Tribromanisol (TBA)</p>  <p>The structure shows a benzene ring with a methoxy group (OMe) at the top position and three bromine atoms attached at the 2, 4, and 6 positions.</p>	

**Figur 1.** Strukturformel for PBDE (kun en kongener med 4 bromatomer er vist), HBCDD og TBA.

## 1. Metoder

### 1.1 Feltarbeid

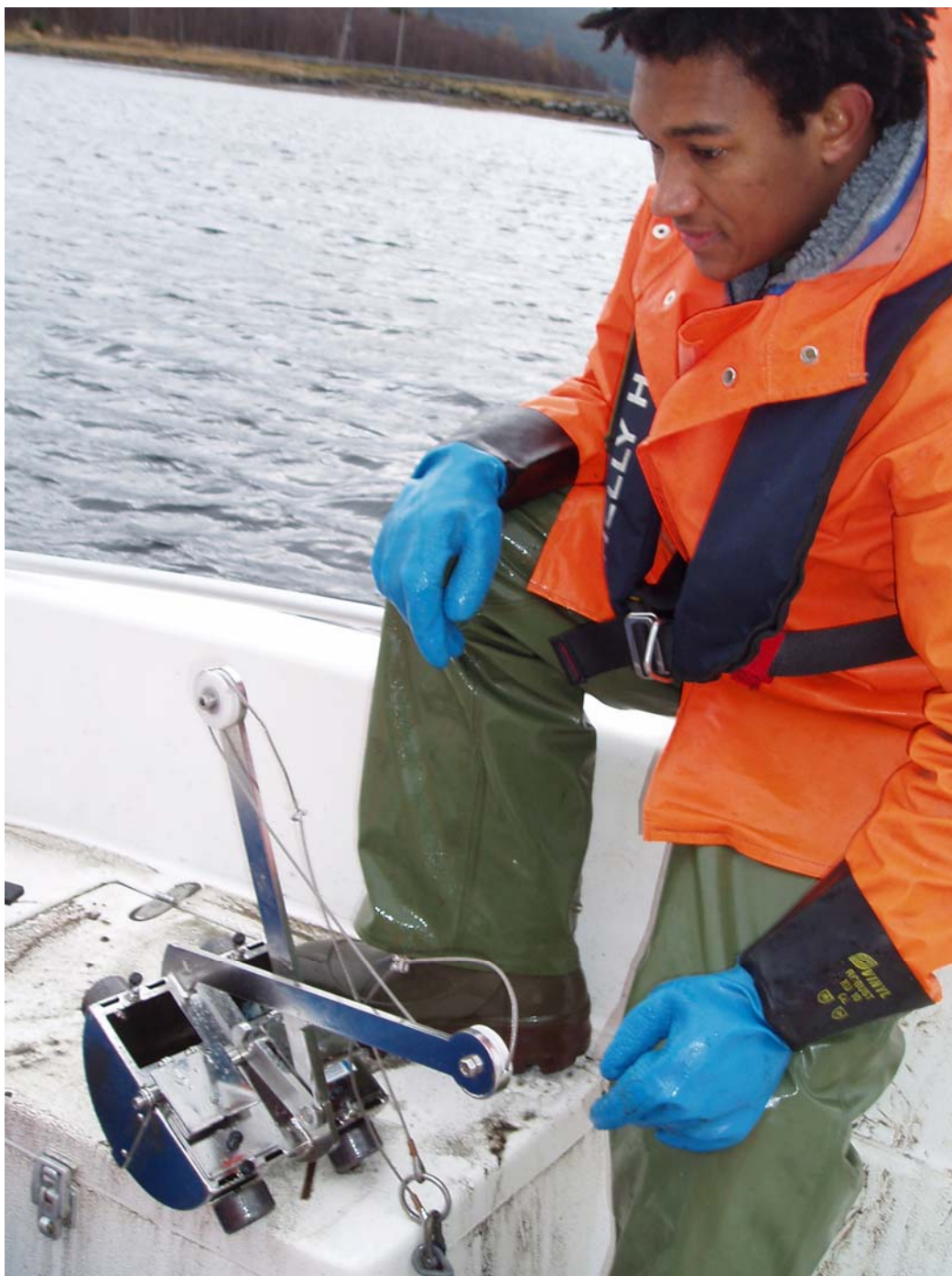
Feltarbeidet ble gjennomført i samarbeid med Runde Miljøsentre i perioden 12.-16. november 2007. Under feltarbeidet ble det benyttet en eldre 55 fots kystfiskebåt (M/S Sjøtun) (**Figur 2**) og en skjærgårdsjeep (Hansvik 5.60, 90 hk) på 18 fot.



**Figur 2.** Båt brukt under feltarbeidet.

Ved innsamling av sedimenter ble det benyttet 3 typer redskap, en liten og en stor van Veen grabb (se **Figur 3**, **Figur 4** og en dobbel Nimistö-corer (Geminicorer, **Figur 5**). Den lille grabben ble i hovedsak benyttet på de grunne stasjonene og Geminicorer og den store grabben på de dypere stasjonene. Fra de to grabbene ble sedimentet til prøvene tatt ut med skje fra en luke i grabbens overside. Prøvene fra Geminicoreren ble snittet med en forenklet snittmekanisme (**Figur 2**) bestående av en rørbit i gjennomsiktig plast med samme diameter som coreren og en plate i rustfritt stål (**Figur 6**).

På formiddagen den 13. november på stasjonen PBDE 37 satte den store grabben seg fast i bunnen. Grabben ble frigjort av innleid dykkerfirma dagen etter, men var ikke klar for bruk før på morgenen 15. november. Dette førte til at den lille grabben ble benyttet også på noen dypere stasjoner der førstevalget ville ha vært den store grabben.



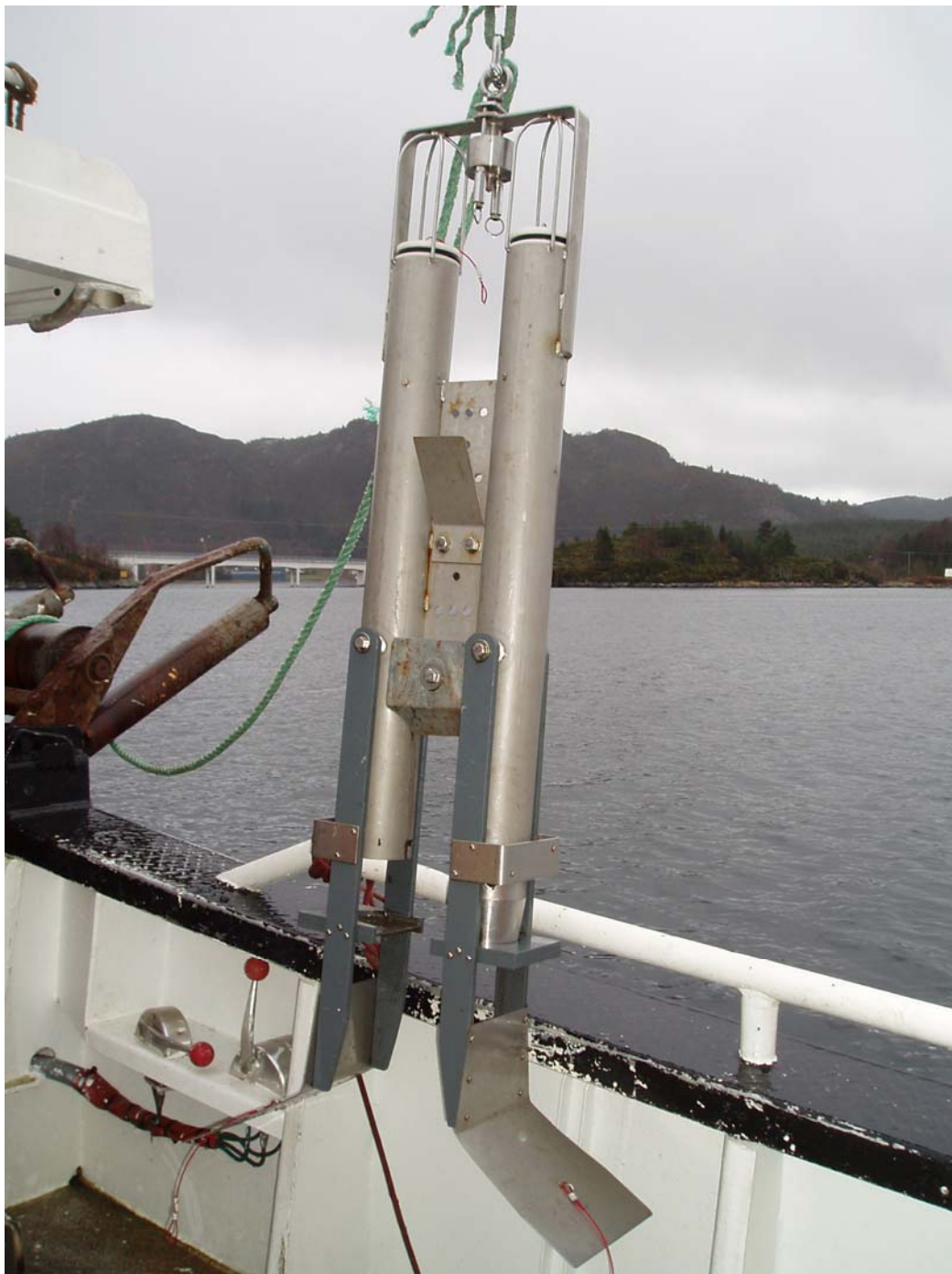
**Figur 3.** Liten langarmet van Veen grabb ombord i skjærgårdsjeep, Suel Hussein Kassembo ses også  
(Foto: Nils-Roar Hareide)





**Figur 4.** Stor langarmet van Veen grabb bringes ombord av Nils-Roar Hareide og Suel Hussein Kassembo. (Foto: John Arthur Berge)





**Figur 5.** Geminicorer (merk at rørene av plast som skal tres inn i de to rustfrie rørene på bildet ikke er med). (Foto: John Arthur Berge)

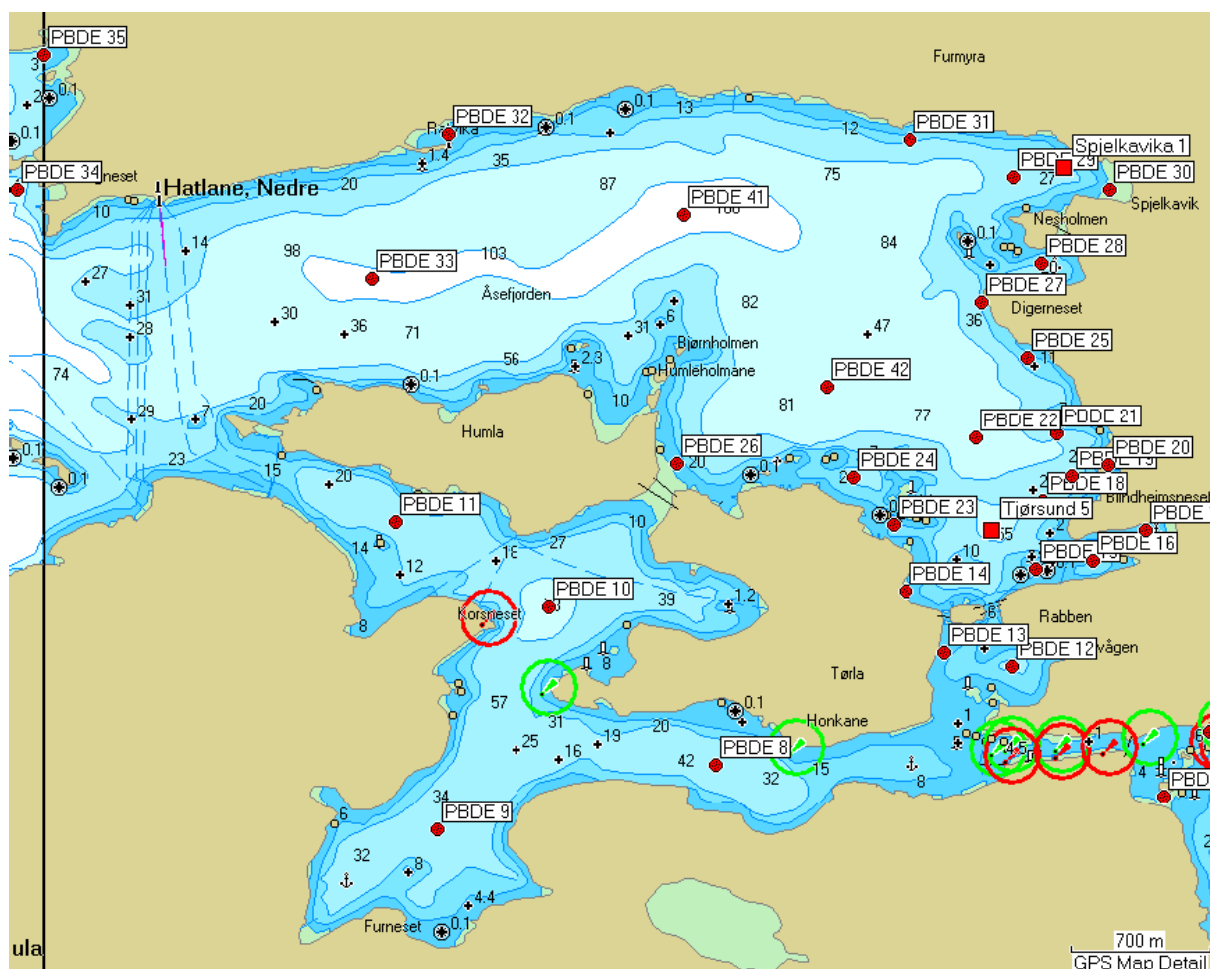


**Figur 6.** John Arthur Berge foretar snitting av sedimentkjerne fra Geminicorer. (Foto: Nils-Roar Hareide)

## 1.2 Stasjoner

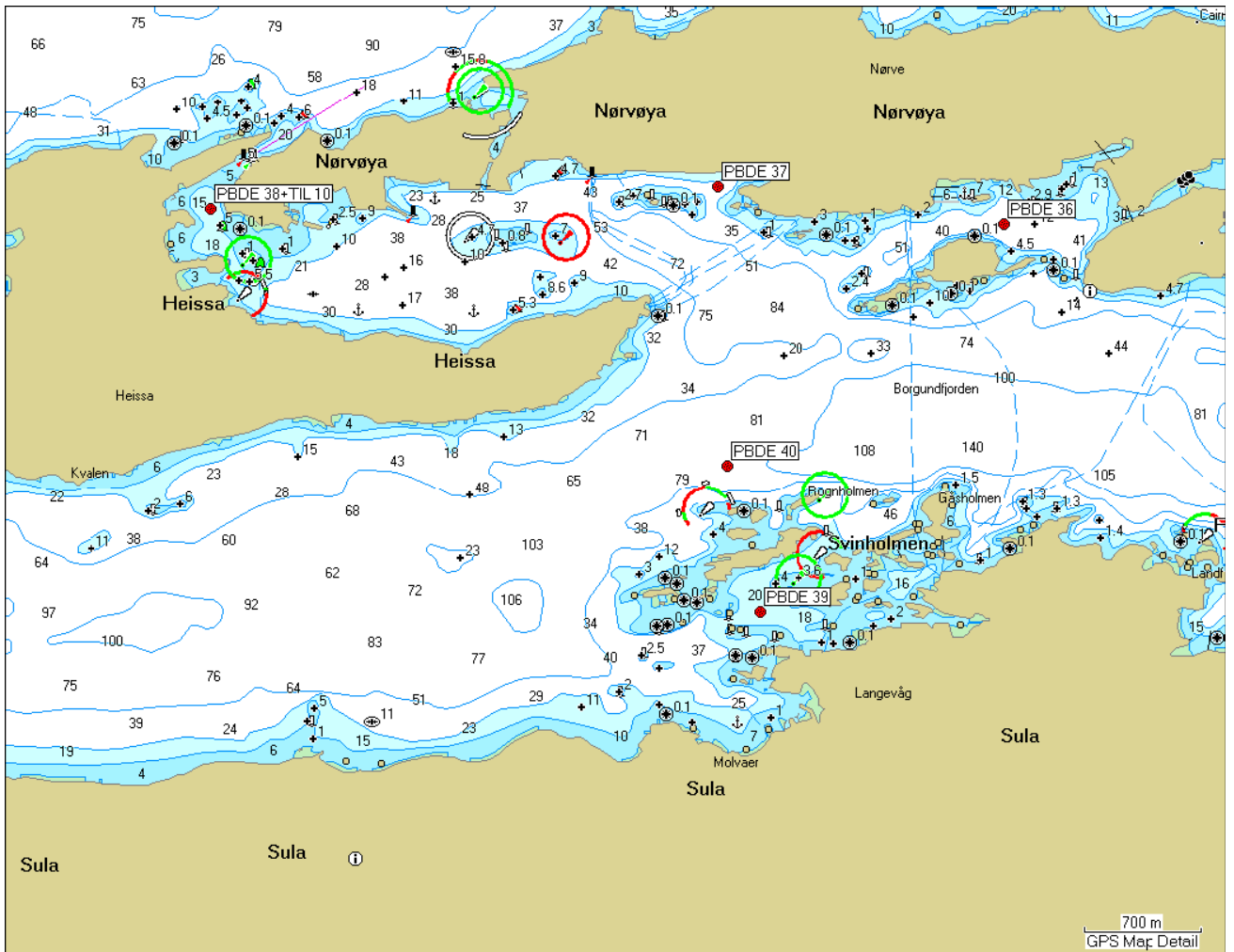
Stasjonsvalget ble gjort av NIVA og SFT i felleskap. Stasjonene som ble forsøkt prøvetatt for sedimenter ses i **Figur 7** til **Figur 9**. Enkelte stasjoner ble flyttet noe i forhold til tidligere opprinnelig stasjonsvalg fordi substratet ikke var egnet for prøvetaking. Det var likevel ikke mulig å få opp sediment på stasjon PBDE 7 og PBDE 14. På alle de øvrige stasjoner fikk en imidlertid opp sedimenter som ble vurdert egnet for analyse.

På alle stasjoner unntatt Spjelkavika 1 og Tjørsundet 5 ble det bare tatt prøver av overflatesedimentet (ca 0-1 cm) (2 parallelle prøver for hver stasjon). I Spjelkavika og Tjørsundet ble det imidlertid også tatt prøver av dypereliggende sediment (maksimalt ned til en dybde av 20 cm) for datering og analyse. På hver av disse stasjonene ble det tatt 4 kjerneprøver med Geminicoreren. Disse kjerner ble snittet i 1 cm intervaller fra overflaten og maksimalt ned til 20 cm. Angivelse av vanddypet på de enkelte stasjoner og en beskrivelse av sedimentene ses i **Tabell 10** og Vedlegg A i kapittel 5.



**Figur 7.** Stasjoner i Åsefjorden

Kildesporing av bromerte flammehemmere i Ålesundsområdet.  
(TA-2441/2008)



Figur 8. Stasjoner rundt Ålesund.

Kildesporing av bromerte flammehemmere i Ålesundsområdet.  
(TA-2441/2008)



Figur 9. Stasjoner i Vegsundet.

**Tabell 1.** Stasjoner hvor det ble innsamlet sediment i uke 46 2007. I tabellen vises stasjonsnavn, posisjon og gjennomsnittlig dyp (i meter) hvor de ulike prøver ble tatt

Stasjon	Posisjon	Gjennomsnittlig dyp (m)
PBDE 1	N62 25.636 E6 23.612	30,5
PBDE 2	N62 25.625 E6 22.488	35,0
PBDE 3	N62 25.776 E6 21.597	2,5
PBDE 4	N62 25.832 E6 22.905	14,0
PBDE 5	N62 25.950 E6 22.740	2,5
PBDE 6	N62 25.942 E6 22.363	15,0
PBDE 7	N62 25.954 E6 21.860	-
PBDE 8	N62 25.861 E6 18.963	41,0
PBDE 9	N62 25.683 E6 17.320	31,0
PBDE 10	N62 26.293 E6 17.979	57,5
PBDE 11	N62 26.522 E6 17.077	38,0
PBDE 12	N62 26.130 E6 20.705	21,6
PBDE 13	N62 26.167 E6 20.303	9,0
PBDE 14	N62 26.332 E6 20.079	5,0
PBDE 15	N62 26.395 E6 20.846	5,0
PBDE 16	N62 26.417 E6 21.178	12,0
PBDE 17	N62 26.501 E6 21.490	4,5
PBDE 18	N62 26.580 E6 20.882	-
PBDE 19	N62 26.649 E6 21.052	36,0
PBDE 20	N62 26.676 E6 21.267	1,5
PBDE 21	N62 26.763 E6 20.969	30,0
PBDE 22	N62 26.753 E6 20.490	64,5
PBDE 23	N62 26.514 E6 20.002	11,0
PBDE 24	N62 26.642 E6 19.766	23,0
PBDE 25	N62 26.972 E6 20.798	7,0
PBDE 26	N62 26.681 E6 18.734	4,0
PBDE 27	N62 27.124 E6 20.524	11,0
PBDE 28	N62 27.228 E6 20.875	20,0
PBDE 29	N62 27.463 E6 20.714	34,2
PBDE 30	N62 27.427 E6 21.278	0,5
PBDE 31	N62 27.564 E6 20.099	19,0
PBDE 32	N62 27.579 E6 17.387	8,5
PBDE 33	N62 27.185 E6 16.939	101,0
PBDE 34	N62 27.429 E6 14.845	12,7
PBDE 35	N62 27.793 E6 15.000	3,0
PBDE 36	N62 28.039 E6 12.656	43,9
PBDE 37	N62 28.161 E6 10.665	31,0
PBDE 38	N62 28.090 E6 07.139	18,7
PBDE 39	N62 26.793 E6 10.958	25,7
PBDE 40	N62 27.265 E6 10.735	101,0
PBDE 41	N62 27.362 E6 18.771	100,0
PBDE 42	N62 26.894 E6 19.609	78,0

**Tabell 2.** Stasjoner der det ble tatt prøver av dypereliggende sediment for datering og analyse.

Stasjon	Posisjon	Dyp, middel
Spjelkavika 1	N62 27.489 E6 21.003	14,0
Spjelkavika 1	N62 27.489 E6 21.003	14,0
Spjelkavika 1	N62 27.489 E6 21.003	15,6
Spjelkavika 1	N62 27.489 E6 21.003	15,6
Tjørsund 5	N62 26.501 E6 20.586	51,0
Tjørsund 5	N62 26.501 E6 20.586	51,0

### 1.3 Analyse av støtteparametere

Som støtteparametere ble sedimentene analysert for tørrstoffinnhold, partikkelstørrelse (den andelen av sedimentet som har en partikkelstørrelse mindre enn 64 µm (<64 µm fraksjonen) og total mengde organisk karbon (TOC). Støtteparametrene ble analysert av NIVA. En oversikt over analysemetodene ses i **Tabell 3**.

**Tabell 3.** Oversikt over anvendte analysemetoder.

*MSD=gasskromatograf med masseselektiv detektor. FID=flammeionisasjonsdetektor.*

Prøvetype	Parameter	Analysemetode
Sediment	Tørrstoffinnhold	NIVA-metode B-3. Frysetørking og gravimetri
Sediment	Partikkelstørrelse (fraksjon <64µm)	Frysetørking, tørrsikting og gravimetri
Sediment	TOC	NIVA-metode nr G 6. Katalytisk forbrenning av organisk materiale og deteksjon av CO <sub>2</sub> ved hjelp av en varmetrådsdetektor. Instrumentering: Carlo Erba Elementanalysator 1106, med prøveveksler AS 400 LS.

## 1.4 Analyser av HBCDD og PBDE

Analyse av BF og TBA ble foretatt av NILU. Prøvene ble lagret frosset og ble sendt fra NIVA til NILU i frossen tilstand.

Analysemetoden som ble benyttet følger de samme prinsippene som i NILU-O-2 som er akkreditert iht. NS-EN ISO/IEC 17025: 2005. Alle sedimentene ble tørket ved 40 grader celsius inntil fullstendig tørrhet.

Prøveopparbeidelse og analyse ble gjennomført etter intern standard metoden. Alle prøvene ble tilsatt et sett av relevante internstandarder før ekstraksjon. Ved tilsetning av intern standard holder man best mulig kontroll på utbyttet av ekstraksjon, samt tap av komponentene under opparbeidelse.

De samme forbindelsene ble så benyttet som intern standard ved kvantifiseringen. På denne måten ble prøveresultatene automatisk korrigert også for eventuelle selektive tap under ekstraksjon og opparbeidelse.

Sedimentene ble ekstrahert med soxhlet ekstraksjon i heksan/eter. Etter ekstraksjon ble prøvene behandlet for å fjerne svovelforbindelser fra sedimentene. Videre opprensing ble foretatt ved hjelp av svovelsyrebehandling, etterfulgt av en opprensing ved adsorpsjonskromatografi (silika). Ekstraktet ble så oppkonsentrert og tilsatt en gjenvinningsstandard før analyse.

Bestemmelse av PBDE ble utført ved hjelp av gasskromatografi kombinert med høyoppløsende massespektrometri (GC/HRMS). Bestemmelse av HBCDD ble utført ved hjelp av væskeskromatografi kombinert med massespektrometri (LC/MS).

NILU deltar årlig i sammenlignbare laboratorieprøvinger (SLP) for PBDE for å sikre kvaliteten av resultatene. Det finnes imidlertid svært få muligheter for deltagelse i SLP for HBCDD-gruppen. Den estimerte måleusikkerheten for PBDE er mellom 30 og 40 %, mens måleusikkerheten for HBCDD gruppen er estimert til ca 50 %. Til forskjell fra tidligere undersøkelser har det i denne undersøkelsen vært mulig å introdusere <sup>13</sup>C-merkede isotoper av alle de tre HBCDD-isomerene. Ved sammenlikning mellom resultater fra denne undersøkelsen og tidligere undersøkelser er det viktig å være klar over at  $\beta$ -HBCDD tidligere har vært noe underestimert.

## 1.5 Multivariate analyser

For å undersøke sammenhengen mellom innhold av bromerte forbindelser (HBCDD, PBDE, TBA) i overflatesedimentene mellom stasjonene har vi utført lineære multivariate statistiske ordinasjonsanalyser; prinsipal komponent analyse (PCA) og redundant analyse (RDA) basert på ter Braak and Prentice (1988). Analysene ble utført i programmet Canoco 4.5 for Windows (ter Braak and Šmilauer, 2002).

Ved hjelp av multivariat statistikk reduserer vi dimensjonene i datasettet for å identifisere om det finnes en underliggende struktur i variasjonen av responsvariablene (her: bromerte forbindelser) mellom prøvene (her: stasjonene). Ved indirekte ordinasjonsanalyse (PCA) tilegnes nye verdier til stasjonene og responsvariablene (her: PBDE, HBCDD og TBA) langs akser som representerer variasjonen i datasettet. Akse 1 forklarer mest av variasjonen, og Akse 2 forklarer mest av den gjenværende variasjonen (og er uavhengig av Akse 1).

I ordinasjonsdiagrammet angis stasjonene med deres nye verdier langs Akse 1 og Akse 2. De bromerte forbindelsene er visualisert ved hjelp av piler som peker i retning av økende verdi. Dermed har stasjoner som ligger i retning av pilen høyere forekomst av denne forbindelsen enn stasjonene andre steder i diagrammet. Bromerte forbindelser som viser liten variasjon



mellom stasjoner har kort pil, og lengde på pilen øker med grad av variasjon mellom stasjoner. Stasjoner som ligger nær origo har en gjennomsnittlig forekomst av de bromerte forbindelser, mens stasjoner som skiller seg fra gjennomsnittet ligger med økende avstand fra origo.

Videre er forholdet mellom de bromerte forbindelsene angitt ved hjelp av vinkelen mellom de respektive pilene. 0 eller 180° betyr henholdsvis helt positivt eller negativt korrelert, mens 90° mellom to piler betyr at disse to forbindelsene varierer uavhengig og ukorrelert.

For hver stasjon ble følgende miljøvariable bestemt: organisk karbon i sedimentet (TOC), fraksjon fint/grovt sediment (KORN), stasjonsdyp (DYP) og avstand til Spjelkavika (AVSTAND) undersøkt. AVSTAND ble bestemt ved hjelp av kart (MapSource med tilhørende Garmin GPS-program) med utgangspunkt i Spjelkavika. Den benyttede avstanden fra Spjelkavika til de ulike stasjoner er ikke korteste avstand, men avstanden over sjø bestemt ved summen av de rette linjestykkene som en må gå dersom en skal komme fra Spjelkavika til den enkelte stasjon med båt. For lettere å visualisere resultatene i ordinasjonsdiagrammene, er stasjonene delt opp i 7 underområder (**Tabell 4**). Ved presentasjonen av resultatene av de multivariate analysene er hver stasjon innen hvert underområde angitt med samme farge (se eksempel i **Figur 22**)

**Tabell 4.** Stasjoner med underområder.

Stasjon	Under-område	Stasjon	Under-område
PBDE 1	Vegsund Ø	PBDE 24	Tjørsund N
PBDE 2	Vegsund Ø	PBDE 25	Åsefjorden
PBDE 3	Vegsund Ø	PBDE 26	Åsefjorden
PBDE 4	Vegsund Ø	PBDE 28	Åsefjorden
PBDE 5	Vegsund Ø	PBDE 29	Spjelkavika
PBDE 6	Vegsund Ø	PBDE 30	Spjelkavika
PBDE 8	Vegsund V	PBDE 31	Åsefjorden
PBDE 9	Vegsund V	PBDE 32	Åsefjorden
PBDE 10	Vegsund V	PBDE 33	Åsefjorden
PBDE 11	Vegsund V	PBDE 34	Borgundfjorden
PBDE 12	Vegsund V	PBDE 35	Borgundfjorden
PBDE 13	Vegsund V	PBDE 36	Aspevågen
PBDE 14	Tjørsund N	PBDE 37	Ålesund
PBDE 15	Tjørsund N	PBDE 38	Ålesund
PBDE 16	Tjørsund N	PBDE 39	Borgundfjorden
PBDE 17	Tjørsund N	PBDE 40	Borgundfjorden
PBDE 19	Tjørsund N	PBDE 41	Åsefjorden
PBDE 20	Tjørsund N	PBDE 42	Åsefjorden
PBDE 21	Tjørsund N	Spjelkavika 1	Spjelkavika
PBDE 22	Tjørsund N	Tjørsund 5	Tjørsund N
PBDE 23	Tjørsund N		

Sammenhengen mellom miljøvariable/forklaringsvariable og variasjon i innhold av bromerte forbindelser ble undersøkt enten ved hjelp av indirekte ordinasjon (PCA) og ved hjelp av direkte ordinasjon (RDA). Ved indirekte ordinasjon (PCA) vises forklaringsvariablene som

passive variable i ordinasjonsdiagrammet. Det vil si at man kan se hvordan denne variabelen oppfører seg, men den vil ikke direkte påvirke plasseringen av stasjonene i diagrammet. Ved direkte ordinasjon (RDA) vil derimot plasseringen av stasjonen i diagrammet være bestemt ikke bare av innholdet av bromerte forbindelser, men også av forklaringsvariablene. For å teste signifikansen av forklaringsvariablene, ble Monte Carlo permuterings test (499 permuteringer) utført med forward selection av TOC, DYP, AVSTAND og KORN for best å forklare variasjonen av HBCDD-, PBDE- og TBA-konsentrasjoner mellom stasjonene.

PBB-15, PPB-53 og PBDE-77 hadde konsentrasjoner under deteksjonsgrensen (DL) ved alle stasjonene og ble ikke inkludert i de multivariate analysene. Bare  $\alpha$ -HBCDD,  $\gamma$ -HBCDD, PBDE-206, PBDE-209 ble funnet over DL ved alle stasjonene. Andre PBDEer som var under DL ved flere stasjoner ble bare inkludert i analysen dersom de var kvantifisert ved 18 eller flere av stasjonene, og da med  $0.5 \times DL$  for de manglende verdier. PBDE-28, -66, -85, 119 og -138 hadde flere enn 17 stasjoner med verdier under DL, og ble ekskludert fra sluttanalysene. Imidlertid viste innledende analyser at resultatene og tolking av data ikke ble endret med eller uten disse PBDEer.

Noen stasjoner hadde konsentrasjoner under DL for de fleste PBDEer, for eksempel ST\_3, ST\_4 og ST\_35. Dette er verdt å merke seg ved tolking av data.

To ulike analyser er gjort; én som ser på variasjonen i konsentrasjonsdata og én som ser på mønstervariasjon mellom stasjonene. Ved konsentrasjonsanalysene, ble dataene på tørrvektsbasis transformert ( $\log X$ ), mens ved mønsteranalyse er kongenerenes relative bidrag til totalen undersøkt.

## 1.6 Datering

I sedimentet akkumuleres radioaktive isotoper, deriblandt  $^{210}\text{Pb}$ . Aldersdatering av de øverste sedimentlagene og dermed beregningen av sedimentakkumulasjonsrater ble bestemt ved måling av  $^{210}\text{Pb}$  i ulike dyp av sedimentet. Det er to kilder til  $^{210}\text{Pb}$  i sedimentet: den atmosfæriske tilførsel (unsupported  $^{210}\text{Pb}$ ) og *in situ* dannelse i sedimentet (supported  $^{210}\text{Pb}$ ). Det er den atmosfæriske tilførselen av  $^{210}\text{Pb}$  som sammen med halveringstiden på 22,3 år danner utgangspunktet for dateringen. Forekomsten av  $^{137}\text{Ce}$  som ble introdusert rundt 1954 brukes som en indikasjon på om sedimentet er bioturbert (mixing).

Selve dateringen ble foretatt av Thorbjørn J. Andersen ved Gamma Dating Center i København (se kapittel for nærmere beskrivelse av metoden 5.4 og 5.5). Før prøvene ble oversendt for datering ble bulk tetthet (tørrvekt sediment pr våtvekt volum) bestemt og prøvene frysetørket.

To kjerneprøver ble datert, en fra Spjelkavika og en fra Tjørsundet. Prøvene ble datert fordi en ønsket å vite tidspunkt (årstall) for når de ulike dybdeintervallene var avsatt slik at en kunne velge ut de rette prøver for analyse av HBCDD og PBDE for å kunne beskrive utslippshistorien i resipienten. Merk at datering og analyse av BF ble gjort på to separate kjerner.

Prøve 1: Spjelkavika (Corer 4). Prøven er tatt på ca 15 m dyp i nærheten av Brødrene Sunde AS i Spjelkavika. Kjernen er snittet i intervaller på 1 cm ned til en dybde av 16 cm (dvs. 16 snitt).

Ved senere kjemisk analyse av BF viste det seg at sedimentet som en antok var avsatt så langt tilbake som for 93 år siden (11-12 cm ned i sedimentet) inneholdt "kuler", trolig uekstrudert polystyren fra Brødrene Sunde AS. Dette tyder på at kjernen som ble analysert for BF er noe forstyrret og at en dermed skal være forsiktig med å tolke resultatene fra den kjernen med hensyn til avsetningshistorie.

Prøve 2: Tjørsundet (Corer 2). Prøven er tatt på ca 51 m dyp i et område som burde være relativt uforstyrret. Kjernen er snittet i intervaller på 1 cm ned til en dybde av 20 cm (dvs. 20 snitt).

For begge områdene hadde en i utgangspunktet lite data for sedimentering. Trolig er den liten og på en lokalitet i Åsefjorden har vi tidligere observert en sedimentering av partikulært materiale på  $202,9 \text{ g/m}^3 \text{ år}$  (Berge et al. 2007).

## 2.

## Resultater og diskusjon

### 2.1 Støtteparametere (forklaringsvariabler)

Spredningen av en miljøgift i en resipient er en komplisert prosess styrt av bl.a. strømforhold, forekomst av terskler, dyp, eksponeringsgrad, topografi (horisontalt og vertikalt), sedimenteringsrate og resuspensjon (strømforhold ved bunnen). Det er også andre parametere i selve sedimentet enn miljøgiftkonsentrasjonen som kan være med å forklare den geografiske fordelingen av en miljøgift i bunnsedimenter i et område. De viktigste av disse er partikkelstørrelsesfordelingen, forekomsten av organisk bundet karbon og tørrstoffinnhold/vanninnhold. Andelen av finfraksjonen i sedimentet og TOC-innholdet kan under gitte betingelser samvariere med forekomsten av en organisk miljøgift fordi disse har en tendens til å adsorberes til finpartikulært materiale som også inneholder mye organisk karbon. I **Tabell 3** ses resultatene av analyse av en del støtteparametere i de innsamlede sedimentene fra Ålesundsområdet. Tabellen viser at mange av prøvene inneholder relativt mye organisk karbon.

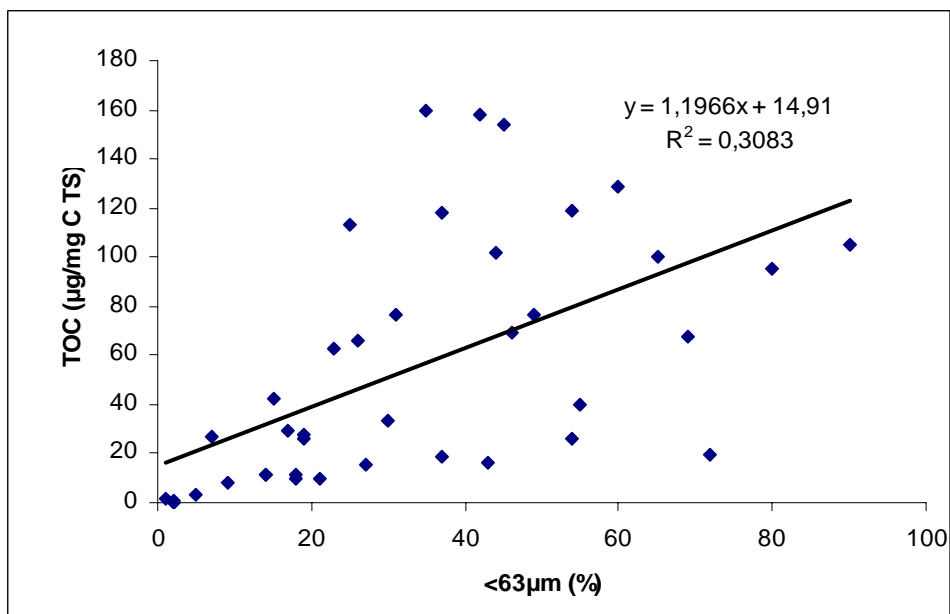
I prøvene er det en tendens til at TOC-innholdet øker med mengden finstoff i sedimentet, men sammenhengen er ikke spesielt god (**Figur 10**). Både andelen finstoff i sedimentene og TOC-innholdet økte når tørrstoffinnholdet avtok (dvs. vanninnholdet økte (**Figur 11** og **Figur 12**). Andelen av finstoff i sedimentet økte med dypet (**Figur 13**), mens TOC-innholdet ikke ser ut til å øke med dypet (**Figur 14**).

**Tabell 5.** Tørrstoffinnhold, andel finstoff (dvs. andelen av sedimentet med en partikkelstørrelse mindre enn 63 µm) og innhold av total mengde organisk karbon (TOC) i bunnsedimenter fra stasjoner i Åsefjorden og omkringliggende områder (se figur **Figur 7-Figur 9**). Beregnede verdier for TOC normalisert<sup>1)</sup> er klassifisert etter SFTs miljøkvalitetskriterier (Molvær et al. 1997)

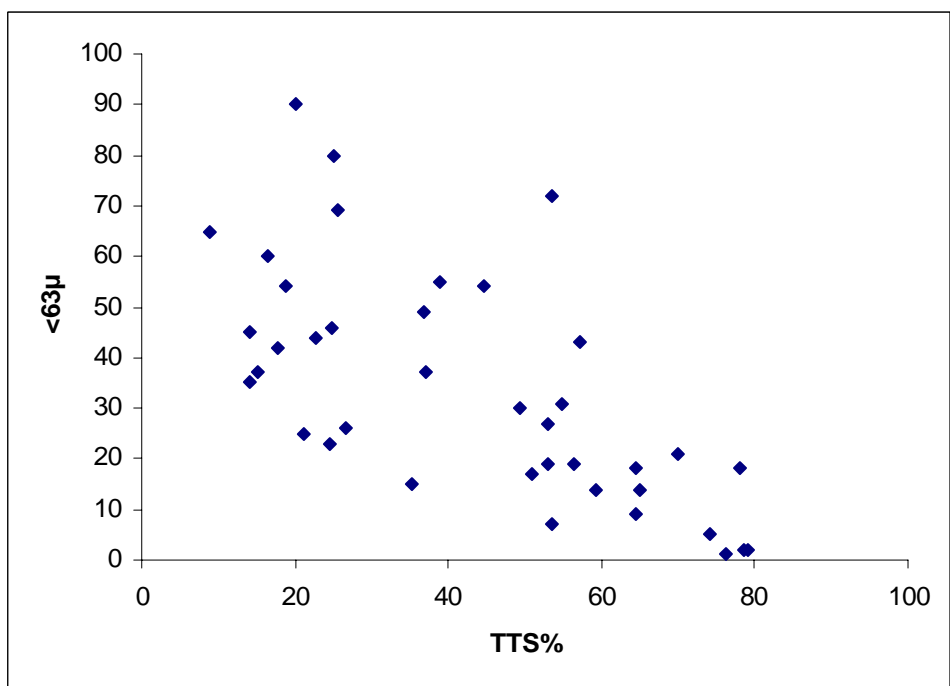
Tilstandsklasse	Tilstandsklasser	Markering
I	Meget god	Meget god
II	God	God
III	Mindre god	Mindre god
IV	Dårlig	Dårlig
V	Meget dårlig	Meget dårlig

Stasjon	Middel dyp (m)	TTS/ %	KORN<63µm % t.v.	TOC/F µg/mg C TS	TOC normalisert µg/mg
PBDE 1	30,5	53.4	72	19.7	24,74
PBDE 2	35,0	25.5	69	67.8	73,38
PBDE 3	2,5	78.5	2	1.0	18,64
PBDE 4	14,0	50.8	17	29.3	44,24
PBDE 5	2,5	52.9	19	27.5	42,08
PBDE 6	15,0	53.6	7	26.8	43,54
PBDE 8	41,0	15.2	37	118	129,34
PBDE 9	31,0	16.5	60	129	136,2
PBDE 10	57,5	8.9	65	100	106,3
PBDE 11	38,0	24.8	46	68.9	78,62
PBDE 12	21,6	14.0	45	154	163,9
PBDE 13	9,0	14.0	35	160	171,7
PBDE 14	5,0	24.6	23	62.8	76,66
PBDE 15	5,0	26.7	26	66.2	79,52
PBDE 16	12,0	21.1	25	113	126,5
PBDE 17	4,5	17.7	42	158	168,44
PBDE 19	36,0	57.3	43	15.9	26,16
PBDE 20	1,5	74.2	5	3.6	20,7
PBDE 21	30,0	64.9	14	11.2	26,68
PBDE 22	64,5	49.3	30	33.3	45,9
PBDE 23	11,0	64.5	18	11.2	25,96
PBDE 24	23,0	18.7	54	119	127,28
PBDE 25	7,0	59.2	14	11.5	26,98
PBDE 26	4,0	35.3	15	42.6	57,9
PBDE 28	20,0	22.6	44	102	112,08
PBDE 29	34,2	54.7	31	76.3	88,72
PBDE 30	0,5	76.2	1	1.8	19,62
PBDE 31	19,0	78.0	18	9.7	24,46
PBDE 32	8,5	64.5	9	8.5	24,88
PBDE 33	101,0	38.9	55	39.7	47,8
PBDE 34	12,7	70.0	21	9.4	23,62
PBDE 35	3,0	79.1	2	<1.0	<18,64
PBDE 36	43,9	44.6	54	25.8	34,08
PBDE 37	31,0	36.9	49	76.5	85,68
PBDE 38	18,7	56.3	19	26.4	40,98
PBDE 39	25,7	53.1	27	15.7	28,84
PBDE 40	101,0	37.2	37	18.6	29,94
PBDE 41	100,0	25.1	80	95.3	98,9
PBDE 42	78,0	20.1	90	105	106,8

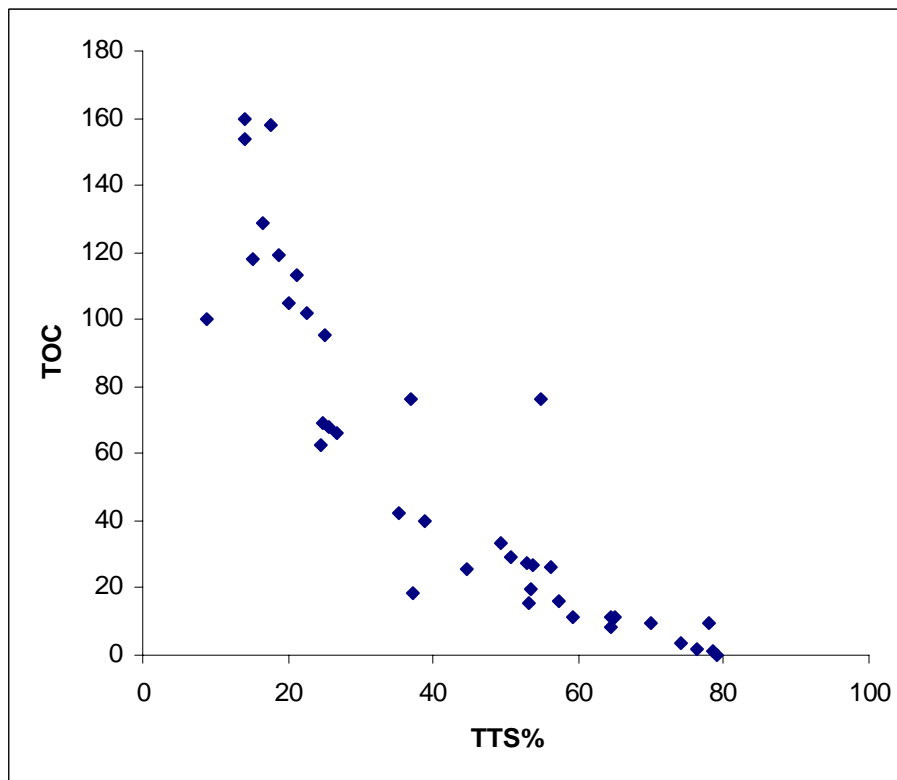
<sup>1)</sup> TOC normalisert = TOC<sub>målt</sub> + 18\*(1-F) hvor F er andelen finstoff



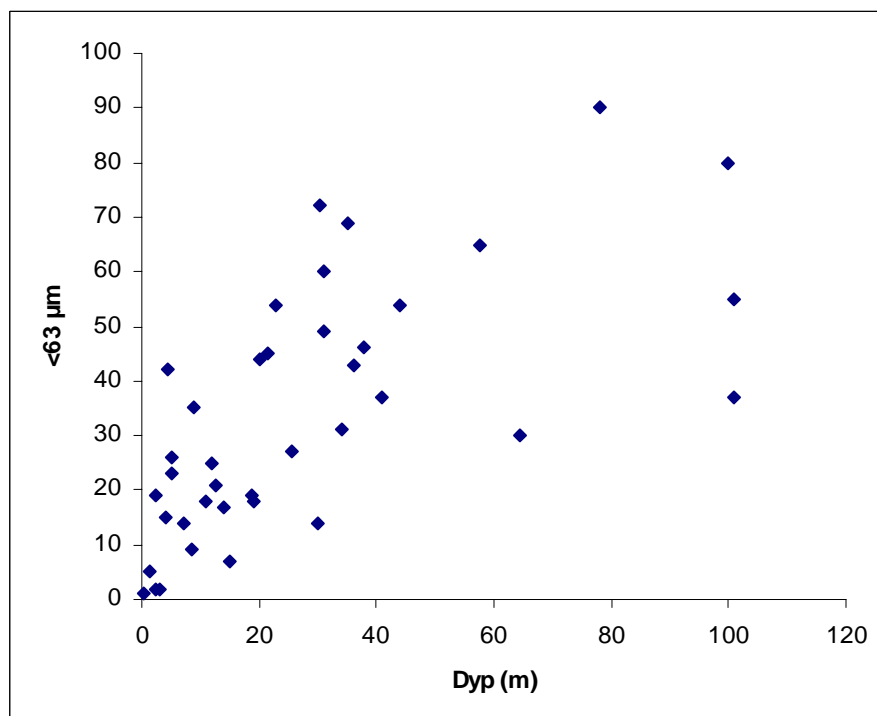
**Figur 10.** Innholdet av organisk karbon (TOC) i alle prøvene som funksjon av finfraksjonen i overflatesedimentet. Regresjonslinje er inntegnet.



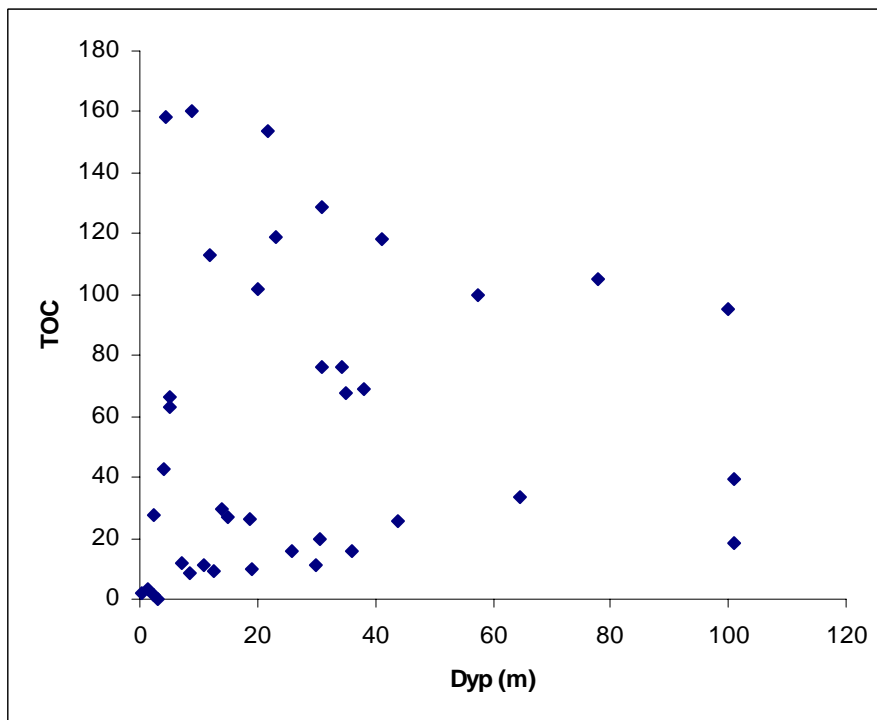
**Figur 11.** Andelen av finfraksjonen i sedimentet (i %) i alle prøvene som funksjon av tørrstoffinnholdet i overflatesedimentet.



**Figur 12.** Konsentrasjonen av organisk karbon i sedimentet ( $\mu\text{g}/\text{mg C TS}$ ) i alle prøvene som funksjon av tørrstoffinnholdet (TTS i %) i overflatesedimentet.



**Figur 13.** Andelen av finfraksjonen i sedimentet (i %) i alle prøvene som funksjon av dypet der sedimentprøvene ble tatt.



**Figur 14.** Mengden organisk karbon i sedimentet ( $\mu\text{g}/\text{mg C t.s.}$ ) i alle prøvene som funksjon av dypet der sedimentprøvene ble tatt.



## 2.2 PBDE i overflatesediment

Konsentrasjonen av  $\Sigma$ PBDE i prøvene varierte fra 0,27 på stasjon 3 til 1034 ng/g tørrvekt på stasjon 12 (**Tabell 6**), dvs. en faktor på 3830 mellom høyeste og laveste konsentrasjon. Stasjon 3 ligger sørøst for Vegsundet på relativt grunt vann der sedimentet er ganske grovt og inneholder lite TOC. Stasjon 12 har et dyp på 21,6 m og sedimentet der er relativt finkornig med mye TOC.

Enkeltforbindelsene BDE-206 og -209 var de eneste som ble observert i konsentrasjoner over deteksjonsgrensen på alle stasjoner (se kapittel 5.1, vedlegg B), mens BDE-77 var under deteksjonsgrensen på alle stasjonene. I alle prøvene med unntak av den fra stasjon 6 var BDE-209 den mest dominerende kongener og utgjorde med unntak av stasjon 2, 5, 6, 20, 29, 31 mer enn 80 % av  $\Sigma$ PBDE.

De aller høyeste konsentrasjonene av  $\Sigma$ PBDE på tørrvektbasis (>500 ng/g t.v) ble observert på stasjon 12, 24, 8, 10, 41 og Tjørundet (se også **Figur 15**). Av disse ligger 5 stasjoner (12, 24, 8, 10) relativt fjernt fra området til den antatte hovedkilden for HBCDD (dvs Brødrene Sunde i Spjelkavika), mens stasjon 41 ligger nærmere dette området (**Figur 7**). Normaliseres konsentrasjonen til finfraksjonen i sedimentet fremtrer omtrent de samme stasjonene med de høyeste konsentrasjoner (stasjon 12, 8, Tjørundet, 24, 34 og 16).

Ut fra rene konsentrasjonsbetraktninger (tørrvektbasis) kan vi utelukke området øst for Vegsundet som kilde for utslipp av PBDE og det ser heller ikke ut som om Spjelkavika er noen betydelig kilde (**Figur 15**). Siden den høyeste konsentrasjonen ligger rundt Tørla kan hovedkilden ligge i dette området, men vi har ikke noe grunnlag for nærmere å fastslå hvor kilden ligger. Stasjonene i Blindheimsvågen (stasjon 15, 16 og 17) ble anlagt fordi det der kommer ut en bekk som blant annet drenerer et industriområde som kunne tenkes å være en kilde for utslipp av PBDE. På stasjon 16 ble det observert en  $\Sigma$ PBDE-konsentrasjon som var ca ¼ av maksimalkonsentrasjonen i undersøkelsen, mens det på stasjonene 15 og 17 ble observert klart lavere konsentrasjoner (**Tabell 6**). Observasjonene gir derfor i utgangspunktet ikke klare holdepunkter for at bekken i Blindheimsvågen er noen PBD-kilde av betydning. Vi kan likevel ikke utelukke at PBDE transporteres ut i overflatelaget og først sedimenterer når det kommer utenfor selve Blindheimsvågen.

Der en har lokaliserte utslipp av en organisk miljøgift vil en i nærområdet ofte kunne observere konsentrasjonsgradienter i sediment når konsentrasjonen oppgis på tørrvektbasis. Kommer en derimot lenger unna kilden kan det være andre parametere enn avstand fra kilden som er bestemmende for konsentrasjonen. En slik parameter kan være TOC-innholdet i sedimentet og det forhold at en organisk miljøgift ofte binder seg til finpartikulære organiske forbindelser i sedimenterende materiale. I slike tilfeller kan gradienter lettere observeres ved TOC-normalisering.

Normaliseres konsentrasjonen av  $\Sigma$ PBDE mot TOC er det til dels andre stasjoner som blir fremtredende (34, 35, 36, 21, Tjørundet og 24) (se også **Figur 16**). Av disse ligger 34-36 vest i området, og stasjon 21 og 24, Tjørundet syd for Åsefjorden.

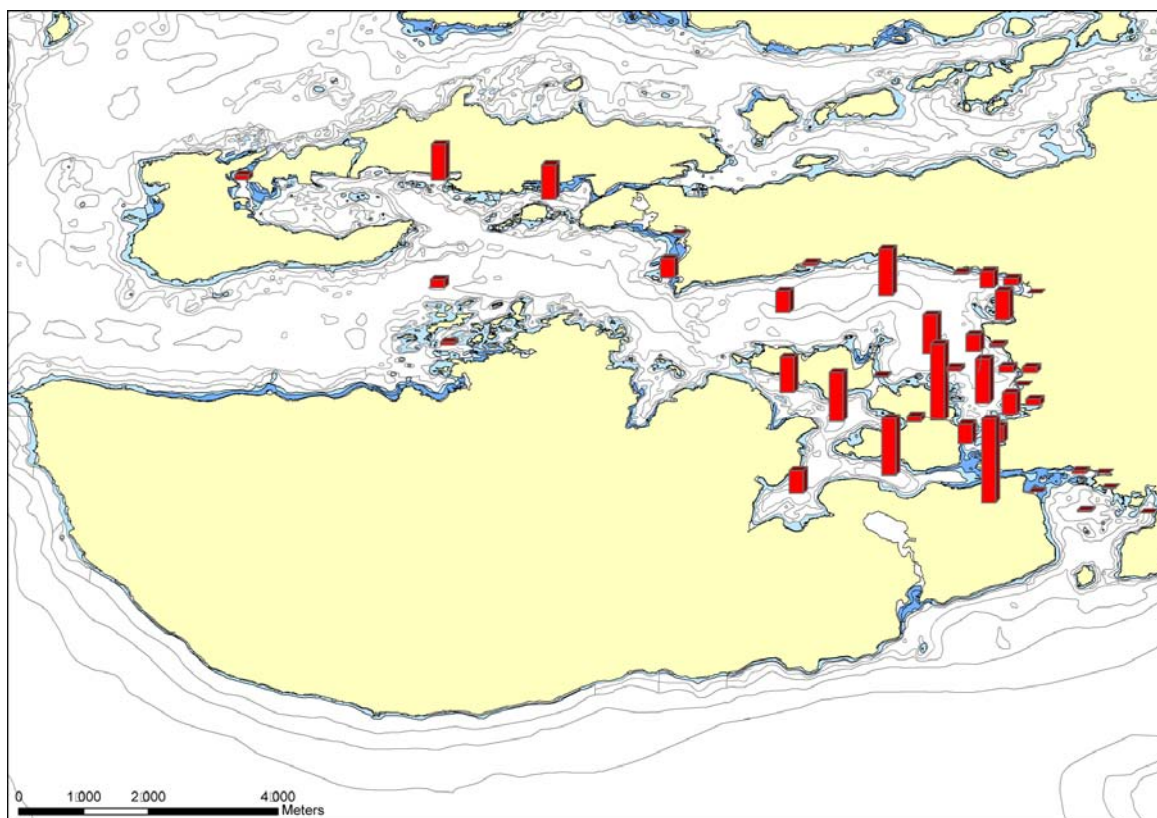
Den geografiske fordelingen av PBDE i overflatesedimentet endres dermed en del ved normalisering av sedimentkonsentrasjonen til mengden organisk karbon (se **Figur 15** og **Figur 16**), det er likevel noen stasjoner som går igjen blant de med høye konsentrasjoner. Disse er 24 og Tjørundet. Disse ligger begge på Tørlas østre eller sydøstre side. Ut fra en

totalvurdering tror vi derfor at hovedkilden kan ligge i dette området, men det kan også være flere kilder som gjør at en får en mer diffus belastning.

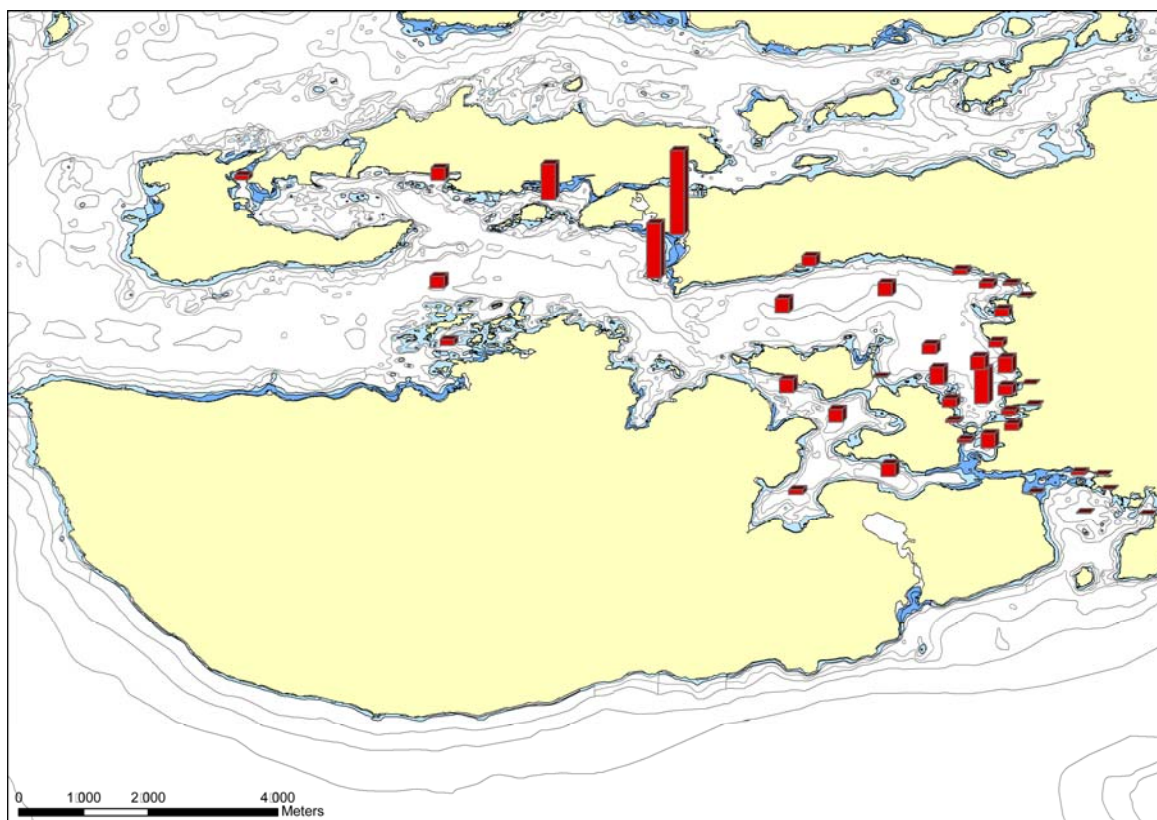
Selv om det er relativt høye totalkonsentrasjoner av PBDE i sedimentet på enkelte stasjoner så er konsentrasjonen av pentaforbindelsene såpass lave at det er bare stasjon 29 der en kan forvente toksiske effekter for bunnfauna i følge SFTs klassifisering (**Tabell 7**).

**Tabell 6.** Konsentrasjonen av  $\Sigma$ PBDE i overflatesediment. Stasjonene er sortert etter stigende konsentrasjon.

Stasjon	$\Sigma$ PBDE	Stasjon	$\Sigma$ PBDE
PBDE 3	0,27	PBDE 40	101,56
PBDE 20	0,43	PBDE 29	200,60
PBDE 30	0,55	PBDE 15	204,96
PBDE 4	0,75	PBDE 22	205,39
PBDE 5	1,72	PBDE 34	239,62
PBDE 1	2,78	PBDE 13	246,04
PBDE 26	16,20	PBDE 33	260,00
PBDE 35	19,52	PBDE 16	269,83
PBDE 2	19,77	PBDE 9	276,45
PBDE 31	22,41	PBDE 28	362,61
PBDE 25	32,20	PBDE 36	424,60
PBDE 6	36,24	PBDE 11	433,20
PBDE 32	39,83	PBDE 37	436,20
PBDE 39	42,46	PBDE 42	476,79
PBDE 23	45,07	Tjørsund 5	541,01
PBDE 38	61,22	PBDE 41	570,68
PBDE 14	69,01	PBDE 10	606,65
PBDE 19	71,62	PBDE 8	710,22
PBDE 17	72,26	PBDE 24	942,53
PBDE 21	80,26	PBDE 12	1034,22
Spjelkavika 1	86,18		



**Figur 15.** Konsentrasjonen av sum PBDE (ng/g t.v) på de ulike stasjoner. Høyeste søyle (stasjon 12) representerer en konsentrasjon på ca 1000 ng/g t.v.



**Figur 16.** Konsentrasjonen av sum PBDE (ng/g TOC.) på de ulike stasjoner. Høyeste søyle (stasjon 35) representerer en konsentrasjon på ca 39000 ng/g C.

**Tabell 7.** Konsentrasjonen av  $\Sigma$ penta-BDE (summen av kongener nr 85, 99, 100 og 119) i overflatesediment (ng/g t.v.). Observerte konsentrasjoner er klassifisert etter SFTs nye miljøkvalitetskriterier basert på effekter (TA-2229/2007).

Tilstands-klasse	Tilstand/forurensningsgrad	Markering
I	Bakgrunn/Bakgrunnsnivå	
II	God/ ingen toksiske effekter	<62
III	Moderat/Kroniske effekter ved langtidseksposering	62-7800
IV	Dårlig/Toksiske effekter ved korttidseksposering	7800-16000
V	Svært dårlig/Omfattende toksiske effekter ved korttidseksposering	>16000

Stasjon	$\Sigma$ penta-BDE	Stasjon	$\Sigma$ pentaBDE
PBDE 1	0	PBDE 23	1
PBDE 2	3	PBDE 24	30
PBDE 3	0	PBDE 25	0
PBDE 4	0	PBDE 26	0
PBDE 5	0	PBDE 28	31
PBDE 6	13	PBDE 29	72
PBDE 8	6	PBDE 30	0
PBDE 9	3	PBDE 31	4
PBDE 10	8	PBDE 32	2
PBDE 11	7	PBDE 33	5
PBDE 12	12	PBDE 34	0
PBDE 13	4	PBDE 35	0
PBDE 14	2	PBDE 36	1
PBDE 15	5	PBDE 37	1
PBDE 16	5	PBDE 38	0
PBDE 17	2	PBDE 39	0
PBDE 19	3	PBDE 40	1
PBDE 20	0	PBDE 41	16
PBDE 21	2	PBDE 42	16
PBDE 22	8	Spjelkavika 1	24
		Tjørsund	40

## 2.3 HBCDD i overflatesediment

Konsentrasjonene av  $\Sigma$ HBCDD varierte mellom 0,24 og 38884 ng/g tørrvekt (**Tabell 8**), dvs. en faktor på 162017 mellom høyeste og laveste konsentrasjon. Konsentrasjonsgradientene i resipienten er dermed mer enn en størrelsesorden større for HBCDD enn for PBDE. Det var også bare på 12 av de i alt 41 undersøkte stasjoner hvor HBCDD-konsentrasjonen var såpass lav at en ikke kan forvente toksiske effekter på bunnfauna (**Tabell 8**). Ut fra et giftighetssynspunkt er derfor forekomsten av HBCDD i sedimentet langt viktigere enn PBDE.

Tilsvarende som i tidligere undersøkelser dominerer  $\gamma$ -HBCDD i alle sedimentprøvene etterfulgt av  $\alpha$ -HBCDD og  $\beta$ -HBCDD. Teknisk HBCDD kan inneholde 75-89% av  $\gamma$ -HBCDD (Janàk et al. 2005).

Den laveste konsentrasjonen ble observert på stasjon 20 i et grunnområde (1,5 m) nord for Blindheimsneset (**Figur 7**). Den lave konsentrasjonen har trolig sammenheng med at sedimentet på stedet var meget grovt og inneholdt svært lite TOC (**Tabell 5**). Den høyeste konsentrasjonen ble observert på stasjon 29 på 34,2 m dyp utenfor Spjelkavika (**Figur 7** og **Figur 17**). Dette sedimentet var mer finkornig og inneholdt også langt mer TOC (**Tabell 5**). Den geografiske fordelingen av HBCDD i overflatesedimentet endres ikke vesentlig ved normalisering av sedimentkonsentrasjonen til mengden organisk karbon (se **Figur 17** og **Figur 18**).

Tidligere undersøkelser (Fjeld et al. 2005) tyder på at nivåer av  $\Sigma$ HBCDD lavere enn anslagsvis 3 ng/g tørrvekt er det en må forvente i kun diffust belastede områder uten nærliggende punktkilder. Det var kun sedimentet fra en stasjon (stasjon 20) som lå under denne grense og det var 4 stasjoner (stasjon 1, 3, 6, 35) hvor sedimentkonsentrasjonen lå mellom 3 og 10 ng/g t.v. For alle de øvrige stasjonene var konsentrasjonen av  $\Sigma$ HBCDD høyere enn 10 ng/g tørrvekt. Resultatene tyder dermed på at så godt som hele undersøkelsesområdet er påvirket av HBCDD, men i svært varierende grad. De aller høyeste konsentrasjonene (>2000 ng/g t.v) ble observert på stasjon 29, 24, Spjelkavika, Tjørsundet, 28, og 12. Av disse ligger 3 stasjoner (28, 29, Spjelkavika 1) i området til den antatte hovedkilden (dvs. Brødrene Sunde AS i Spjelkavika), mens stasjon 24 og Tjørsundet og stasjon 12 ligger ca 2-3 km unna i syd til sydvestlig retning (**Figur 7**). Det er også verdt å merke seg at den grunne stasjon 30 i Spjelkavika, som ligger svært nær den antatte hovedkilden, inneholdt relativt lave konsentrasjoner. Årsaken til den lave konsentrasjonen er trolig at den ligger grunt. Sedimentet inneholder også liteorganisk karbon og finstoff. Dette er forhold som ikke fremmer ansamling av miljøgifter. Brødrene Sunde AS har i dag ikke noe utslippledning for prosessvann til Spjelkavika og eventuelt tidligere forekomst av HBCDD i grunnområdet kan ha blitt vasket ut.

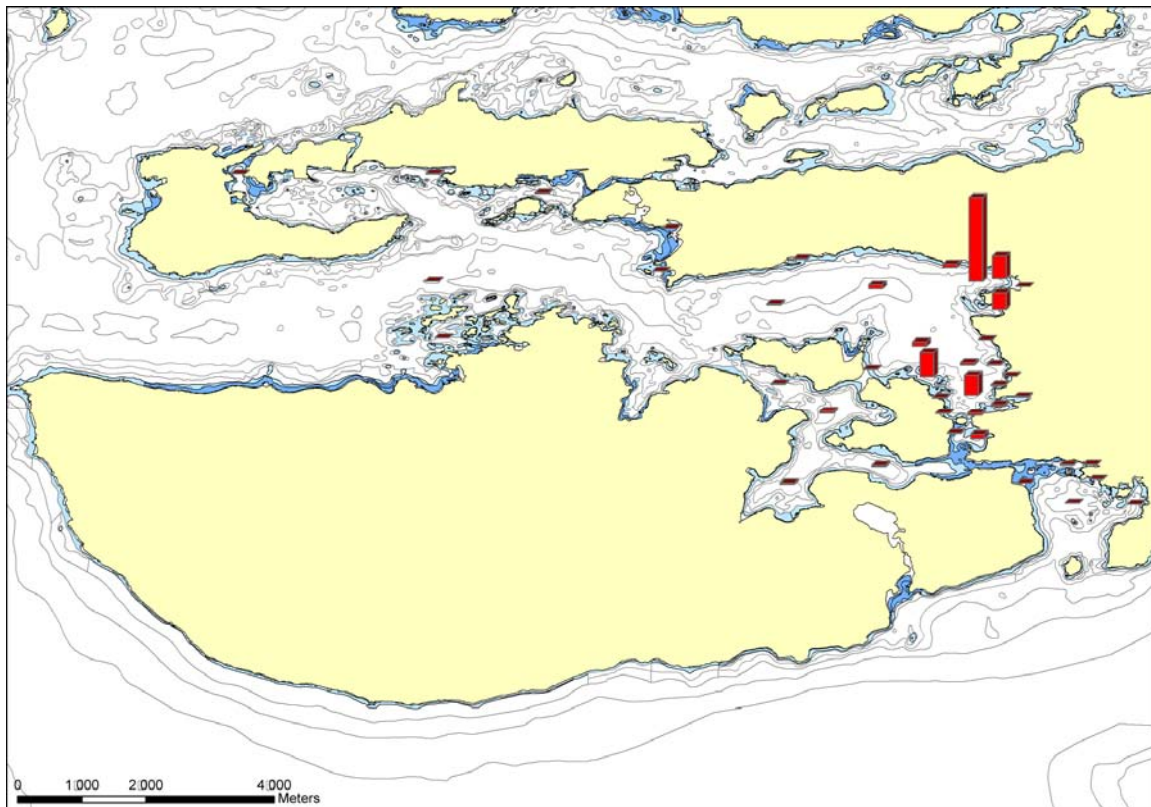
Stasjonene 29, 24, Spjelkavika, Tjørsund, 28, og 12 fremstår også som de mest HBCDD-belastede stasjonene dersom en normaliserer konsentrasjonen mot TOC eller finfraksjonen i sedimentet. Resultatene endrer dermed ikke på oppfatningen av at hovedkilden til forekomsten av HBCDD ligger i Spjelkavika. Vi kan imidlertid ikke utelukke at det også er en mindre kilde nord for Tjørsundet.

**Tabell 8.** Konsentrasjonen av  $\Sigma$ HBCDD i overflatesediment (ng/g t.v). Stasjonen er sortert etter stigende konsentrasjon. Observerte konsentrasjoner er klassifisert etter SFTs nye miljøkvalitetskriterier basert på effekter (TA-2229/2007).

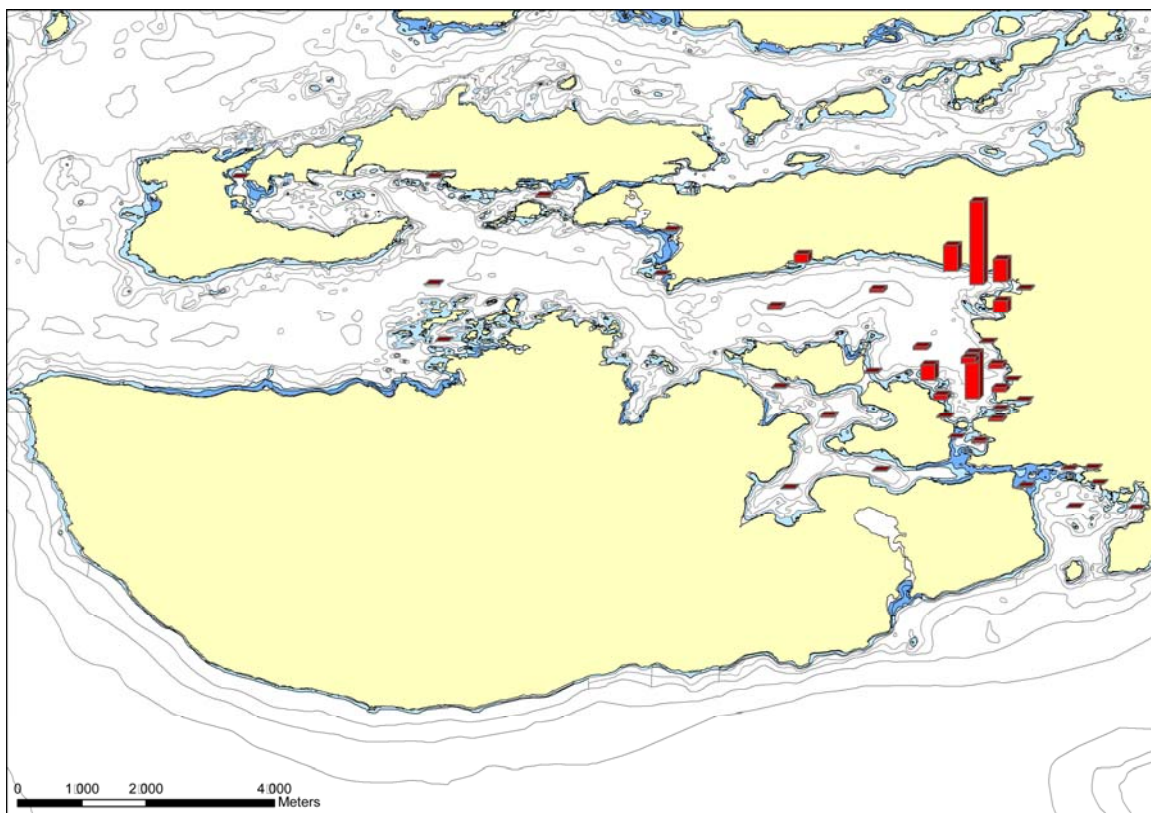
Tilstands-klasse	Tilstand/forurensningsgrad	Markering
I	Bakgrunn/Bakgrunnsnivå	<0,3
II	God/ ingen toksiske effekter	0,3-86
III	Moderat/Kroniske effekter ved langtidseksposering	86-310
IV	Dårlig/Toksiske effekter ved korttidseksposering	310-610
V	Svært dårlig/Omfattende toksiske effekter ved korttidseksposering	>610

Stasjon	$\Sigma$ HBCDD	Stasjon	$\Sigma$ HBCDD
PBDE 20	0,24	PBDE 17	401,55
PBDE 1	3,46	PBDE 11	428,23
PBDE 35	4,08	PBDE 19	443,97
PBDE 3	8,03	PBDE 32	452,01
PBDE 6	9,75	PBDE 9	543,00
PBDE 30	12,56	PBDE 33	648,61
PBDE 38	17,56	PBDE 8	657,59
PBDE 34	34,45	PBDE 16	804,75
PBDE 39	37,34	PBDE 15	972,70
PBDE 4	40,32	PBDE 10	1065,60
PBDE 25	56,79	PBDE 22	1166,63
PBDE 2	69,65	PBDE 31	1505,60
PBDE 40	86,07	PBDE 41	1751,65
PBDE 5	194,88	PBDE 42	1950,03
PBDE 26	229,49	PBDE 12	2035,00
PBDE 36	255,95	PBDE 28	7690,00
PBDE 13	256,20	Tjørsund 5	9393,00
PBDE 14	257,92	Spjelkavika 1	10523,00
PBDE 21	306,02	PBDE 24	11192,00
PBDE 23	327,07	PBDE 29	38884,00
PBDE 37	346,22		





**Figur 17.** Konsentrasjonen av sum HBCDD (ng/g t.v.) på de ulike stasjoner. Høyeste søyle (stasjon 29) representerer en konsentrasjon på ca 40000 ng/g t.v.



**Figur 18.** Konsentrasjonen (relative verdier) av sum HBCDD (ng/g TOC) på de ulike stasjoner. Høyeste søyle (stasjon 29) representerer en konsentrasjon på ca 510000 ng/g C.

## 2.4 TBA i overflatesediment

TBA er antatt å være en, i all hovedsak, naturlig bromert forbindelse, men har strukturelle likhetstrekk med andre bromerte miljøgifter. TBA antas å ha sin opprinnelse i marine mikroorganismer og marine alger, men den kan også oppstå via metabolisering av antropogene bromfenoler. I miljøprøver er TBA tidligere påvist i en rekke matrikser som tyder på en bred utbredelse i miljøet, også i Ålesundsområdet (Berge et al. 2007). Dette bekreftes også i denne undersøkelsen.

Konsentrasjonen av TBA i sedimentprøvene varierte fra <0,01 ng/g t.v. på stasjon 1 til 9,35 ng/g t.v. på stasjon 25 (**Tabell 9**), dvs. en faktor på mer enn 935 mellom høyeste og laveste konsentrasjon. Stasjon 25 og 24 skilte seg ut med spesielt høye TBA-verdier.

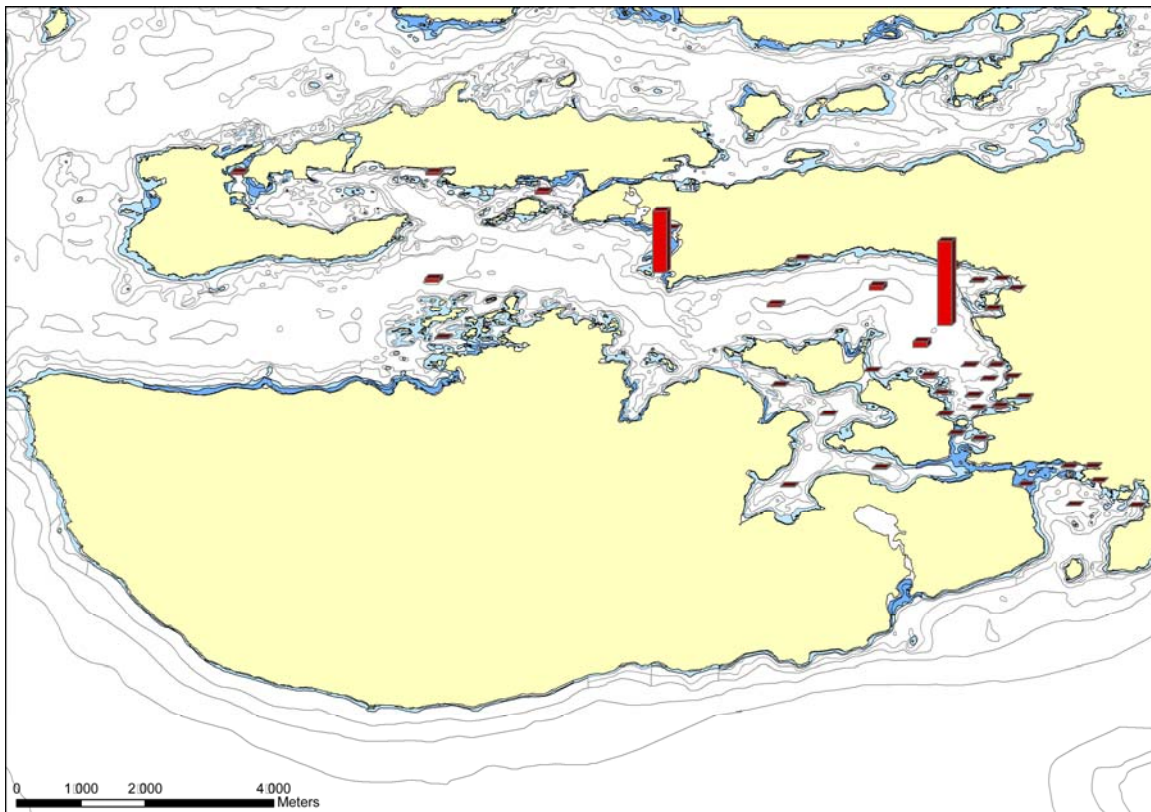
Den geografiske fordelingen av TBA i overflatesedimentet endres ikke vesentlig ved normalisering av sedimentkonsentrasjonen til mengden organisk karbon (**Figur 19** og **Figur 20**).

Siden TBA antas i hovedsak å være naturlig produsert i resipienten skulle en forvente at forbindelsen var jevnere fordelt i resipienten enn dersom forbindelsen var sluppet ut som en punktkilde. Ser en bort fra de 2 ekstrem verdier på stasjon 25 og 34 ser dette ut til å være en relativt jevn fordeling i resipienten, i alle fall vesentlig jevnere enn for PBDE og HBCDD.

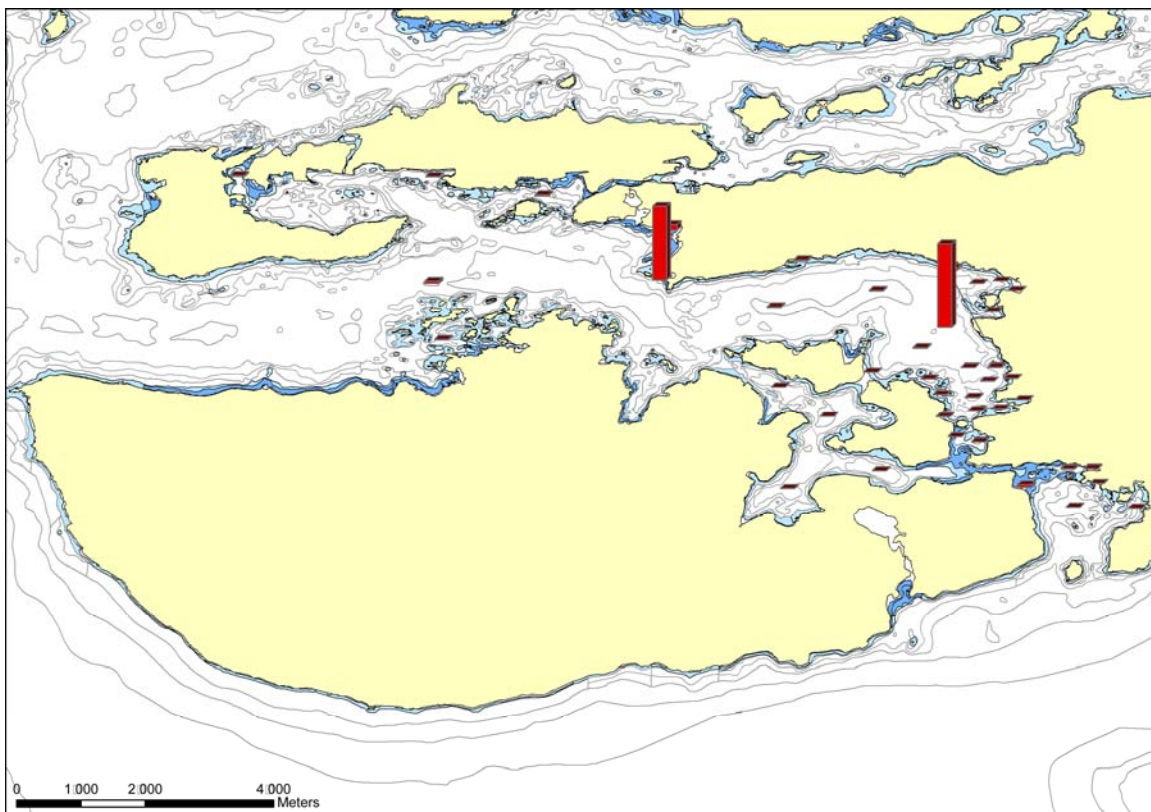
**Tabell 9.** Konsentrasjonen av tribromanisol (TBA) i overflatesediment. Stasjonene er sortert etter stigende konsentrasjon.

Stasjon	TBA	Stasjon	TBA
PBDE 1	<0,01	PBDE 39	0,11
PBDE 5	<0,01	PBDE 32	0,12
PBDE 20	<0,01	PBDE 15	0,14
PBDE 26	<0,01	PBDE 8	0,15
PBDE 30	<0,01	PBDE 17	0,16
PBDE 6	0,01	PBDE 13	0,16
PBDE 2	0,02	PBDE 12	0,17
PBDE 4	0,02	PBDE 31	0,18
PBDE 3	0,02	PBDE 28	0,18
PBDE 14	0,03	PBDE 16	0,19
Spjelkavika 1	0,03	PBDE 24	0,22
PBDE 35	0,03	PBDE 38	0,27
PBDE 19	0,03	PBDE 33	0,29
PBDE 23	0,03	PBDE 37	0,29
PBDE 22	0,04	PBDE 36	0,30
PBDE 21	0,04	PBDE 40	0,43
PBDE 9	0,06	PBDE 41	0,49
PBDE 10	0,07	PBDE 42	0,62
PBDE 11	0,08	PBDE 34	6,78
PBDE 29	0,09	PBDE 25	9,35
Tjørsund	0,11		





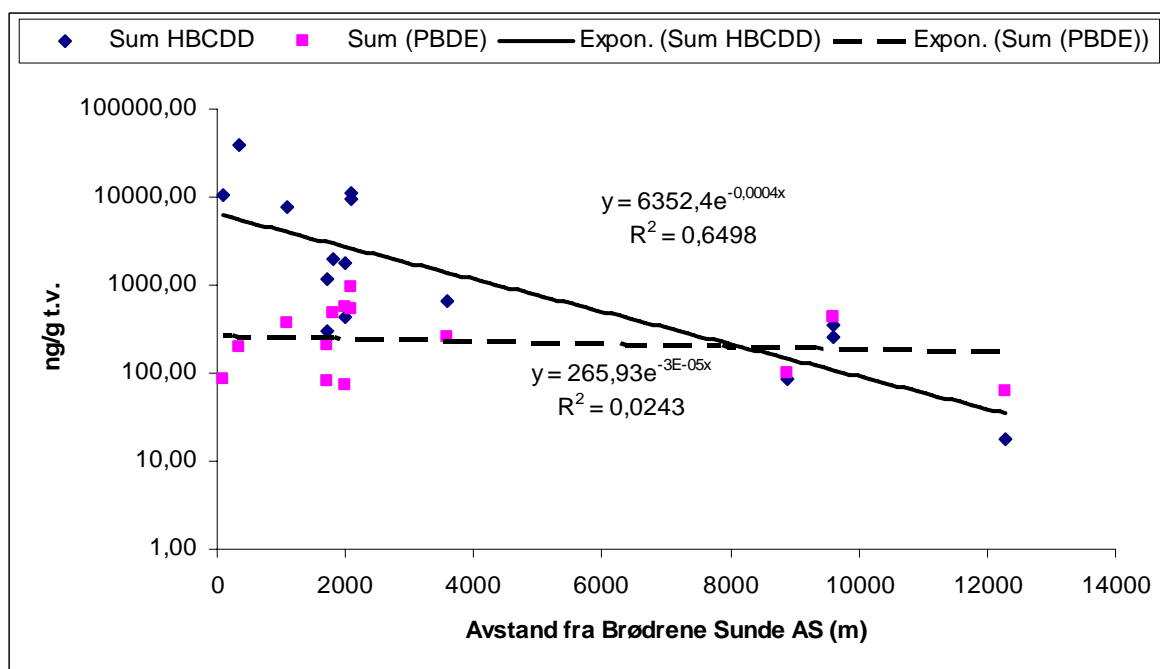
**Figur 19.** Konsentrasjonen av sum TBA (ng/g t.v.) på de ulike stasjoner. Høyeste søyle (stasjon 25) representerer en konsentrasjon på ca 9,35 ng/g t.v.



**Figur 20.** Konsentrasjonen av sum TBA (ng/g C) på de ulike stasjoner. Høyeste søyle (stasjon 25) representerer en konsentrasjon på ca 800 ng/g C.

## 2.5 Geografiske gradienter

Konsentrasjonsgradienter i resipienten kan indikere hvor en kilde for et utslipp er lokalisert. For HBCDD antas hovedkilden å være i Spjelkavika og i tråd med dette ble også den høyeste konsentrasjonen observert i dette området (stasjon 29). De grunne stasjonene (eksempelvis stasjon 30) ser imidlertid ut til å være lite påvirket selv om de ligger svært nær den antatte hovedkilden. Det ser dermed ut til at dersom en skal benytte geografiske konsentrasjonsgradienter til å sannsynliggjøre en kilde for et utslipp så bør en benytte de dypere stasjonene. I **Figur 21** har vi for de dypere stasjonene plottet konsentrasjonen av sum HBCDD og PBD som funksjon av avstanden fra den antatte hovedkilden for HBCDD i Spjelkavika. Vi har også sett på hvordan konsentrasjonsgradienten er tilpasset en eksponentiell modell. I **Figur 21** ser vi at HBCDD-konsentrasjonen avtar med avstanden fra den antatte hovedkilden og at dataene passer relativt godt til en slik eksponentiell modell. Dataene bekrefter dermed den tidligere antagelsen om at hovedkilden ligger i Spjelkavika. For PBDE ser vi imidlertid at dataene passer relativt dårlig til modellen. Vi tolker dette som at Spjelkavika ikke er hovedkilden for utslipp av PBDE.



**Figur 21.** Konsentrasjonen av sum HBCDD og sum PBDE i ulike avstander fra Brødrene Sunde AS i Spjelkavika. Kun de dypeste stasjonene vest for Spjelkavika og området sydover fra Spjelkavika ned mot Tjørsundet (dvs. stasjon 22, 24, 19, 21, 28, 29, 33, 33, 36, 37, 38, 41, 40, 42, Spjelkavika og Tjørsund) er benyttet.

## 2.6 Multivariate analyser

I analysene har en behandlet både konsentrasjoner og kongenermønster. Oppsummering av statistikk fra de multivariate analyser finnes i vedlegg (kapittel 5.6)

### 2.6.1 HBCDD-, PBDE- og forklaringsvariabler

Organiske miljøgifter i sedimenter har en tendens til å være assosiert til organisk karbon (TOC). I forbindelse med kildesporing kan det derfor være viktig å korrigere for TOC-innholdet i sedimentene. For å undersøke dette analyserte vi først sammenhengen mellom forklaringsvariablene og tørrvektkonsentrasjonene av HBCDD, PBDE og TBA. Cirka 50 % av variasjonen i konsentrasjoner mellom stasjoner ble forklart av RDA-analysen. TOC forklarte mest av variasjon i konsentrasjoner mellom stasjoner (31,9 av 50,2 %,  $F=18,25$ ,  $p=0.002$ ), etterfulgt av KORN (22,7 av 50,2 %,  $F=11.45$  og  $p=0.0040$ ), DYP (15,0 av 50,2 %,  $F=6,87$ ,  $p=0.008$ ) og AVSTAND (9,2 av 50,2 %,  $F=3.95$ ,  $p=0.038$ ).

I de påfølgende analysene ble derfor konsentrasjonene TOC-korrigert ved å inkludere TOC som en kovariat (forklaringsvariabel) i modellen. 18.1 % av den gjenværende variasjonen i konsentrasjoner mellom stasjoner ble forklart av RDA-analysen. Med TOC som kovariat, er DYP den mest forklarende variabel (10,5 av 18,1 %,  $F=6.958$ ,  $p=0.0020$ ) etterfulgt av AVSTAND (5,9 av 18,1%,  $F=3.585$ ,  $p=0.0360$ ), mens KORN ikke bidro signifikant til å forklare den gjenværende variasjonen i dataene etter TOC-korrigerings.

I ordinasjonsdiagrammet med DYP og AVSTAND som aktive forklaringsvariable av konsentrasjonsvariasjonen mellom stasjonene skiller stasjonene 33, 41, 42 og 22 seg fra de andre stasjonene. Dette er de er dype stasjoner (>60 m dyp). De bromerte forbindelsene lå samlet i 3 grupper: HBCDD, lavt-bromerte PBDEer og høyt-bromerte PBDEer (resultater ikke vist).

Siden DYP og AVSTAND var inkludert som aktive variable, ble stasjonenes plassering i diagrammet bestemt av disse i tillegg til innholdet av HBCDD, PBDE og TBA. Neste trinn var derfor å gjenta analysen med DYP og AVSTAND som passive variable for å rendyrke hvordan de bromerte forbindelsene varierer mellom stasjonene (**Figur 22A**).

Analysen viser at de bromerte forbindelsene forekommer i 2 hovedgrupper som kovarierer mellom stasjonene (dvs. at de har en tendens til å variere likt):

- Gruppe 1 som består av  $\alpha$ ,  $\beta$ , og  $\gamma$ -HBCDD, og PBDE-154, -100, -47, -153, -99 og -49/71,
- Gruppe 2 som består av TBA, PBDE-206, -209 og -196.

Gruppe 2, spesielt TBA, forekommer mer eller mindre uavhengig med HBCDD (pilene er  $90^\circ$  på hverandre, se **Figur 22A**), som betyr at de er ukorrelert.

Nær 80% av variasjonen i konsentrasjoner er representert ved Akse 1. Akse 1 er korrelert med bromerte forbindelser i Gruppe 1, som betyr at stasjoner øker i konsentrasjon av Gruppe 1 forbindelser jo lenger mot høyre langs Akse 1 stasjonen ligger (**Figur 22A**).

De ulike geografiske områdene er delvis adskilt i diagrammet og knyttet opp mot ulike konsentrasjoner av HBCDD, PBDE og TBA. Konsentrasjonene av HBCDD var høyest nær Spjelkavika (unntatt stasjon 30), og minker med økende avstand til Spjelkavika (pil for avstand og for HBCDD peker i motsatt retning), mens konsentrasjonene av PBDE og

HBCDD generelt sett er høyere ved dypere stasjoner enn ved den grunne stasjonen (pil for dyp peker samme retning som for PBDE og HBCDD).

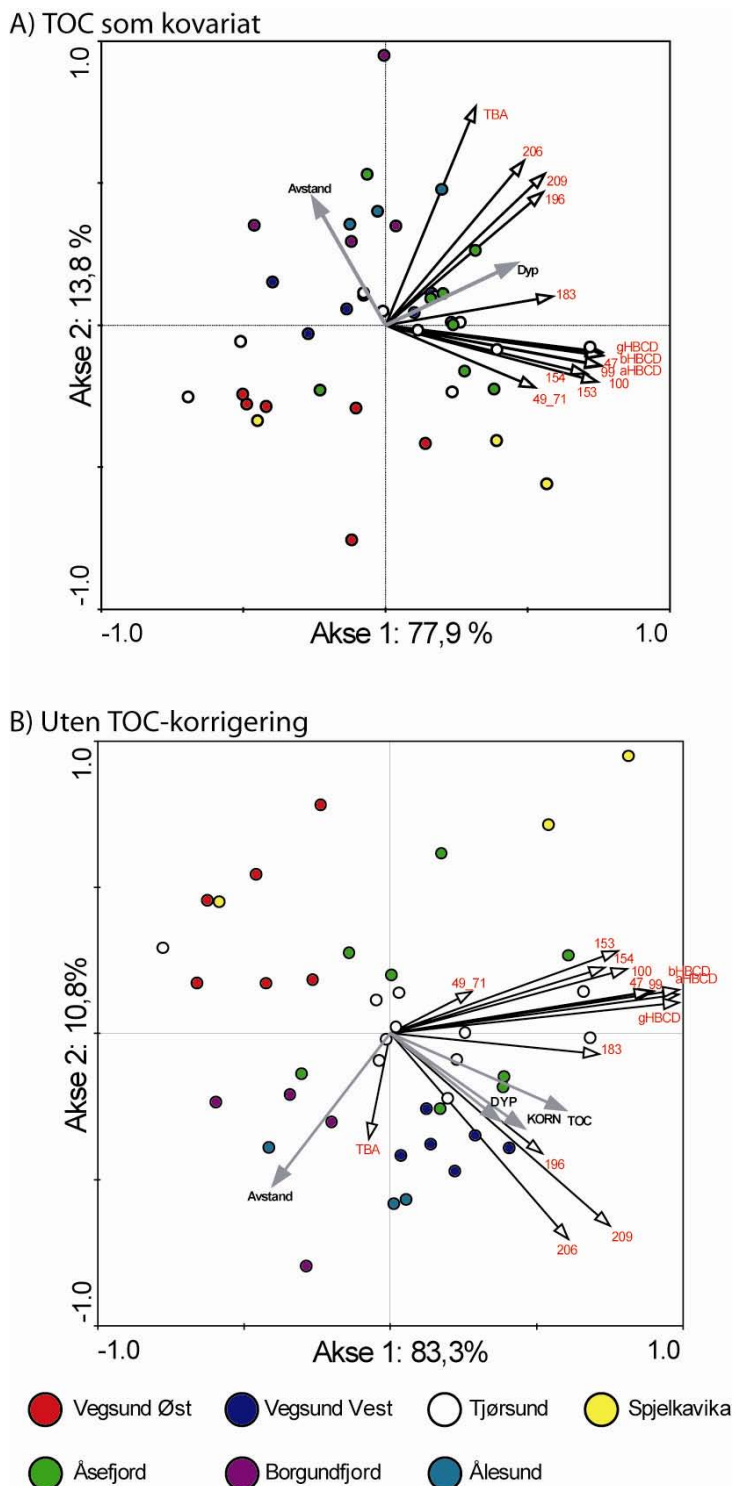
Enkelte stasjoner i Tjørsundet og Spjelkavika har høye konsentrasjoner av HBCDD sammenliknet med andre områder. Stasjonene øst for Vegsundet har generelt lave konsentrasjoner av alle forbindelser, mens stasjonene vest for Vegsundet har generelt lave eller gjennomsnittlige konsentrasjoner i forhold til de andre stasjonene. Åsefjordstasjonene har generelt høyere konsentrasjoner av både PBDE og HBCDD enn gjennomsnittet av stasjoner. Borgundfjorden og Ålesundsområdet har generelt lave konsentrasjoner av HBCDD og noe høyere enn gjennomsnittlige konsentrasjoner av TBA og PBDE.

Uten TOC-korrigering er det en bedre separasjon mellom områdene (**Figur 22B**), med høye konsentrasjoner av HBCDD og lavere bromerte PBDE-kongenere i de fleste stasjoner fra Spjelkavika, Åsefjorden og Tjørsundet, høye konsentrasjoner av høybromerte BDE-kongenere ved stasjoner vest for Vegsundet, i Borundfjorden og Ålesundsområdet, og lave konsentrasjoner av alle forbindelsene ved stasjoner øst for Vegsundet.

Felles for analysene med og uten TOC korrigering er at de bromerte forbindelsene skiller seg i grupper som innad oppfører seg relativt likt mellom stasjonene: Gruppe 1 bestående av HBCDD og lavere-bromerte PBDE, og Gruppe 2 bestående av høyere-bromerte PBDE. Konsentrasjonene av Gruppe 1 stoffer varierer uavhengig av Gruppe 2, noe som kan tyde på at Gruppe 1 og Gruppe 2 har ulike kilder.

Ulempene med å vurdere konsentrasjonene uten TOC-korrigering er at det er vanskelig å tilskrive konsentrasjonsvariasjon mellom stasjoner andre forklaringer enn lokale TOC-forhold. Imidlertid gjenspeiler diagrammene uten TOC-korrigering konsentrasjonsforskjellen mellom stasjoner basert på  $\Sigma$ PBDE i overflatesediment, se over. Dette skyldes spesielt høye tørrvektkonsentrasjoner av PBDE-209 vest for Vegsundet (Tørlaområdet), et område som også har høye TOC-verdier.

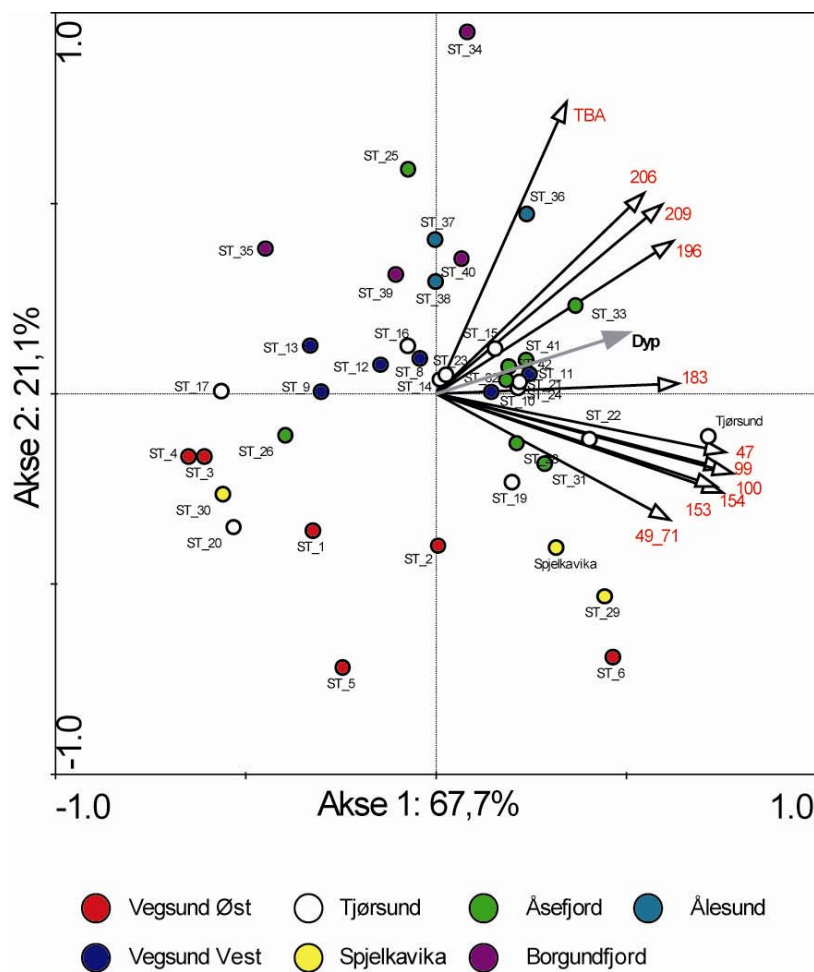
For å få et mer detaljert bilde på hvordan PBDE og HBCDD fordeler seg på de ulike stasjonene, ble separate analyser gjort for disse stoffgruppene. TOC-korrigererte konsentrasjoner vil bli presentert i de følgende avsnitt, mens resultater fra tilsvarende analyser uten TOC-korrigering finnes i vedlegget (kapitel 5.6).



**Figur 22.** Fordeling av stasjoner basert på variasjon i konsentrasjoner av TBA, PBDE og HBCDD mellom stasjoner, ved hjelp av indirekte ordinasjon (PCA). Pilene peker i retning av økende konsentrasjon og lengden på pilene angir graden av variasjon. Nummer ved enden av pilen tilsvarer PBDE-kongener. Se Tabell 1 for stasjoner som tilhører de ulike områdene. A) Konsentrasjonene er TOC-korrigert ved å inkludere TOC som en kovariat. DYP og AVSTAND, som var signifikante forklaringsvariable, er visualisert som passive variable ved grå fylte piler og angir økende verdi i retning av pilen. B) Konsentrasjonene er ikke TOC-korrigert. Grå piler viser passive forklaringsvariable (DYP, AVSTAND, KORN og TOC).

### 2.6.2 PBDE-konsentrasjoner

Med TOC i modellen som kovariat, ble 17,1 % av variasjonen i PBDE-konsentrasjoner mellom stasjonene forklart av RDA-analysen. DYP var den eneste signifikante forklaringsvariabel (12,1 av 17,1 %,  $F= 8.403$ ,  $p=0.0020$ ). AVSTAND bidro ikke signifikant til å forklare den gjenværende variasjonen i dataene etter TOC-korrigerings. Dyp som aktiv forklaringsvariabel vil derfor klart påvirke stasjonenes posisjon i ordinasjon-diagrammet. Ved en slik presentasjon skilte de dype stasjonene seg særlig ut, mest på grunn av dypet (resultater ikke vist). Det er imidlertid variasjonen i PBDE mellom stasjonene som er av interesse, og derfor vises resultater fra en indirekte ordinasjon (PCA), der DYP er med som en passiv variabel (**Figur 23**).



**Figur 23.** Fordeling av stasjoner basert på variasjon i TOC-korrigererte konsentrasjoner av PBDE og TBA mellom stasjoner, ved hjelp av indirekte ordinasjon (prinsippal komponent analyse PCA). Pilene peker i retning av økende konsentrasjon og variasjon, der nummer ved enden av pilen tilsvarer PBDE-kongener. Grå pil viser passive variable (her dyp)

Som ved analysene av alle de bromerte forbindelsene, skiller PBDEene seg i 2 grupper:

- Gruppe 1 består av PBDE-47, -99, -100, -154, -153, -49/-71
- Gruppe 2 består av PBDE-209, 206 og -196,

mens PBDE-183 ikke var tilknyttet noen av gruppene. TBA er helt uavhengig og ukorrelert med Gruppe 1, men i større grad korrelert med Gruppe 2.

Tjørsund er stasjonen med høyeste konsentrasjoner av Gruppe 1 PBDEer (**Figur 23**). Også Spjelkavika, stasjon 29 og 6 viser høye konsentrasjoner i forhold til de andre stasjonene av disse kongenerene. Stasjon 30 som ligger på grunt vann (0,5 m) i Spjelkavika skiller seg fra de andre Spjelkavika-stasjonene med lave konsentrasjoner.

Alle stasjonene i Åsefjorden, med unntak av 25 og 26 hadde høyere PBDE-konsentrasjoner enn gjennomsnittet for stasjonene. Stasjonene i Borgundfjorden og Ålesundsområdet viste lave konsentrasjoner av Gruppe 1 PBDEer og noe høyere konsentrasjoner av TBA og Gruppe 2 PBDEer i forhold til de andre stasjonene og PBDEene.

Stasjonene i øst for Vegsundet viste lavere PBDE-konsentrasjoner enn de andre stasjonene, med unntak av stasjon 6. Stasjonene vest for Vegsundet viste lavere PBDE-konsentrasjoner enn de andre stasjonene, med unntak av stasjon 10 og 11.

### 2.6.3 HBCDD-konsentrasjoner

Med TOC som kovariat, ble 24,7 % av variasjonen i HBCDD-konsentrasjoner mellom stasjonene forklart av den direkte RDA-analysen. AVSTAND forklarte mest (9,3%,  $F= 5.43$ ,  $p=0.0140$ ), etterfulgt av DYP (7,1%,  $F= 4.042$ ,  $p=0.0420$ ).

I ordinasjonsdiagrammet er stasjonenes posisjon bestemt av en lineær kombinasjon av de ulike HBCDD-konsentrasjoner, samt AVSTAND og DYP som aktive variabler (**Figur 24A**). Her er særlig stasjonene langt unna Spjelkavika separert ut med lave HBCDD-konsentrasjoner, mens stasjoner i Spjelkavika, Tjørsundet og Åsefjorden generelt har høye HBCDD-stasjoner.

I diagrammet med DYP og AVSTAND som passive variable (**Figur 24A**), er stasjonene mer gruppert i henhold til geografiske områder som reflekterer HBCDD-konsentrasjoner. Igjen er det særlig dypere stasjoner (>15 m) i Spjelkavika, Tjørsund og Åsefjorden som viser høye konsentrasjoner, mens stasjoner øst for Vegsundet har lave HBCDD-konsentrasjoner. TBA-konsentrasjonene varierer mellom stasjoner helt uavhengig av HBCDD-konsentrasjonene (90° vinkel mellom pilene).



#### **2.6.4 Konsentrasjonsoppsummering**

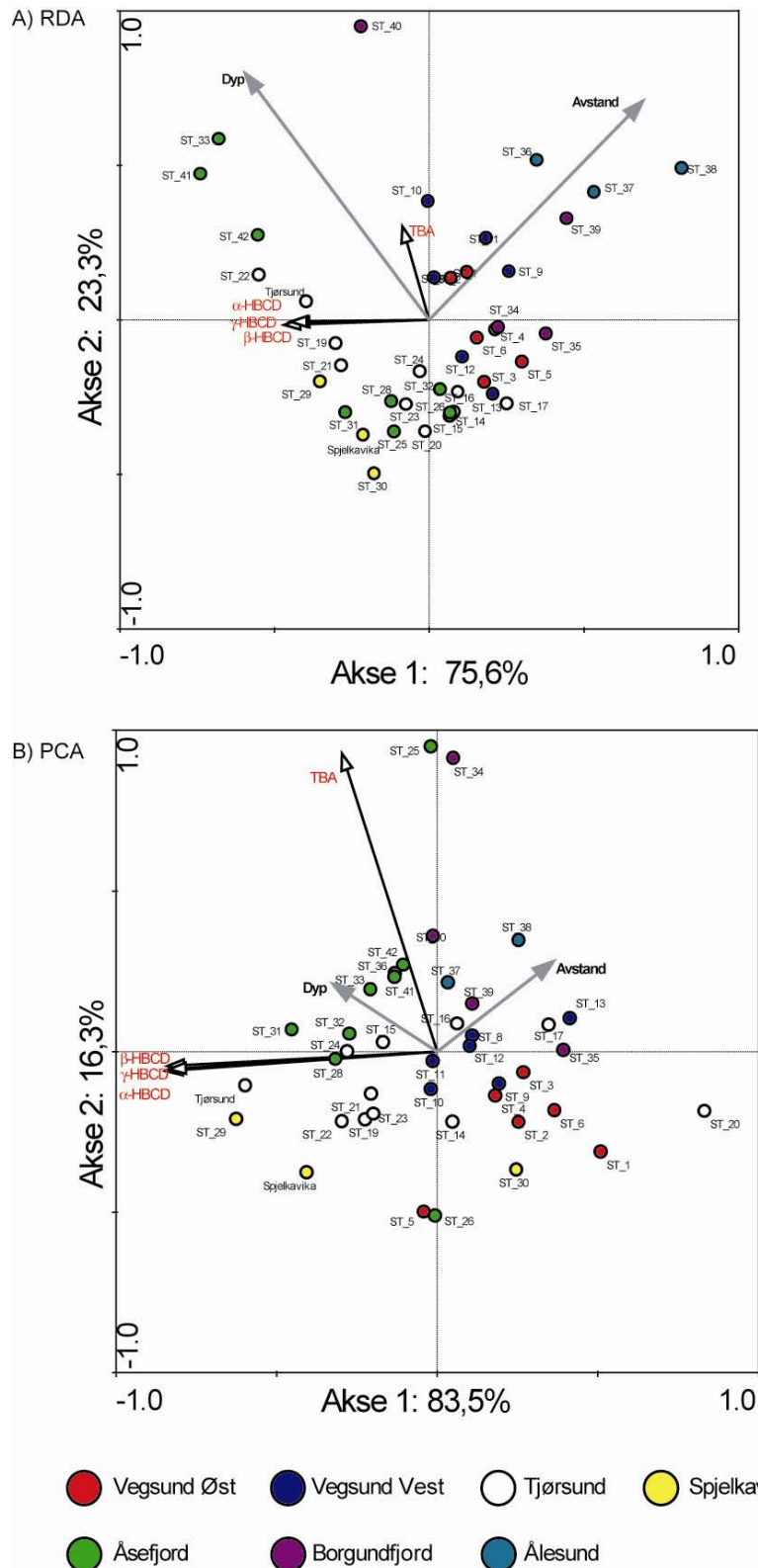
Konsentrasjonsanalysene viser at HBCDD-konsentrasjonene samvarierer mellom stasjonene med enkelte lavere bromerte BDE-kongenere. Dette er PBDE-kongenere som ofte finnes i Penta-BDE-blandinger (for eksempel PBDE-47 og PBDE-99).

Mens HBCDD-konsentrasjonene delvis forklares av avstand til Spjelkavika etterfulgt av stasjonsdypet, er PBDEene sett under ett delvis forklart kun av stasjonsdypet. Dette kan tolkes dit hen at HBCDD og PBDE enten har ulik kilde eller utslippsforløp fra samme kilde, eller at de oppfører seg svært ulikt i miljøet.

Det naturlig forekommende TBA varierer i konsentrasjoner mellom stasjonene på en måte som er helt ukorrelet med HBCDD og lavt-bromerte BDE-kongenere. Dette kan tyde på at det er en lokal kilde til HBCDD og kongenere fra Penta-BDE blandingen. Imidlertid er det noe samvariasjon mellom konsentrasjoner av TBA og høytbromerte BDE-kongenere (PBDE-209, PBDE-206). Dette kan tyde på at de høytbromerte BDE-kongenene har en diffus kilde eller at de er fraktet til området langveis fra (long range transport). Dersom det er en lokal kilde til de høytbromerte kongenerte fra en Deca-BDE blanding, så er denne kilden en annen enn den som har gitt opphav til de Penta-BDE relaterte kongenene, eller de har lik kilde, men oppfører seg svært forskjellig i det fysiske miljøet. Imidlertid er PBDE-209 den kongeneren med høyest konsentrasjon på de fleste stasjonene.



Kildesporing av bromerte flammehemmere i Ålesundsområdet ved analyse av sedimenter  
(TA-2441/2008)



**Figur 24A.** Fordeling av stasjoner basert på variasjon i konsentrasjoner av HBCDD og TBA mellom stasjoner, ved hjelp av direkte ordinasjon (RDA). Pilene peker i retning av økende konsentrasjon og variasjon, det vil si lange piler betyr stor variasjon mellom stasjonene, mens korte piler tyder på liten variasjon mellom stasjoner. AVSTAND etterfulgt av DYP var de eneste signifikante forklaringsvariablene og er visualisert ved grå fylt pil og angir økende verdi i retning av pilen. B) PCA av HBCDD-konsentrasjoner med TOC som kovariat, og AVSTAND og DYP er passive variable.

### 2.6.5 Mønster av PBDE

Relativ forekomst (mønster) av enkeltkongenerer ble testet for HBCDD og PBDE hver for seg. TBA ble ikke inkludert da dette er en naturlig forekommende bromert forbindelse uten sammenheng til de andre stoffene.

I den direkte ordinasjonsanalysen (RDA) av PBDE-mønster ble DYP, AVSTAND, og TBA og  $\gamma$ -HBCDD konsentrasjon inkludert som forklaringsvariable.  $\gamma$ -HBCDD var den eneste variabelen som signifikant forklarte noe av variasjonen i PBDE-mønster mellom stasjonene. Analysen forklarte 45,8 % av variasjonen i datamaterialet, hvorav 85,3 % ble forklart av  $\gamma$ -HBCDD-konsentrasjonene (Monte Carlo,  $F=15.545$ ,  $p=0.0160$ ).

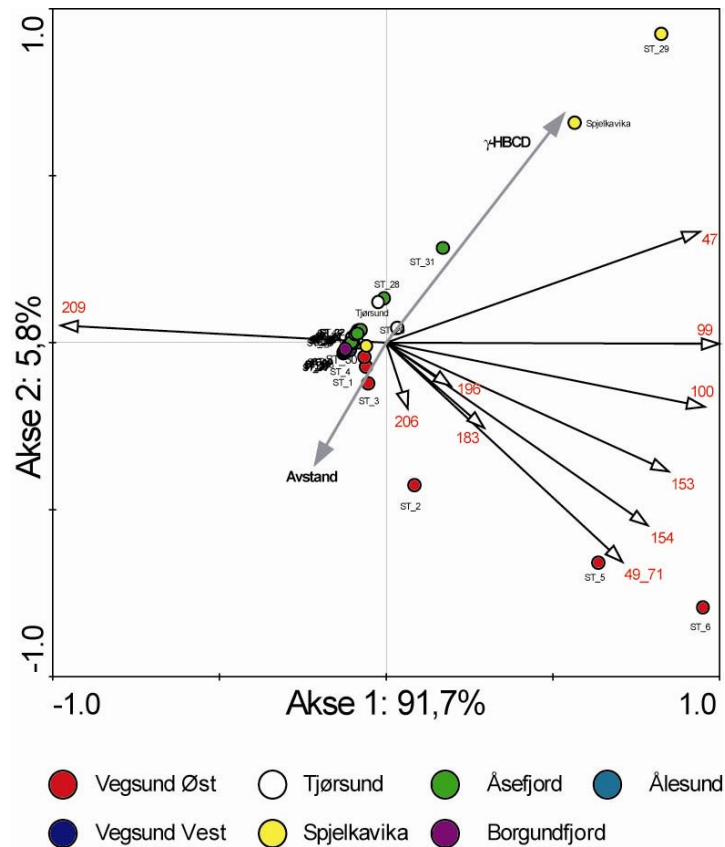
I ordinasjonsdiagrammet av PBDE-mønster, med  $\gamma$ -HBCDD som passiv variabel, ble 91,7 % av variasjonen i PBDE-mønsteret mellom stasjonene forklart ved Akse 1, og bare 5,8% langs Akse 2 (**Figur 25**). Relativ forekomst av PBDE-209 øker med økende negativ verdi langs Akse 1, mens det relative bidraget av de andre PBDEene øker med økende positiv verdi langs Akse 1. Dette betyr at mønsterforskjellene mellom stasjonene i stor grad skyldes ulikheter i relativt bidrag av PBDE-209.

Konsentrasjon av  $\gamma$ -HBCDD var den eneste signifikante forklaringsvariabel for variasjonen i PBDE-mønster mellom stasjonene. Ordinasjonsdiagrammet viser at  $\gamma$ -HBCDD-konsentrasjonen korrelerer positivt med andelen av PBDE-47 og -99 (og negativt med PBDE-209), mens andelen av PBDE-153, -154 og -49/71 er relativt uavhengig av  $\gamma$ -HBCDD.

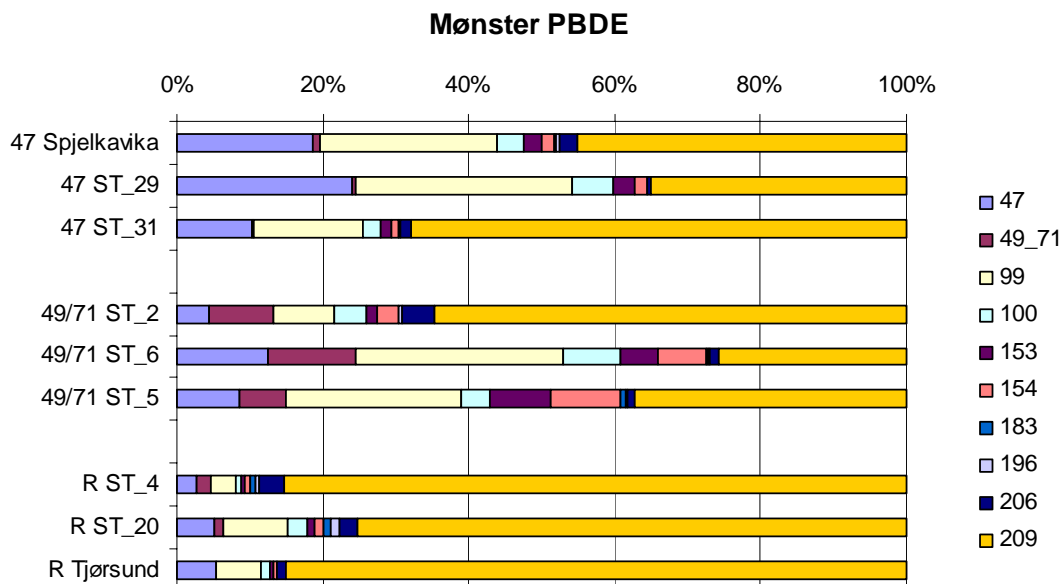
De fleste stasjonene ligger gruppert samlet rundt origo og har relativt likt PBDE-mønster (**Figur 25**), der PBDE-209 dominerer (**Figur 26**). Noen få stasjoner skiller seg ut med høy positiv verdi langs Akse 1 og følgelig høyere relativ forekomst av de andre PBDE-kongenerne enn PBDE-209. Dette gjelder spesielt stasjon 5, 6, 29 og Spjelkavika. Forskjellen mellom disse igjen er at 5 og 6 hadde høyere andel PBDE-49/71 og PBDE-154 (negativ verdi langs Akse 2) mens stasjon 29 og Spjelkavika hadde høyere andel PBDE-47 (positiv verdi langs Akse 2).

PBDE-mønsteret på disse fire stasjonene er vist som prosentvis fordeling i **Figur 26** sammen med stasjon 4, 20 og Tjørnsund som representanter for hovedgruppen av stasjoner. Stasjon 2 og 1 er også vist siden de lå mellom hovedgruppen og de få stasjonene som skiller seg klart ut.

Tjørnsund, stasjon 4 og 20 hadde likt PBDE-mønster med dominerende andel av PBDE-209 (>70%), (**Figur 26**). Spjelkavika og stasjon 29 hadde også relativt mye PBDE-209, men her var andelen av PBDE-47 (ca 20%) og PBDE-99 (ca 20-30 %) større. Både stasjoner nær Spjelkavika og langt unna (stasjon 5 og 6) hadde lav andel av PBDE-209 og tilsvarende høyere av PBDE-99 i forhold til andre stasjoner. Stasjon 2, 5 og 6 har også høyere andel av PBDE-49/71 og PBDE-154 sammenliknet med de andre stasjonene.



**Figur 25.** Fordeling av stasjoner basert på PBDE-mønster, ved hjelp av indirekte ordinasjon (prinsipal komponent analyse PCA). Pilene peker i retning av økende relativt bidrag av de ulike PBDE-kongenere, der nummer ved enden av pilen identifiserer kongeneren. Passive forklaringsvariable (Avstand og  $\gamma$ -HBCDD-konsentrasjon) er visualisert ved grå fylte piler og angir økende verdi i retning av pilen.



**Figur 26.** Relativt mønster av PBDE ved utvalgte stasjoner basert på fordeling av stasjoner i PCA. Stasjon 5, 6, 2, 31, 29 og Spjelkavika falt ut i utkanten av hoveddelen av stasjonene i PCA av PBDE-mønsteret, mens stasjon 4, 20 og Tjørnsund er valgt som representative stasjoner fra hovedgrupperingen av stasjoner der PBDE-mønsteret er relativt likt.

Forskjellen i dominerende PBDE-kongenere mellom stasjonene kan tyde på at det er lokale kilder til PBDE i området. Alternativt har PBDEene felles kilde, men svært ulik oppførsel med hensyn på fordeling i miljøet og akkumulering i bunnsedimentene. Dette anser vi imidlertid som usannsynlig. Hadde så vært tilfelle ville vi forventet en likere fordeling mellom stasjoner av lavt-bromerte PBDEer, og en større stasjonsforskjell med hensyn på relativ andel av høyt-bromerte kongenere som PBDE-209. PBDE-209 er mindre vannløselig og mindre flyktig enn lavt-bromerte PBDEer, og har en sterkere affinitet til partikler. PBDE-209 vil derfor forventes å sedimentere nærmere kilden sammenliknet med lavere bromerte PBDEer (Hale et al., 2006).

Penta-BDE-blandingen domineres av 6 hovedkongenere: PBDE-99 > -47 > -100 > -153 > -154 > -85 (La Guardia et al., 2006). Siden stasjonene nær Spjelkavika hadde en høyere andel av PBDE-47, -99, og -100 enn de andre stasjonene kan dette tyde på en lokal kilde av Penta-PBDE.

Et par stasjoner øst for Vegsundet skilte seg også ut med lavere andel av PBDE-209, og høyere andel av de lavere bromerte PBDEene, spesielt PBDE-49/71, -154 og -153, sammenliknet med de andre stasjonene (**Figur 25 og 26**). Siden PBDE-49/71 bidrar mindre enn 0,02 % til Penta-PBDE blandingen, og PBDE-154 og -153 bidrar rundt 10 % tilsammen til Penta-PBDE-blandingen (La Guardia et al., 2006), anser vi det som lite sannsynlig at mønsterforskjellen øst for Vegsundet skyldes en lokal bruk av Penta-PBDE. Derimot kan andelen lavt-bromerte PBDEer skyldes debrominering fra høyere bromerte PBDEer (Stapleton et al., 2006). Debromering er en prosess som i stor grad krever lys. Lyseksposeringen er svært begrenset i sedimenter. Vi antar derfor at de vil ta lang tid å endre kongenersammensetningen i sedimentene.

PBDE-209 har sin opprinnelse fra Deca-BDE-blandinger (består av >90% PBDE-209, La Guardia et al., 2006). Den generelt høye andelen av PBDE-209 ved de fleste stasjoner (**Figur 25 og 26**) kan tyde på en tidligere diffus kilde av Deca-BDE-blanding i området. Den delvise korrelasjonen mellom TBA og PBDE-209 i ordinasjonsdiagrammene støtter dette.

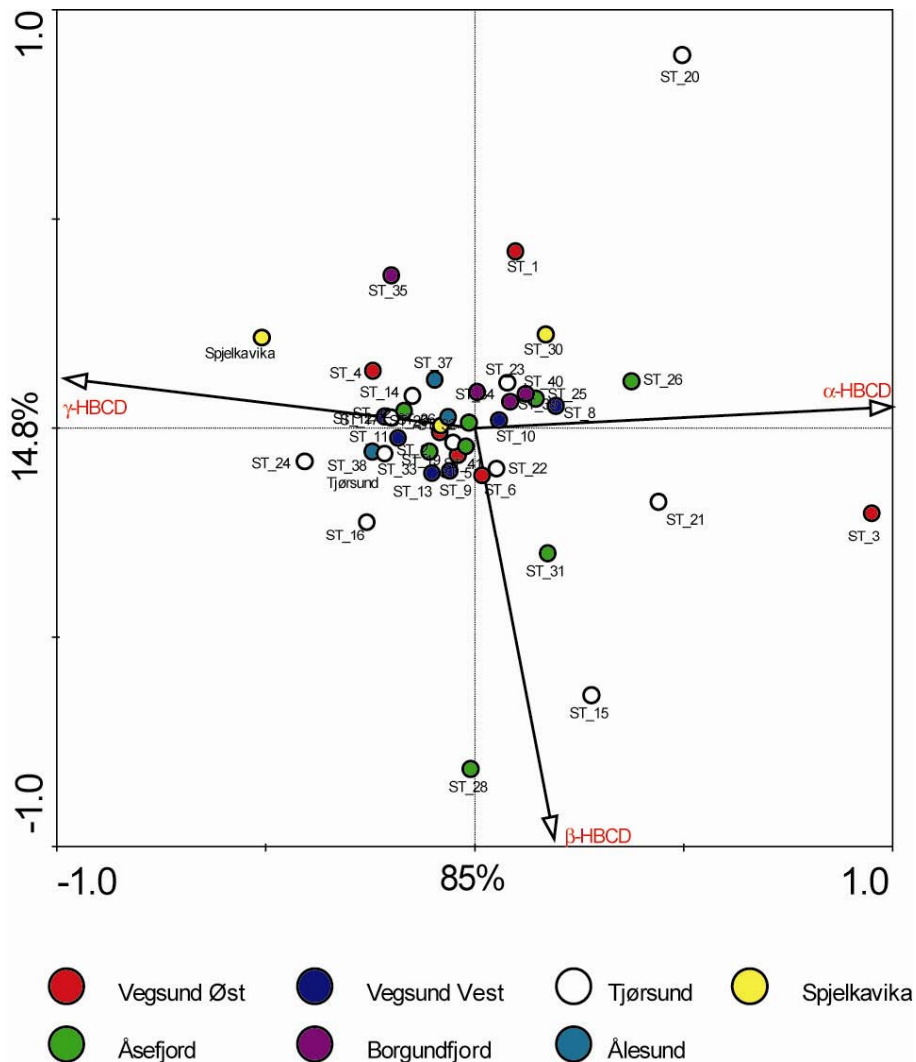
### 2.6.6 Mønster av HBCDD

I direkte multivariat analyse med  $\alpha$ ,  $\beta$ , og  $\gamma$ -HBCDD som responsvariable og TBA, DYP og AVSTAND som forklaringsvariable, var det ingen signifikant sammenheng mellom forklaringsvariable og mønsteret i HBCDD-variasjonen mellom stasjonene. Vi fortsatte derfor med en indirekte multivariat analyse (PCA), der vi bare så på sammenhengen mellom relativ andel  $\alpha$ ,  $\beta$ , og  $\gamma$ -HBCDD og stasjonene (**Figur 27**).

Hovedandelen (85 %) av variasjonen i HBCDD-mønsteret ble forklart ved akse 1, og resten (14,8 %) ved akse 2. Samlingen av de fleste stasjoner rundt origo viser at HBCDD-mønsteret ikke varierer i stor grad mellom de fleste stasjonene. Den spredningen som er av stasjoner langs akse 1 skyldes ulikheter i relativt bidrag av  $\alpha$ -HBCDD og  $\gamma$ -HBCDD, med økende bidrag av  $\alpha$ -HBCDD i positiv retning og økende bidrag av  $\gamma$ -HBCDD i negativ retning av akse 1.

Spjelkavika, som er antatt kilde til HBCDD i Åsefjorden, er den stasjonen med høyest bidrag av  $\gamma$ -HBCDD til  $\Sigma$ HBCDD (**Figur 27**).  $\gamma$ -HBCDD er også den HBCDD-kongenere som antas å være høyest forekommende i den tekniske blandingen. I motsatt retning finner vi stasjon 3, fra vest av Vegsundet, med høyest relativt bidrag av  $\alpha$ -HBCDD. Som nevnt over har alle

stasjonene i Vegsundet Øst lave konsentrasjoner av HBCDD og ligger langt fra kilden i Spjelkavika. Enkelte stasjoner skiller seg fra de andre langs akse 2, og dette skyldes høyere relativt bidrag av  $\beta$ -HBCDD på stasjon 28 og 15 (med økende negativ verdi langs akse 2), og lavere relativt bidrag av  $\beta$ -HBCDD i stasjon 20. Imidlertid forklares kun 14,8 % av variasjonen i HBCDD-mønster langs akse 2, så variasjonen mellom stasjoner i relativt  $\beta$ -HBCDD er liten i forhold til  $\alpha$ -HBCDD og  $\gamma$ -HBCDD.

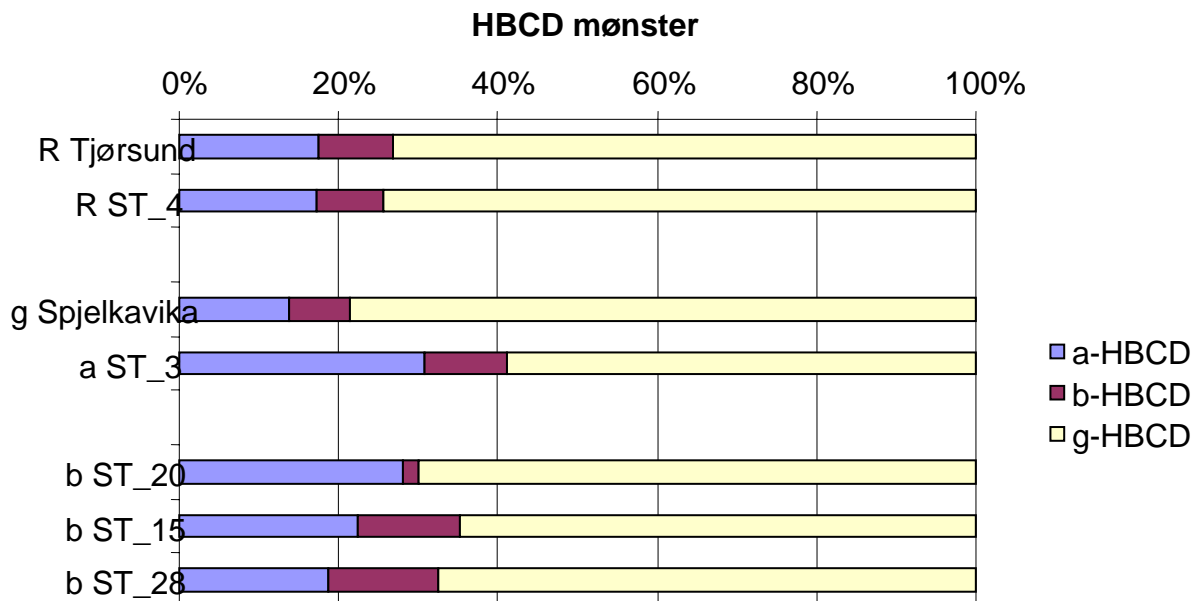


**Figur 27.** Fordeling av stasjoner basert på HBCDD-mønster, ved hjelp av indirekte ordinasjon (prinsippal komponent analyse PCA). Pilene peker i retning av økende relativt bidrag av de ulike HBC-kongenerne.

I den indirekte multivariat analysen av HBCDD-mønster ligger de fleste stasjonene relativt samlet rundt origo, mens enkelte stasjoner (20, 3, 28 og 15) skiller seg ut med høye verdier langs de respektive aksene. HBCDD-mønsteret på disse stasjonene ble nærmere undersøkt (

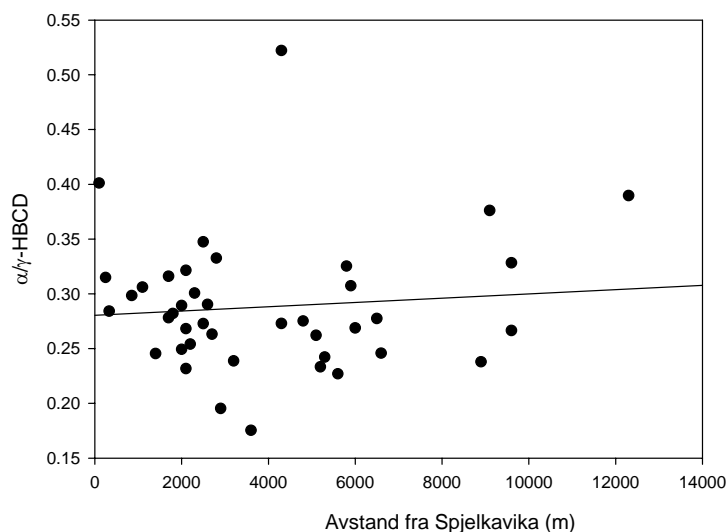
**Figur 28)** hvor stasjon 4 og Tjørsund valgt som representative stasjoner fra hovedgrupperingen av stasjoner. Spjelkavika er tatt med som referanse siden dette er antatt hovedkilde til HBCDD i området.

Tjørsund og stasjon 4, som er valgt som representative for hovedandelen av stasjonene, viser likt HBCDD-mønster, med ca 18%  $\alpha$ -HBCDD, 10%  $\beta$ -HBCDD og i overkant av 70%  $\gamma$ -HBCDD (**Figur 28**). Som i PCA-fremstillingen, viser Spjelkavika høyest andel av  $\gamma$ -HBCDD og lavest andel av  $\alpha$ -HBCDD i forhold til de andre stasjonene, mens stasjon 15 og 28 har høy relativ andel av  $\beta$ -HBCDD. Stasjon 3 og 20 har begge høy relativ andel av  $\alpha$ -HBCDD, men skiller seg ut ved at stasjon 20 har svært lav andel av  $\beta$ -HBCDD i forhold til stasjon 3 og alle de andre stasjonene.



**Figur 28.** Relativt mønster av HBCDD i utvalgte stasjoner basert på fordeling av stasjoner i PCA. Stasjon 20, 3, 28 og 15 falt ut i utkanten av hoveddelen av stasjonene i PCA av HBCDD-mønster, mens stasjon 4 og Tjørsvund er valgt som representative stasjoner fra hovedgrupperingen av stasjoner. Spjelkavika er tatt med som referanse siden dette er antatt hovedkilde til HBCDD i området. Bokstav foran stasjon antyder om denne er representativ for de fleste, skiller seg ut på grunn av  $\beta$ -HBCDD,  $\alpha$ -HBCDD eller  $\gamma$ -HBCDD.

Ut fra HBCDD-mønsteret på disse utvalgte stasjonene kan det se ut som at andel  $\alpha$ -HBCDD øker med avstand til kilden, som er dominert av  $\gamma$ -HBCDD. Nærmere undersøkelse av denne sammenhengen viste derimot at det var ingen signifikant sammenheng mellom avstand og forholdet  $\alpha$ -HBCDD/ $\gamma$ -HBCDD ( $R^2=0.008$ ,  $p=0,564$ ) (**Figur 29**).



**Figur 29.** Forholdet mellom  $\alpha$ / $\gamma$ -HBCDD og avstand til antatt kilde i Spjelkavika. Merk: dette er ikke et signifikant forhold.

## 2.7 Datering

For begge de daterte kjernene avtok  $^{210}\text{Pb}$ -konsentrasjonen eksponentielt med dypet, men med noen uregelmessigheter i den dypere delen av kjernen fra Spjelkavika. Resultatene ble likevel tolket som tilfredsstillende til å kunne gi en rimelig god datering (se vedlegg i kapittel 5.4 og 5.5 for de fullstendige dateringrapportene). Usikkerheten i dateringen var noe større for kjernen fra Spjelkavika (2-6 år for tidsintervallet 2-50 år) enn for kjernen fra Tjørsundet (1-2 år for tidsintervallet 4-53 år). Prøveinnsamlingen tydet også på at sedimentene i Spjelkavika var mer forstyrret enn de som ble innsamlet til datering fra Tjørsundet. I utgangspunktet har vi derfor mer tiltro til dateringsresultatene fra Tjørsundet enn fra Spjelkavika. Ved senere kjemiske analyser av BF viste det seg også at sedimentet som en antok var avsatt så langt tilbake som for 93 år siden (11-12 cm ned i sedimentet) inneholdt "kuler" trolig uekstrudert polystyren fra Brødrene Sunde AS. Dette tyder på at kjernen som ble analysert for BF er noe forstyrret og usikkerheten i HBCDD-analysene ble også betydelig høyere enn normalt. Dette betyr at en spesielt for Spjelkavika og for HBCDD må være forsiktig med å tolke resultatene med hensyn til eksponeringshistorie.

I sedimentkjernene fra begge lokaliteter ble det observert  $^{137}\text{Ce}$  i sediment som antas å være eldre enn ca 1954 (dvs. omtrentlig tidspunkt for når isotopen antas å være introdusert). Dette tyder på at det har vært en viss bioturbasjon (mixing) som kan ha transportert BF til dypere nivåer (eldre sediment) enn der de opprinnelig ble avsatt.

Merk også at datering og analyse av BF ble gjort på to separate kjerner. Dette betyr at selv om dateringen tyder på at prøven er godt stratifisert og relativt lite forstyrret så behøver nødvendigvis ikke prøven som er analysert for BF være uforstyrret.

Dateringen tyder på at sedimentasjonshastigheten i gjennomsnitt er ca 1-2 mm pr år på stasjonen i Spjelkavika og 1,5-4 mm pr år (18,5 cm på 119 år) på stasjonen nord for Tjørsundet.

### 2.7.1 PBDE i datert sediment

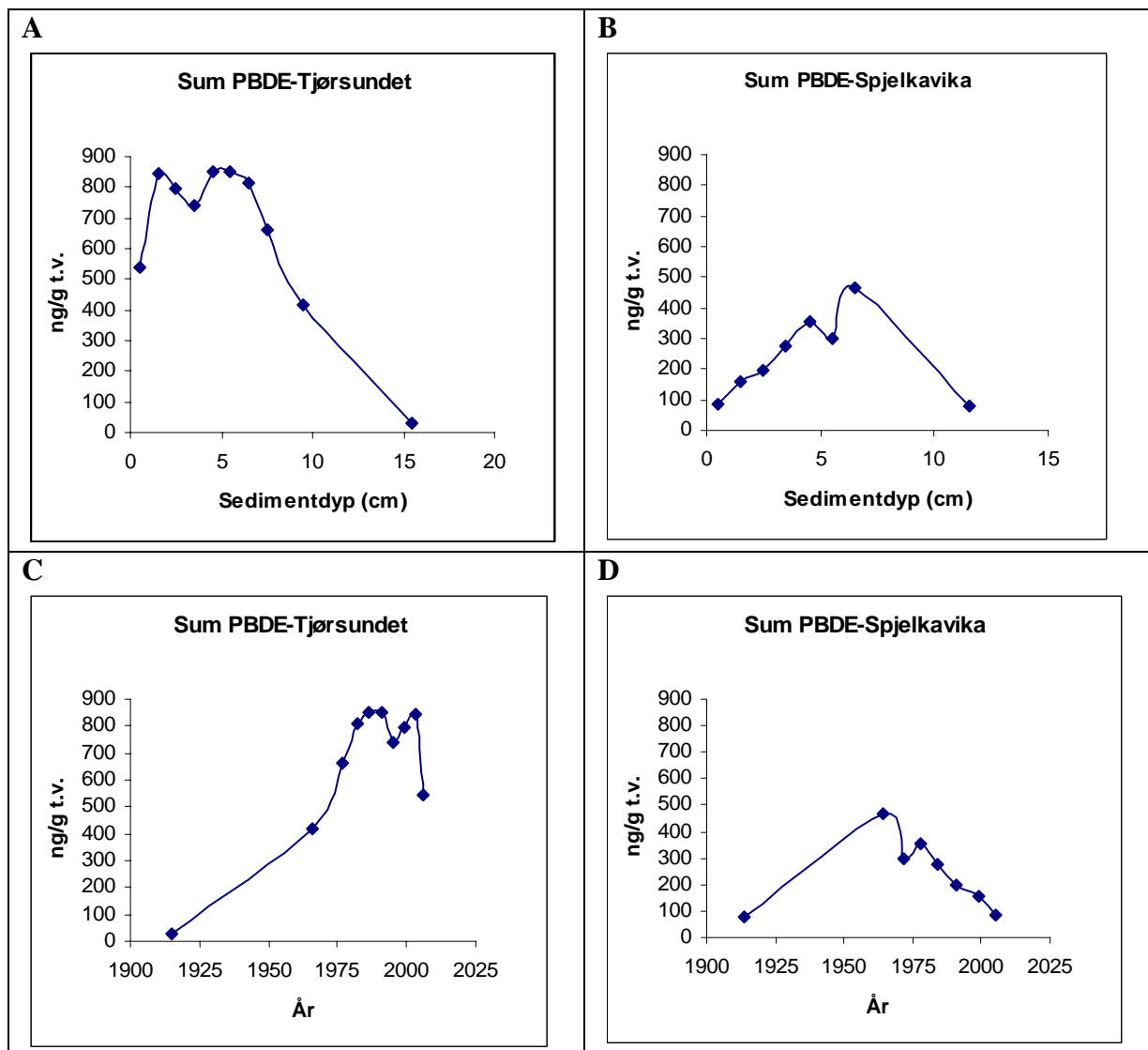
Hovedmengden av PBDE lå i de øvre 10 cm av sedimentet i Tjørsundet mens en i kjernen fra Spjelkavika så en topp mellom 6 og 7 cm (**Figur 29 A og B**). Fordelingen av PBDE i ulike dyp av sedimentet antyder at tilførslene til stasjonen i Tjørsundet tok til før 1966 år og at de holdt seg stabilt høye i perioden 1982-2003 for deretter å opphøre eller bli redusert (**Figur 29 A og C**). Kommersiell bruk av PBDE som flammehemmer tok til rundt 1960-tallet (<http://envirocancer.cornell.edu/pbde/brief.pdf>) og det er påvist PBDE i sediment fra Østersjøen har økt siden slutten av 70-tallet (Nylund et al. 1992 referert i Alaae and Wenning, 2002). Våre resultater kan tyde på at tilførslene til sedimentene i Tjørsundet startet svært tidlig i forhold til det som er dokumentert fra andre områder.

Fordelingen i sedimentet fra Spjelkavika viser et annet forløp (**Figur 29 B og D**) og antyder at tilførslene der var størst for ca 50 år siden og har avtatt siden. I forholdt til når bruken av PBDE som flammehemmer startet synes vi resultatene fra Spjelkavika er vanskelige å forklare og er trolig et artifakt som skyldes at kjernen som ble analysert for PBDE var forstyrret.

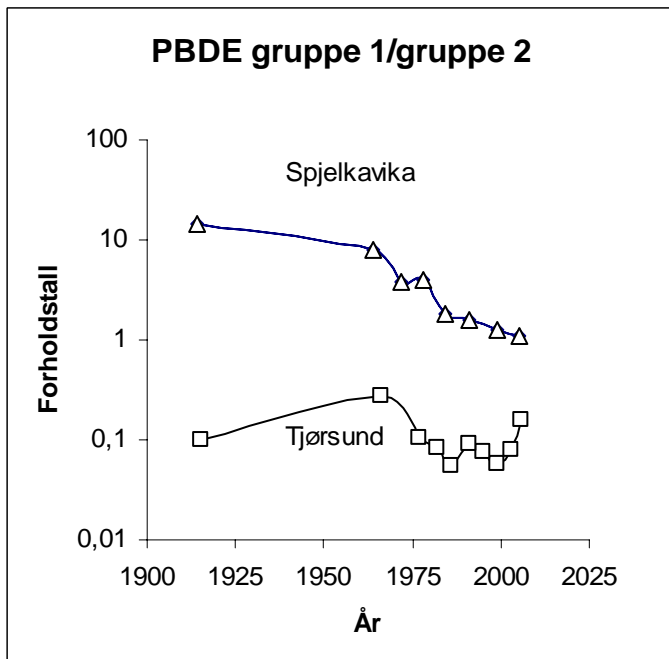


Tar en utgangspunkt i de siste ca 20 årene så tyder resultatene på at tilførslene av PBDE samlet har vært større til sedimentet i Tjørundet enn til Spjelkavika.

De multivariate analysene tyder på at PBDE-mønsteret var generelt likt mellom stasjonene, men noen stasjoner skilte seg ut med lavere PBDE-209 og høyere bidrag av lavbromerte PBDEer. Dette er spesielt for et par stasjoner nær Spjelkavika. I figur **Figur 31** har vi plottet forholdet mellom summen av konsentrasjonene av forbindelser som inngår i Gruppe 1 PBDEer (PBDE-47, 99, 100, 153, 154) og de som inngår i Gruppe 2 PBDEer (PBDE 196, 206 og 209) for de daterte prøvene. Plottet viser at prøvene fra sedimentet i Spjelkavika relativt sett og i alle dyp inneholder tydelig mer av de lavbromerte kongenerene enn prøvene fra Tjørundet. Dette antyder at en kan ha flere kilder og at det i Spjelkavika er den lavbromerte som dominerer.



**Figur 29.** Konsentrasjonen av sum PBDE i ulike dyp av sedimentet i prøver fra Tjørsundet og Spjelkavika (A, B). De samme konsentrasjonsdata er også presentert som funksjon av hvilke år sedimentene antas å være avsatt (resultater fra sedimentdateringen).



**Figur 30.** Forholdet mellom konsentrasjonen (tørrvektbasis) av Gruppe 1 PBDEer (PBDE-47, 99, 100, 153, 154) og Gruppe 2 PBDEer (PBDE 196, 206 og 209) i sedimentprøver fra Spjelkavika (trekantet symbol) og Tjørsumdet (firkantet symbol). Forholdet presentert som funksjon av hvilke år sedimentene antas å være avsatt (resultater fra sedimentdateringen).

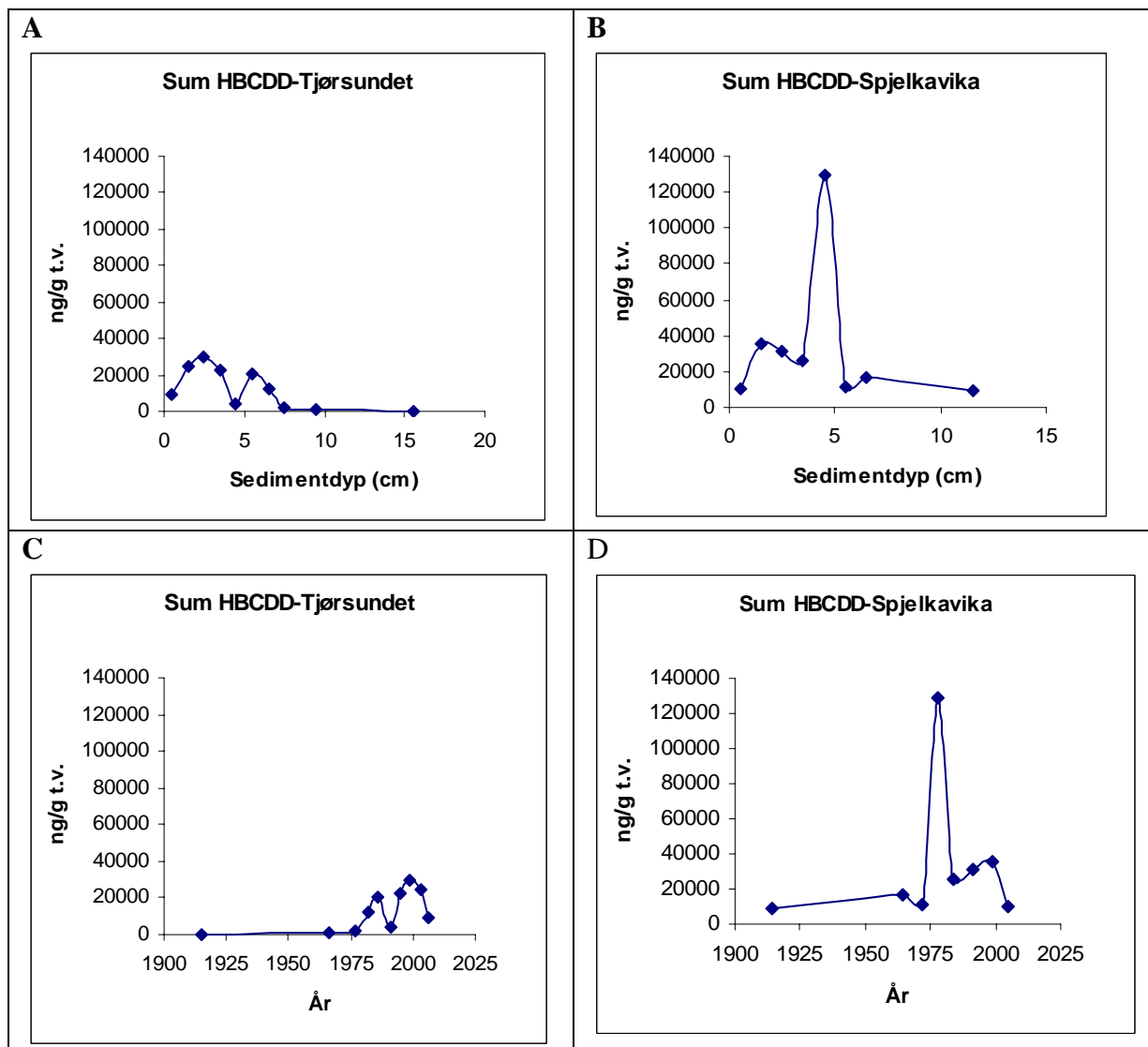
### 2.7.2 HBCDD i datert sediment

Det er betydelig mer usikkerhet knyttet til analyseresultatene for HBCDD. Dette har blant annet sammenheng med at det ble observert "isoporkuler" i sedimentet som skapte vanskeligheter under analysen. Det var likevel visse likhetstrekk når det gjelder fordelingen av HBCDD og PBDE i prøvene fra Tjørsumdet. For begge grupper forbindelser ser det ut til å være reduserte tilførsler i Tjørsumdet de siste årene. For HBCDD ser det ut til at tilførslene startet mellom 1977 og 1982 (**Figur 31C**), dvs. litt etter at tilførslene av PBDE startet. Tilførslene av HBCDD antydes også å ha avtatt de siste 1-3 år (**Figur 31C**). Bruken av HBCDD startet tidlig på 80-tallet (Kakimoto et al. 2008). Våre observasjoner av at starten på tilførslene av HBCDD til sedimentet i Tjørsumdet startet rundt 1980 faller derfor grovt sammen med når bruken startet internasjonalt.

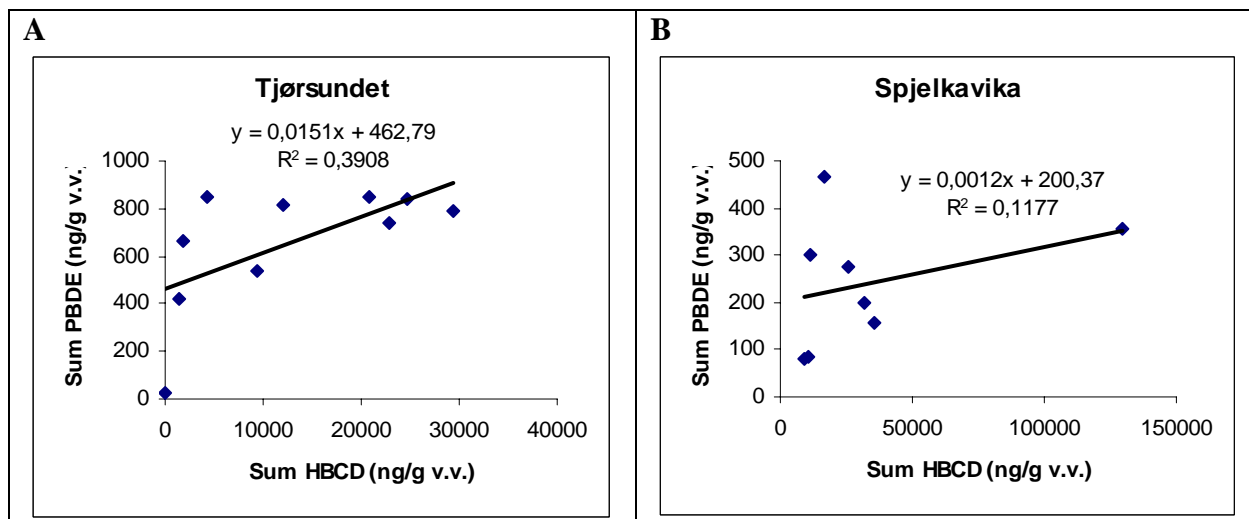
I Spjelkavika hvor konsentrasjonen var høyere ble det observert en topp i konsentrasjonen 4-5 cm ned i sedimentet (tilsvarende sediment avsatt i 1978) (**Figur 33D**). I forhold til tidspunktet for når HBCDD ble tatt i bruk som flammehemmer synes vi at en høy tilføsel i 1978 er vanskelig å forklare og trolig et artfakt som skyldes at sedimentene utenfor kaien er forstyrret.

I prøvene fra Tjørsumdet var det en relativt dårlig korrelasjon mellom konsentrasjon av PBDE og HBCDD i sediment avsatt på samme tidspunkt (**Figur 32**). Dette tyder på at tilførslene ikke har variert i takt.

Tar en utgangspunkt i de siste ca 20 årene så tyder resultatene på at tilførslene av HBCDD samlet har vært større til sedimentet i Spjelkavika enn til Tjørsumdet.



**Figur 31.** Konsentrasjonen av sum HBCDD i ulike dyp av sedimentet i prøver fra Tjørsundet og Spjelkavika (A, B). De samme konsentrasjonsdata er også presentert som funksjon av hvilke år sedimentene antas å være avsatt (resultater fra sedimentdateringen).

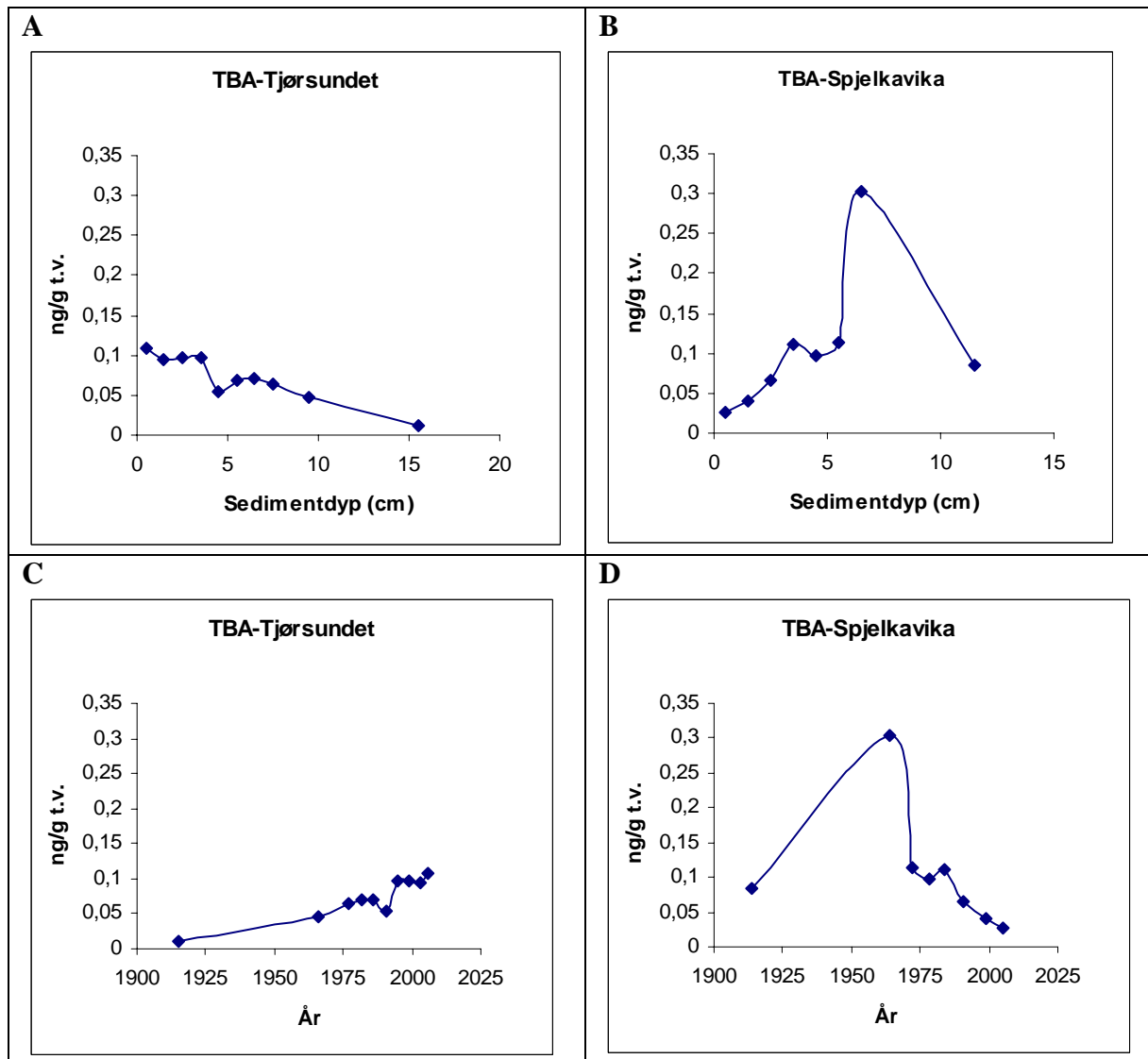


**Figur 32.** Konsentrasjonen av sum PBDE som funksjon konsentrasjon av HBCDD i sedimentet i prøver fra ulike dyp av sedimentet i prøver fra Tjørsundet og Spjelkavika (A, B).

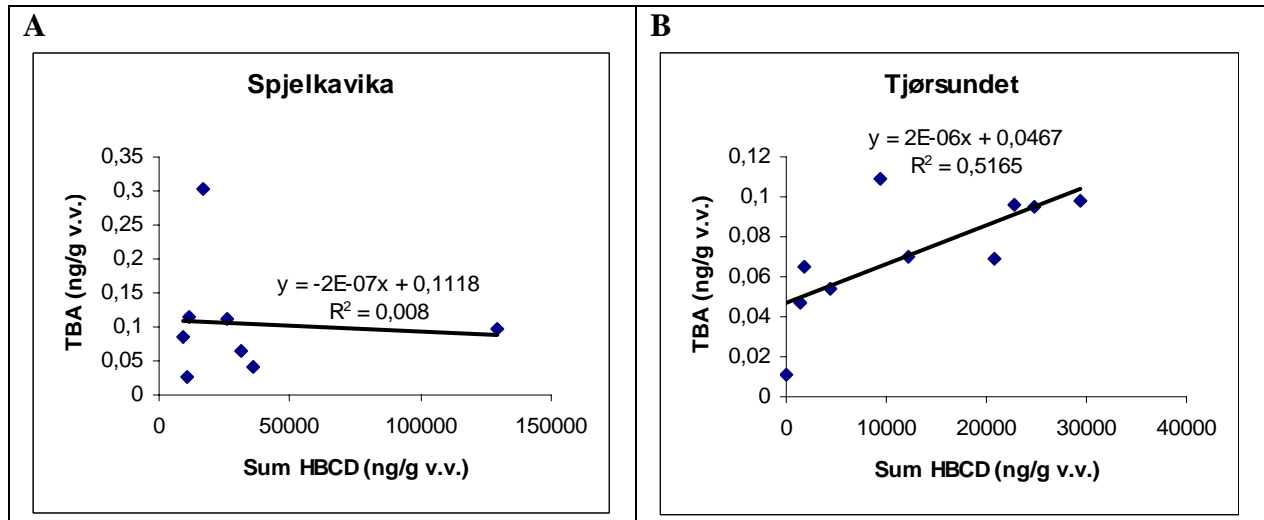
### 2.7.3 TBA i datert sediment

I Tjørundet var konsentrasjonen av TBA høyest i overflatesedimentet (avsatt de siste få år) og avtok grovt sett jevnt nedover i sedimentet til et minimum i sediment avsatt rundt 1915 (Figur 33 A og C). Reduksjonen kan skyldes nedbrytning.

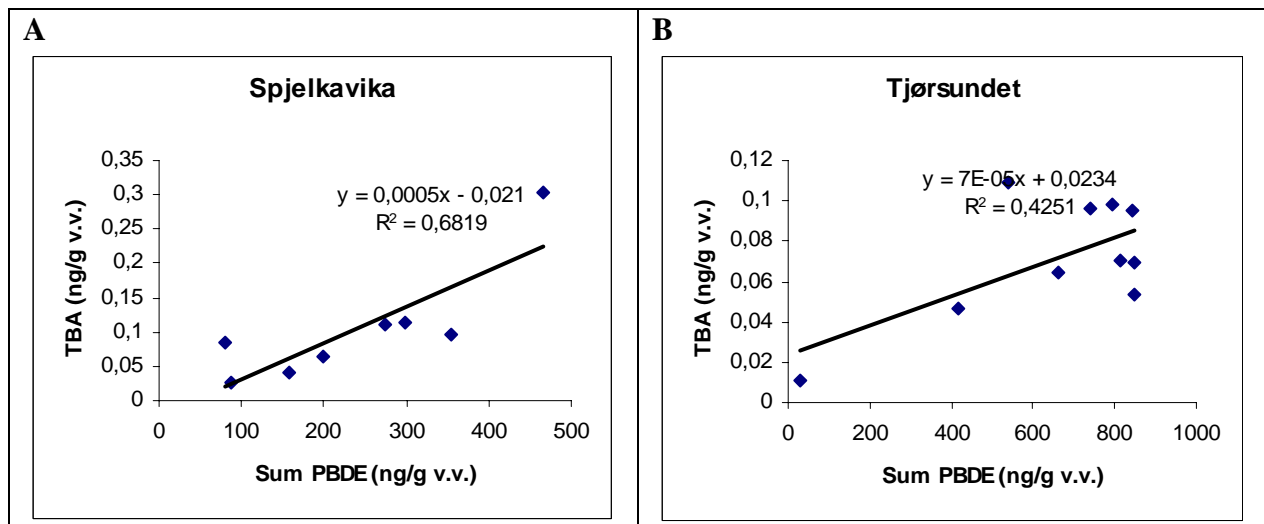
I Spjelkavika ble det observert et TBA-maksimum 6,5 cm ned i sedimentet, dvs. i sediment som ut fra dateringen skulle være avsatt rundt 1964, men pga mistanke om at prøven som er analysert for TBA er forstyrret og usikkerheten rundt dette vil vi ikke tolke profilen i Figur 33 B og D videre.



**Figur 33.** Konsentrasjonen av TBA i ulike dyp av sedimentet i prøver fra Tjørundet og Spjelkavika (A, B). De samme konsentrasjonsdata er også presentert som funksjon av hvilke år sedimentene antas å være avsatt (resultater fra sedimentdateringen).



**Figur 34.** Konsentrasjonen av sum TBA som funksjon av konsentrasjon av HBCDD i sedimentet i prøver fra ulike dyp av sedimentet i prøver fra Tjørsundet og Spjelkavika (A, B).



**Figur 35.** Konsentrasjonen av sum TBA som funksjon av konsentrasjon av sum PBDE i sedimentet i prøver fra ulike dyp av sedimentet i prøver fra Spjelkavika og Tjørsundet (A, B).

### 3.

## Konklusjoner

- Det var generelt vanskelig å påvise en entydig kilde for PBDE i resipienten og de fleste stasjonene hadde ganske likt PBDE-mønster hvor BDE-209 dominerte. Noen få stasjoner hadde dog et annerledes mønster, med høyere andel av lavere bromerte PBDEer. Dette kan tyde på at en har flere PBDE-kilder i området. To lokale lavbromerte kilder (en i Spjelkavika og en øst for Vegsundet) samt en eller flere høybromerte kilder (dekablanding) som gir en diffus spredning i hele området. Kongenersammensetningen i Spjelkavika indikerer at påvirkningen er fra en penta-blanding, mens kongenersammensetningen på to stasjoner øst for Vegsundet har en annen opprinnelse eller er et resultat av nedbrytning.
- Resultatene bekrefter at hovedkilden til forekomsten av HBCDD i undersøkelsesområdet ligger i Spjelkavika.
- Selv om det er relativt høye totalkonsentrasjoner av PBDE i sedimentet på enkelte stasjoner så var konsentrasjonen av den gruppe PBDEer som inngår i SFTs nye klassifiseringsverktøy (dvs. pentaforbindelsene) såpass lav at det er bare på en stasjon nær Spjelkavika hvor en kan forvente toksiske effekter for bunnfauna. For HBCDD var imidlertid konsentrasjonene såpass høye at en på hele 29 av i alt 41 stasjoner kan forvente toksiske effekter. Ut fra et giftighetssynspunkt er trolig forekomsten av HBCDD i sedimentet langt viktigere enn PBDE. Skal det gjennomføres tiltak for å redusere giftigheten i sedimentene for bunnfauna, bør dette i første rekke rettes mot HBCDD.
- De høyeste konsentrasjonen på tørrverktsbasis ble observert rundt Tørla. Normaliseres konsentrasjonen av  $\Sigma$ PBDE mot TOC er det til dels andre stasjoner enn de rundt Tørla som blir fremtredende (3 stasjoner i Borgundfjorden og 3 stasjoner nord øst for Tørla). Det er likevel noen stasjoner som går igjen blant de med høye konsentrasjoner. Disse er stasjoner på Tørlas østre eller sydøstre side. Ut fra en totalvurdering basert på  $\Sigma$ PBDE-betraktninger alene kan derfor hovedkilden til den diffuse belastningen ligge i dette området.
- I nedbørsfeltet til bekken som kommer ut i Blindheimsvågen ligger det industriområder hvor det kan tenkes å forekomme bromerte flammehemmere. Observasjonene gir imidlertid ikke klare holdepunkter for at bekken i Blindheimsvågen er noen PBDE-kilde av betydning. Det kan likevel ikke utelukkes at PBDE transporteres eller tidligere er blitt transportert med ferskvannet ut i overflatelaget og først sedimenterer når det er kommet utenfor selve Blindheimsvågen.
- De multivariate analysene viste at TOC forklarte mesteparten av variasjon i PBDE- og HBCDD-konsentrasjoner mellom stasjoner. For PBDE, bidro ikke avstand fra Spjelkavika i vesentlig grad til gjenværende konsentrasjonsvariasjon etter TOC-korrigering. Dette antyder at Spjelkavika ikke er noen hovedkilde for spredning av PBDE i resipienten. Imidlertid viste prøver fra Spjelkavika et annerledes PBDE-mønster enn de fleste andre stasjoner, med høyere innslag av PBDE-47, -99 og -100, som kan ha opphav fra en penta-blanding av PBDE. De fleste andre stasjonene var dominert av PBDE-209, som trolig har opphav fra en deka-blanding av PDBE.



- Multivariat analyse av PBDE-konsentrasjoner skiller stoffene i to grupper: Gruppe 1 består av PBDE-47, -99, -100, -154, -153, -49/-71 og Gruppe 2 består av PBDE-209, 206 og -196. Konsentrasjonene av PBDE i Gruppe 1 og Gruppe 2 ser ikke ut til å være relatert. Dette betyr at lavt og høytbromerte PBDEer trolig har forskjellige kilder i området, antakelig knyttet til bruk av henholdsvis Penta- og Deka-PBDE-blandinger.
- Resultatene fra de daterte kjernene fra henholdsvis Tjørsundet og Spjelkavika ble tolket som tilfredsstillende til å kunne gi en rimelig god aldersdatering, men resultatene tyder også på at det har vært en viss bioturbasjon (blanding) som kan ha ført BF til dypere lag (eldre sediment) i forhold til der de opprinnelig ble avsatt.
- Hovedmengden av PBDE lå i de øvre 10 cm av sedimentet i Tjørsundet. Fordelingen av PBDE i ulike dyp av sedimentet antyder at tilførslene til stasjonen i Tjørsundet tok til før 1966 og at de holdt seg stabilt høye i perioden 1982-2003 for deretter å opphøre eller bli redusert. Resultater antyder at tilførslene av PBDE til sedimentene i Tjørsundet startet svært tidlig i forhold til det som er dokumentert i andre undersøkelser.
- Det var visse likhetstrekk når det gjelder fordelingen av HBCDD og PBDE i prøvene fra Tjørsundet. For begge grupper forbindelser ser det ut til å være reduserte tilførsler i Tjørsundet de siste årene. For HBCDD ser det ut til at tilførslene startet mellom 1977 og 1982, dvs. litt etter PBDE, for så å avta de siste 1-3 år.
- Tar en utgangspunkt i de siste ca 20 årene så tyder resultatene på at tilførslene av HBCDD samlet har vært større til sedimentet i Spjelkavika enn til Tjørsundet, dvs. motsatt av hva som ble observert for PBDE.

## 4. Referanser

Alaee, M. and Wenning, R.J., 2002. The significance of brominated flame retardants in the environment: current understanding, issues and challenges. *Chemosphere*, 46:579-582.

Berge, J.A., Schlabach, M., Fagerhaug, A., Rønneberg, J.E. 2006. Kartlegging av utvalgte miljøgifter i Åsefjorden og omkringliggende områder. Bromerte flammehemmere, klororganiske forbindelser, kvikksølv og tribromanisol. NIVA-rapport nr. 5132 (TA 2146/2006), 63s + vedlegg.

Berge, J.A., Schlabach, M., Hareide, N.R. 2007. Kartlegging av bromerte flammehemmere, klor- og bromorganiske forbindelser, kvikksølv og metylkvikksølv i fjorder nær Ålesund. NIVA rapport nr. 5436 (TA2252/2007), 100s.

Fjeld, E., Schlabach, M., Berge, J.A., Green, N., Eggen, T., Snilsberg, P., Vogelsang, C., Rognerud, Källberg, G.,S., Enge, E.K., Dye, C. and Gundersen, H., 2005. Kartlegging av utvalgte nye organiske miljøgifter 2004. Bromerte flammehemmere, perfluoralkylerte stoffer, irgarol, diuron, BHT and dicofol.. SFT rapport TA-2096/2005 (Niva rapport nr. 5011-2005), 97s.

Hale RC, La Guardia MJ, Harvey E, Gaylor MO, Mainor TM (2006) Brominated flame retardant concentrations and trends in abiotic media. *Chemosphere* 64:181-186.

Janàk, K., Covaci, A, Voorspoels, S., Becher, G., 2005. Hexabromcyclododecane in marine species from the Western Scheldt Estuary: Diastereoisomer- and enantiomer-species accumulation. *Environ.Sci.Technol.* 39, 1987-1994.

Kakimoto, K., Akutsu, K, Konishi, Y., Tanaka, Y., 2008. Time trend of hexabromocyclododecane in breast milk of Japanese women, *Chemosphere*, 71, 11101114.

La Guardia M. J., Hale, R. C., Harvey, E. 2006. Detailed polybrominated diphenyl ether (PBDE) congener composition of the widely used Penta-, Octa-, and Deca-PBDE technical flame-retardant mixtures. *Environ Sci Technol* 40: 6247-6254.

Molvær, J., J. Knutzen, J. Magnusson, B. Rygg, J. Skei og J. Sørensen 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Veiledning. SFT Veiledning 97:03. SFT. 36 s.

Nylund, K. Asplund, L, Jansson, B, Jonsson, P, Litzèn, K. Sellstrøm, U. 1992. Analysis of some polyhalogenated organic pollutants in sediment and sewage sludge, *Chemosphere* 24, 1721-1730.

SFT, 2007. Veileder for klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystvann. Revidering av klassifisering av metaller og organiske miljøgifter i vann og sediment, TA-2229/2007, 10s.

Stapleton, H. M., Brazil, B., Holbrook, R. D., Mitchelmore, C. L., Benedict R., Konstantinov, A., Potter, D. 2006. In vivo and in vitro debromination of decabromodiphenyl ether (BDE 209) by juvenile rainbow trout and common carp. *Environ Sci Technol* 40: 4653

ter Braak, C. J. F. and Prentice, I. C. 1988. A theory of gradient analysis. *Advances in Ecological Research* 19:271-317

ter Braak, C. J. F. and Šmilauer, P. 2002. *Canoco reference manual and CanoDraw for Windows user's guide: Software for Canonical community ordination (version 4.5)*. Microcomputer Power (Ithaca, NY, USA), 500 pp.

## **5.**

## **Vedlegg**

Vedlegg A – Stasjoner og sedimentbeskrivelse

**Vedleggstabell A1.** Stasjoner hvor det ble innsamlet sediment i uke 46 2007. I tabellen vises stasjonsnavn, posisjon og dypene (i meter) hvor de ulike prøver ble tatt. Det gis også en beskrivelse av sedimentet på den enkelte stasjon.

Stasjon	Posisjon	Dyp prøve 1	Dyp prøve 2	Dyp prøve 3	Dyp middel	Beskrivelse
PBDE 1	N62 25.636 E6 23.612	30,5	30,5		30,5	Bløt leire, Overflatesediment med grønnskjær, ingen lukt
PBDE 2	N62 25.625 E6 22.488	34	36		35,0	Bløt leire, Overflatesediment med grønnskjær, ingen lukt
PBDE 3	N62 25.730 E6 21.796	2,5	2,5		2,5	Flyttet stasjon litt (mye stein), Fin gråaktig sand, ingen lukt.
PBDE 4	N62 25.832 E6 22.905	14	14		14,0	Rett utenfor molo, Hvit skjellsand, ingen lukt
PBDE 5	N62 25.950 E6 22.740	2,5	2,5		2,5	Rett ved nytt båthus. Gråsort fin sand med noen småkornede skjellrester, ingen lukt
PBDE 6	N62 25.942 E6 22.363	15	15		15,0	Flyttet stasjon litt. Sand, småstein og skjellrester (meget heterogen prøve)
PBDE 7	N62 25.900 E6 21.603					Etter en del bomskudd (stein i grabb) og flytting av stasjon ble stasjonen oppgitt. Trolig sterk strøm i område
PBDE 8	N62 25.861 E6 18.963	41	41		41,0	Helt sort bløt leire, lit H <sub>2</sub> S lukt
PBDE 9	N62 25.683 E6 17.320	31	31		31,0	3 bomskudd, problemer med utløser, filte litt på utløser. Bløt leire, grønnskjær, ingen lukt
PBDE 10	N62 26.293 E6 17.979	58	57		57,5	7-8 bomskudd med liten grabb. Antagelig for løst sediment. Går over til Gemini corer. Alle 3 kjerner ca 60 cm. Sort meget bløtt sediment 0-15 cm) 15-60 mer brunaktig sediment. Hvitaktig fibre i overflatesedimentet, ingen lukt
PBDE 11	N62 26.522 E6 17.077	38	38		38,0	Flyttet stasjon (3 bomskudd, grabb fast i bunnen), Fin sand/leire, grønnskjær på overflatesediment, ingen lukt
PBDE 12	N62 26.130 E6 20.705	21,6	21,6		21,6	Bløt sort leire
PBDE 13	N62 26.167 E6 20.303	9			9,0	Sort bløt leire ingen lukt (2 bomskudd)
PBDE 14	N62 26.332 E6 20.079	4	6		5,0	Ålegress (mest på grabb 1), sort bløt leire, ingen lukt
PBDE 15	N62 26.395 E6 20.846	5	5		5,0	Leire/fin sand, med innsalg av skjellrester, ingen lukt
PBDE 16	N62 26.417 E6 21.178	12	12		12,0	Flyttet stasjonen litt. Sort bløt leire, litt H <sub>2</sub> S lukt
PBDE 17	N62 26.501 E6 21.490	4,5	4,5		4,5	Sort bløt leire ingen lukt
PBDE 18	N62 26.580 E6 20.882					Flyttet stasjon litt (nær skjær, mørke). Gir opp stasjonen etter flere bomskudd
PBDE 19	N62 26.649 E6 21.052	36			36,0	Fin sand med grønnskjær, ingen lukt
PBDE 20	N62 26.676 E6 21.267	1,5	1,5		1,5	Fin sand, ingen lukt
PBDE 21	N62 26.763 E6 20.969	30			30,0	Fin gråaktig sand med noe småstein og noen skjellrester. 3 bomskudd gir opp å få siste prøve til blandprøven
PBDE 22	N62 26.753 E6 20.490	67	62		64,5	Sandig leire (grønnskjær) med noe småstein, ingen lukt

**Vedlegstabell A1 (fortsettelse)**

PBDE 23	N62 26.514 E6 20.002	11	11		11,0	Flyttet stasjon nærmere land: Gråsort sand, innslag av leire og skjellrester
PBDE 24	N62 26.642 E6 19.766	23	23		23,0	Gråsort leire med grønnskjær, luktet H <sub>2</sub> S
PBDE 25	N62 26.972 E6 20.798	7	7		7,0	Flyttet stasjon nærmere land. ny posisjon omtrentlig. Gråhvit sand med mye skjellrester og småstein, ingen lukt
PBDE 26	N62 26.681 E6 18.734	4	4		4,0	Gråsort leire med grønnskjær, ingen lukt
PBDE 27	N62 27.124 E6 20.524	11			11,0	Grabben fast, muligens steinur. Gir opp stasjonen
PBDE 28	N62 27.228 E6 20.875	20	20		20,0	Sort bløt leire, Litt H <sub>2</sub> S lukt
PBDE 29	N62 27.463 E6 20.714	33,8	34,5		34,2	Veldig fin sand, grønnskjær, ingen lukt
PBDE 30	N62 27.427 E6 21.278	0,5	0,5		0,5	Flyttet stasjon litt, ny posisjon omtrentlig, Gråhvit sand med skjellrester (ingen lukt)
PBDE 31	N62 27.564 E6 20.099	19	19		19,0	Flyttet stasjon litt: Blanding av leire sand og småstein, grått med grønnskjær, ingen lukt,
PBDE 32	N62 27.579 E6 17.387	8,5	8,5		8,5	Gråsort leire, ingen lukt
PBDE 33	N62 27.185 E6 16.939	101	101		101,0	Leire, Overflate med grønnskjær i overflatesedimentet, brungrå lenger nede, ingen lukt
PBDE 34	N62 27.429 E6 14.845	12,6	12,8	?	12,7	Flyttet stasjon noen. Sand småstein (1 så stor på ca 7 cm), gråsort sediment, ingen lukt
PBDE 35	N62 27.793 E6 15.000	3	3		3,0	Grå sand, ingen lukt
PBDE 36	N62 28.039 E6 12.656	45	43,6	43	43,9	Fin sand, Grønnskjær på topplaget (0-1 cm), gråsort lenger ned, ingen lukt
PBDE 37	N62 28.161 E6 10.665	31	31		31,0	Bløt sort leire, ingen lukt
PBDE 38+TIL 10	N62 28.090 E6 07.139	18,6	19	18,6	18,7	Fin sand, Overflate med grønnskjær, resten sort/gråsort, ingen lukt
PBDE 39	N62 26.793 E6 10.958	26	25,5	25,5	25,7	Fin sand, grønnskjær på overflatesedimentet (0-1 cm)
PBDE 40	N62 27.265 E6 10.735	101	101		101,0	Fin sand, Overflatsediment (0-1 cm) med grønnskjær, ingen lukt
PBDE 41	N62 27.362 E6 18.771	100	100		100,0	Bløt leire (helt full grabb) med grønnskjær i toppen, ingen lukt.
PBDE 42	N62 26.894 E6 19.609	78			78,0	Bløt leire (helt full grabb) med grønnskjær, ingen lukt. Etter 4 bomskudd totalt gis det opp å få flere grabber med sediment. Må være heterogen bunn (stein i kjeften på flere av forsøkene)

**Vedleggstabell A2.** Stasjoner der det ble tatt prøver av dypereliggende sediment for datering og analyse.

Stasjon	Posisjon	Dyp prøve 1	Dyp prøve 2	Dyp prøve 3	Dyp middel	Beskrivelse
Spjelkavika 1	N62 27.489 E6 21.003	14			14,0	Corer 1: Sediment til analyse, prøver fra 0-5 cm. Sortfarge på sedimentet i hele kjernen. Ikke notert noe om perler. I alt 5 prøver
Spjelkavika 1	N62 27.489 E6 21.003	14			14,0	Corer 2: Sediment til datering, prøver fra 0-11 cm. Sortfarge på sedimentet i hele kjernen. Små perler observert i sedimentet (både topp og bunn, muligens forstyrret sediment). I alt 11 prøver
Spjelkavika 1	N62 27.489 E6 21.003	15,6			15,6	Corer 3: Sediment til analyse, prøver fra 0-14 cm. Sort hele kjernen, Lite forstyrret, perler observert på overflaten. I alt 14 prøver
Spjelkavika 1	N62 27.489 E6 21.003	15,6			15,6	Corer 4: Sediment til datering, prøver fra 0-16 cm, Sort hele kjernen, Lite forstyrret, perler observert på overflaten, I alt 16 prøver
Tjørsund 5	N62 26.501 E6 20.586	51			51,0	Corer 1 og 2: Prøver fra 0-20 cm, begge kjerner synes uforstyrret, meget bløt leire i toppen, gråsort 0-20 cm med noe grønnskjær i toppen (0-2 cm), ingen lukt. I alt 40 prøver
Tjørsund 5	N62 26.501 E6 20.586	51			51,0	Corer 3 og 4: Prøver fra 0-20 cm, begge synes uforstyrret, meget bløt leire i toppen, gråsort 0-20 cm med noe grønnskjær i toppen (0-2 cm), ingen lukt. I alt 40 prøver

## 5.1 Vedlegg B – Analyseresultater PBDE

**Vedleggstabell B1.** Konsentrasjonen av ulike PBDE-kongenerer i overflatesediment på undersøkte stasjoner. Alle konsentrasjoner er oppgitt i ng/g tørrvekt sediment. Se vedleggstabell B3 for de ulike forbindelsers navn.

	IUPAC-no.								
	28	47	66	49 + 71	77	85	99	100	119
PBDE 1	<0,01	0,070	<0,01	0,059	<0,01	<0,01	0,101	0,044	0,013
PBDE 2	0,064	0,838	0,049	1,737	<0,01	0,056	1,647	0,833	0,090
PBDE 3	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,013	<0,01	<0,01
PBDE 4	<0,01	0,021	<0,01	0,016	<0,01	<0,01	0,027	<0,01	<0,01
PBDE 5	0,010	0,143	0,016	0,104	<0,01	0,012	0,393	0,065	0,018
PBDE 6	0,142	4,344	0,193	4,253	<0,01	0,345	9,958	2,802	0,274
PBDE 8	0,023	4,262	<0,014	0,342	<0,01	<0,016	5,384	0,864	<0,01
PBDE 9	0,027	1,943	<0,01	0,107	<0,01	0,064	2,666	0,428	<0,01
PBDE 10	0,064	4,619	0,108	0,883	<0,01	0,230	6,318	1,773	<0,01
PBDE 11	0,032	4,203	0,021	0,295	<0,01	<0,01	5,765	1,238	<0,01
PBDE 12	0,037	6,734	<0,032	0,252	<0,017	0,225	9,970	1,469	<0,015
PBDE 13	0,021	2,232	0,026	0,568	<0,01	0,105	3,081	0,664	0,023
PBDE 14	<0,01	1,286	<0,01	0,065	<0,01	0,062	1,781	0,373	<0,01
PBDE 15	<0,01	2,853	0,017	0,046	<0,01	<0,01	4,121	0,936	<0,01
PBDE 16	0,015	3,028	0,024	0,124	<0,01	<0,01	4,053	0,808	<0,01
PBDE 17	0,012	1,679	<0,01	0,057	<0,01	0,057	2,037	0,264	<0,01
PBDE 19	0,012	1,748	0,011	0,062	<0,01	0,069	2,037	0,434	<0,01
PBDE 20	<0,01	0,023	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,040	0,012	<0,01
PBDE 21	<0,01	0,888	<0,01	0,043	<0,01	0,043	1,285	0,270	<0,01
PBDE 22	0,029	5,428	0,032	0,335	<0,01	0,238	6,482	1,181	<0,01
PBDE 23	<0,01	0,700	<0,01	<0,01	<0,01	0,029	0,784	0,108	<0,01
PBDE 24	0,086	20,014	0,101	0,416	<0,01	<0,024	25,244	4,401	0,216
PBDE 25	<0,01	0,146	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,224	0,035	<0,01
PBDE 26	<0,01	0,177	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,209	0,049	<0,01
PBDE 28	0,132	20,231	<0,01	0,161	<0,01	0,918	27,063	3,379	0,038
PBDE 29	0,266	47,290	0,182	1,166	<0,01	2,120	58,474	11,278	0,116
PBDE 30	<0,01	0,016	0,023	<0,01	<0,01	<0,01	0,022	<0,01	<0,01
PBDE 31	0,013	2,266	0,017	0,065	<0,01	0,126	3,323	0,552	<0,01
PBDE 32	<0,01	1,050	<0,01	0,023	<0,01	0,045	1,349	0,296	<0,01
PBDE 33	0,025	3,431	0,030	0,129	<0,01	0,152	4,310	0,923	0,023
PBDE 34	<0,01	0,064	<0,01	0,021	<0,01	<0,01	0,128	0,031	0,030
PBDE 35	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
PBDE 36	<0,01	0,676	0,917	0,057	<0,01	0,031	0,829	0,215	0,010
PBDE 37	0,022	0,826	0,025	0,214	<0,01	0,025	0,786	0,179	<0,01
PBDE 38	<0,01	0,286	0,012	0,072	<0,01	<0,01	0,264	0,065	<0,01
PBDE 39	<0,01	0,169	<0,01	0,012	<0,01	<0,01	0,187	0,042	<0,01
PBDE 40	<0,01	0,363	<0,01	0,024	<0,01	0,015	0,447	0,097	<0,01
PBDE 41	0,061	11,313	0,068	0,380	<0,01	<0,031	13,358	2,459	<0,022
PBDE 42	0,061	10,837	0,074	0,707	<0,01	0,412	12,991	2,430	0,050
Spjelkavika 1	0,134	15,864	0,163	0,826	<0,01	0,781	20,491	3,078	<0,01
Tjørsvund	0,178	28,855	0,257	0,841	<0,01	1,272	32,901	6,006	0,011



**Vedleggstabell B1 (fortsettelse)**

Stasjon	IUPAC-no.						
	138	153	154	183	196	206	209
PBDE 1	<0,01	0,015	0,035	<0,01	<0,01	0,081	2,359
PBDE 2	0,036	0,286	0,563	0,017	0,091	0,873	12,596
PBDE 3	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,013	0,248
PBDE 4	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,027	0,665
PBDE 5	0,022	0,138	0,156	0,011	<0,01	0,016	0,613
PBDE 6	0,196	1,789	2,321	0,066	0,057	0,464	9,033
PBDE 8	0,049	0,639	0,498	0,034	0,125	9,093	688,907
PBDE 9	<0,025	0,269	0,256	0,020	0,053	3,426	267,188
PBDE 10	0,072	0,700	0,794	0,136	0,351	8,882	581,720
PBDE 11	<0,018	0,521	0,500	0,077	0,308	5,358	414,879
PBDE 12	0,105	1,070	0,829	0,165	0,162	11,772	1001,425
PBDE 13	0,036	0,305	0,445	0,026	0,974	10,445	227,093
PBDE 14	0,021	0,160	0,176	0,011	0,372	4,555	60,150
PBDE 15	0,049	0,387	0,471	0,034	0,232	4,555	191,259
PBDE 16	0,033	0,407	0,471	0,044	0,325	6,061	254,434
PBDE 17	0,022	0,135	0,219	0,013	0,078	1,750	65,934
PBDE 19	0,013	0,173	0,176	0,011	0,068	0,081	66,726
PBDE 20	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,011	0,339
PBDE 21	0,021	0,140	0,138	0,012	0,051	1,205	76,166
PBDE 22	0,067	0,565	0,514	0,034	0,146	2,571	187,771
PBDE 23	<0,01	0,058	0,049	<0,01	0,025	0,613	42,708
PBDE 24	0,249	2,215	1,868	0,114	1,466	7,150	878,995
PBDE 25	<0,01	0,023	0,025	<0,01	0,032	0,660	31,051
PBDE 26	<0,01	0,018	0,015	<0,01	<0,01	0,362	15,374
PBDE 28	0,282	2,585	1,598	0,075	0,207	2,840	303,102
PBDE 29	0,638	5,409	3,358	0,143	<0,138	0,864	69,300
PBDE 30	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,016	0,476
PBDE 31	0,038	0,321	0,221	0,014	0,026	0,355	15,073
PBDE 32	0,014	0,113	0,108	<0,01	0,037	0,767	36,027
PBDE 33	0,049	0,380	0,292	0,059	0,493	7,241	242,466
PBDE 34	<0,028	<0,025	0,030	0,054	0,582	8,203	230,481
PBDE 35	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,014	0,418	19,090
PBDE 36	<0,029	0,101	0,105	0,034	0,364	8,555	412,708
PBDE 37	<0,02	0,126	0,125	0,088	0,396	10,783	422,606
PBDE 38	<0,039	0,045	0,045	0,033	0,076	1,543	58,783
PBDE 39	<0,01	0,018	0,021	<0,01	0,055	1,124	40,830
PBDE 40	<0,01	0,053	0,058	0,012	0,063	1,529	98,896
PBDE 41	0,104	1,147	0,990	0,086	0,402	5,497	534,816
PBDE 42	0,168	1,055	1,248	0,070	0,391	6,374	439,917
Spjelkavika 1	0,245	2,228	1,370	0,148	0,406	2,152	38,293
Tjørsund	0,423	3,011	1,917	0,074	0,353	7,218	457,693

**Vedleggstabell B2.** Konsentrasjonen av de analyserte PBDE-kongenerer i ulke dyp av sedimentet på en stasjon i Spjelkavika (Spjelkavika 1) og en nord for Tjørsundet (Tjørsund). Alle konsentrasjoner er oppgitt i ng/g tørrvekt sediment. Se vedleggstabell B3 for de ulike forbindelser navn.

Stasjon	Sediment-dyp (cm)	IUPAC-no.							
		28	47	66	49 + 71	77	85	99	100
Spjelkavika 1	0-1	0,134	15,864	0,163	0,826	<0,01	0,781	20,491	3,078
Spjelkavika 1	1-2	0,211	31,796	0,279	1,181	<0,01	1,593	40,252	5,978
Spjelkavika 1	2-3	0,258	43,116	<0,010	1,534	<0,01	2,339	58,512	7,823
Spjelkavika 1	3-4	0,377	61,452	0,454	1,804	<0,01	3,079	84,600	12,777
Spjelkavika 1	4-5	0,370	89,376	0,479	2,111	<0,01	4,282	133,489	27,211
Spjelkavika 1	5-6	0,475	82,418	0,554	2,449	<0,03	3,558	106,103	22,096
Spjelkavika 1	6-7	0,728	137,261	0,861	4,101	<0,01	6,583	191,979	37,794
Spjelkavika 1	11-12	0,288	32,448	0,262	1,650	<0,01	1,084	29,905	4,381
Tjørsund	0-1	0,178	28,855	0,257	0,841	<0,01	1,272	32,901	6,006
Tjørsund	1-2	0,138	23,316	0,214	0,917	<0,01	0,947	28,249	4,973
Tjørsund	2-3	0,128	16,896	0,169	0,844	<0,01	0,635	18,826	3,495
Tjørsund	3-4	0,141	19,997	0,163	0,824	<0,01	0,821	22,931	4,077
Tjørsund	4-5	0,174	27,971	0,238	1,027	<0,01	1,118	31,498	5,549
Tjørsund	5-6	0,124	16,798	0,145	0,786	<0,01	0,658	19,467	3,540
Tjørsund	6-7	0,160	23,902	0,205	0,797	<0,01	1,011	28,519	4,874
Tjørsund	7-8	0,152	23,797	0,218	0,684	<0,01	1,067	29,705	5,110
Tjørsund	9-10	0,195	34,780	0,316	0,822	<0,01	1,668	41,093	5,899
Tjørsund	15-16	<0,01	0,999	<0,01	0,056	<0,01	0,042	1,122	0,216

Vedleggstabell B2 (fortsettelse)

Stasjon	Sediment-dyp (cm)	IUPAC-no.							
		119	138	153	154	183	196	206	209
Spjelkavika 1	0-1	<0,01	0,245	2,228	1,370	0,148	0,406	2,152	38,293
Spjelkavika 1	1-2	<0,02	0,587	4,199	2,565	0,199	0,275	3,255	64,961
Spjelkavika 1	2-3	<0,021	0,883	5,980	3,243	0,308	0,249	2,199	72,299
Spjelkavika 1	3-4	0,020	1,116	8,260	5,429	0,753	0,289	3,490	91,367
Spjelkavika 1	4-5	0,026	1,340	14,164	10,292	0,554	0,120	1,923	68,780
Spjelkavika 1	5-6	0,035	1,032	10,396	7,968	0,327	0,325	2,838	58,253
Spjelkavika 1	6-7	0,048	2,062	19,613	13,608	0,441	0,119	1,481	49,604
Spjelkavika 1	11-12	<0,01	0,390	2,446	1,349	0,053	<0,193	<0,706	4,885
Tjørsund	0-1	0,011	0,423	3,011	1,917	0,074	0,353	7,218	457,693
Tjørsund	1-2	0,016	0,246	2,490	1,890	0,163	0,791	21,679	758,088
Tjørsund	2-3	0,011	0,209	1,598	1,367	0,131	0,742	21,843	726,712
Tjørsund	3-4	0,011	0,261	2,134	1,644	0,146	0,554	16,042	672,713
Tjørsund	4-5	<0,015	0,322	2,782	2,077	0,146	0,939	26,375	749,102
Tjørsund	5-6	<0,01	0,198	1,649	1,353	0,126	0,679	22,349	781,335
Tjørsund	6-7	0,011	0,305	2,507	1,741	0,148	0,743	20,603	725,959
Tjørsund	7-8	0,012	0,273	2,750	1,931	0,126	0,691	17,781	579,589
Tjørsund	9-10	0,021	0,499	3,715	2,121	0,116	0,374	10,498	314,011
Tjørsund	15-16	<0,01	<0,020	0,093	0,074	<0,01	<0,033	1,199	24,236

**Vedleggstabell B3.** IUPAC-nummer og navn for de analyserte PBDE-kongenerer

IUPAC-no.	Forbindelse	IUPAC-no.	Forbindelse
28	2,4,4'-TriBDE	138	2,2',3,4,4',5'-HexBDE
47	2,2',4,4'-TetBDE	153	2,2',4,4',5,5'-HexBDE
66	2,3',4,4'-TetBDE	154	2,2',4,4',5,6'-HexBDE
49 + 71	2,2',4,5' + 2,3',4',6'-TetBDE	138	2,2',3,4,4',5'-HexBDE
77	3,3',4,4'-TetBDE	183	2,2',3,4,4',5',6'-HepBDE
85	2,2',3,4,4'-PenBDE	196	2,2',3,3',4,4',5,6'-OctBDE
99	2,2',4,4',5'-PenBDE	206	2,2',3,3',4,4',5,5',6'-NonBDE
100	2,2',4,4',6'-PenBDE	209	DecaBDE
119	2,3',4,4',6'-PenBDE	196	2,2',3,3',4,4',5,6'-OctBDE

## 5.2 Vedlegg C – Analyseresultater HBCDD

**Vedleggstabell C1.** Konsentrasjonen av  $\alpha$ -HBCDD,  $\beta$ -HBCDD og  $\gamma$ -HBCDD i overflatesediment på undersøkte stasjoner. Alle konsentrasjoner er oppgitt i ng/g tørrvekt sediment. Merk at de oppgitte konsentrasjoner på stasjon 24, 29 og Tjørsund (0-1 cm) er beheftet med en usikkerhet som ligger utenfor det som er NILUs kvalitetskrav for "normal metodeusikkerhet".

Stasjon	$\alpha$ -HBCDD (ng/g t.v.)	$\beta$ -HBCDD (ng/g t.v.)	$\gamma$ -HBCDD (ng/g t.v.)
PBDE 1	0,77	0,23	2,46
PBDE 2	13,37	6,41	49,87
PBDE 3	2,46	0,84	4,72
PBDE 4	7,00	3,33	29,99
PBDE 5	38,28	18,60	138,00
PBDE 6	1,98	0,96	6,82
PBDE 8	149,52	58,52	449,55
PBDE 9	105,00	53,00	385,00
PBDE 10	224,00	96,60	745,00
PBDE 11	76,57	39,67	312,00
PBDE 12	357,00	182,00	1496,00
PBDE 13	48,13	25,07	183,00
PBDE 14	47,72	22,34	187,86
PBDE 15	218,65	124,68	629,37
PBDE 16	133,29	84,27	587,18
PBDE 17	71,28	35,99	294,28
PBDE 19	86,83	41,55	315,58
PBDE 20	0,07	<0,1	0,17
PBDE 21	77,00	31,40	197,62
PBDE 22	242,00	113,74	810,89
PBDE 23	70,10	27,93	229,04
PBDE 24	1654	1070	8468
PBDE 25	12,60	4,99	39,20
PBDE 26	57,33	19,76	152,41
PBDE 28	1442,00	1065,00	5183,00
PBDE 29	7487	3543	27854
PBDE 30	2,86	0,99	8,71
PBDE 31	329,09	164,74	1011,77
PBDE 32	90,94	41,07	320,00
PBDE 33	121,92	61,47	465,23
PBDE 34	7,06	2,98	24,41
PBDE 35	0,75	0,28	3,06
PBDE 36	49,94	23,01	183,00
PBDE 37	66,69	29,23	250,30
PBDE 38	2,99	1,66	12,92
PBDE 39	8,00	3,29	26,04
PBDE 40	18,87	7,50	59,70
PBDE 41	349,00	165,00	1237,65
PBDE 42	354,56	173,00	1422,47
Spjelkavika 1 (0-1cm)	1450	804	8269
Tjørsund (0-1 cm)	1634	891	6868

**Vedleggstabell C2.** Konsentrasjonen av  $\alpha$ -HBCDD,  $\beta$ -HBCDD og  $\gamma$ -HBCDD i i ulike dyp av sedimentet på en stasjon i Spjelkavika (Spjelkavika 1) og en nord for Tjørsundet (Tjørsund). Alle konsentrasjoner er oppgitt i ng/g tørrvekt sediment. Merk at de oppgitte konsentrasjoner i mange av prøvene (merket med gråtone) er beheftet med en usikkerhet som ligger utenfor det som er NILUs kvalitetskrav for "normal metodeusikkerhet"

Stasjon	Sedimentdyp (cm)	$\alpha$ - HBCDD (ng/g t.v.)	$\beta$ -HBCDD (ng/g t.v.)	$\gamma$ -HBCDD (ng/g t.v.)
Spjelkavika 1	0-1	1450	804	8269
Spjelkavika 1	1-2	4393	2387	28839
Spjelkavika 1	2-3	10719	7142	13638
Spjelkavika 1	3-4	12852	5242	7813
Spjelkavika 1	4-5	18821	10676	99871
Spjelkavika 1	5-6	2045	1149	8403
Spjelkavika 1	6-7	2458	1588	12467
Spjelkavika 1	11-12	1597	1022	6744
Tjørsund	0-1	1634	891	6868
Tjørsund	1-2	4177	2513	18056
Tjørsund	2-3	4954	2726	21673
Tjørsund	3-4	4497	2383	15994
Tjørsund	4-5	821	428	3065
Tjørsund	5-6	4101	2245	14492
Tjørsund	6-7	2064	1150	8913
Tjørsund	7-8	410	190	1251
Tjørsund	9-10	229	140	1035
Tjørsund	15-16	11	6	39

### 5.3 Vedlegg D – Resultatet fra bestemmelse av bulk tetthet på sedimentprøver for datering

I vedlagte tabell ses beregnet bulk tetthet av de enkelte snitt oppgitt i g/ml.

Dybdeintervall	Prøve 1: <b>Spjelkavika</b>	Prøve 2: <b>Tjørsund</b>
0-1	0,61	0,15
1-2	0,69	0,18
2-3	0,57	0,20
3-4	0,55	0,22
4-5	0,54	0,24
5-6	0,55	0,26
6-7	0,52	0,26
7-8	0,47	0,28
8-9	0,40	0,29
9-10	0,39	0,30
10-11	0,47	0,30
11-12	0,55	0,32
12-13	0,60	0,32
13-14	0,74	0,32
14-15	1,30	0,37
15-16	1,19	0,33
19-17		0,34
17-18		0,49
18-19		0,39
19-20		0,38

## **5.4 Vedlegg E – Dateringsrapport for Spjelkavika**

**Gamma Dating Center  
Copenhagen**

---

Copenhagen, 23 May 2008

Thorbjørn J. Andersen  
Institute of Geography  
University of Copenhagen  
Oester Voldgade 10  
1350 Copenhagen K  
e-mail [tja@geogr.ku.dk](mailto:tja@geogr.ku.dk)  
phone +45 35 32 25 03  
fax +45 35 32 25 01

**Dating of core Spjelkavika**

## **Dating of core Spjelkavika**

### **Methods**

The samples have been analysed for the activity of  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  and  $^{137}\text{Cs}$  via gamma-spectrometry at the Gamma Dating Center, Institute of Geography, University of Copenhagen. The measurements were carried out on a Canberra low-background Germanium well-detector.  $^{210}\text{Pb}$  was measured via its gamma-peak at 46,5 keV,  $^{226}\text{Ra}$  via the granddaughter  $^{214}\text{Pb}$  (peaks at 295 and 352 keV) and  $^{137}\text{Cs}$  via its peak at 661 keV.

### **Results**

The core showed low surface contents of unsupported  $^{210}\text{Pb}$  of about  $40 \text{ Bq kg}^{-1}$ , and the activity generally decreased exponentially with depth. The calculated flux of unsupported  $^{210}\text{Pb}$  is  $54 \text{ Bq m}^{-2} \text{ y}^{-1}$  which is slightly lower than the estimated local atmospheric supply of about  $70 \text{ Bq m}^{-2} \text{ y}^{-1}$  (based on data shown in Appleby, 2001). Material with higher density and absence of unsupported  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{137}\text{Cs}$  is found in the two lowermost samples. This indicates that the bottom of the core is older than 120 years.

Activities of  $^{137}\text{Cs}$  were found in the entire core but activities decreased with depth. There were no distinct peaks of this isotope.

CRS-modeling (Appleby, 2001) has been applied on the profile using a modified method where the activity below the lowermost sample is calculated on the basis of the regression line shown in the plot in fig 2. The result is given in table 2 and fig 3 and 4.

Based on the  $^{210}\text{Pb}$ -dating, measurable amounts of  $^{137}\text{Cs}$  were found in layers which dates back to around 1920, well before the initial releases into nature around 1954. This indicates that the sediment is somewhat mixed. The irregular profile of unsupported  $^{210}\text{Pb}$  in the lower part of the core also reduces accuracy, but fig 4 indicates that the dating is reasonably accurate. Any mixing will result in ages that tend to be too young and the ages given in table 2 are therefore minimum ages.

23 May 2008

Thorbjørn J Andersen

Gamma Dating Center,  
Institute of Geography and Geology,  
University of Copenhagen,  
e-mail: tja@geogr.ku.dk

### **Reference:**

Appleby, P.G. (2001): Chronostratigraphic techniques in recent sediments. In: Last, W.M & Smol, J.P. (eds) Tracking environmental change using lake sediments. Volume 1: Basin analysis, coring and chronological techniques. Kluwer Academic Publishers: 171-203.



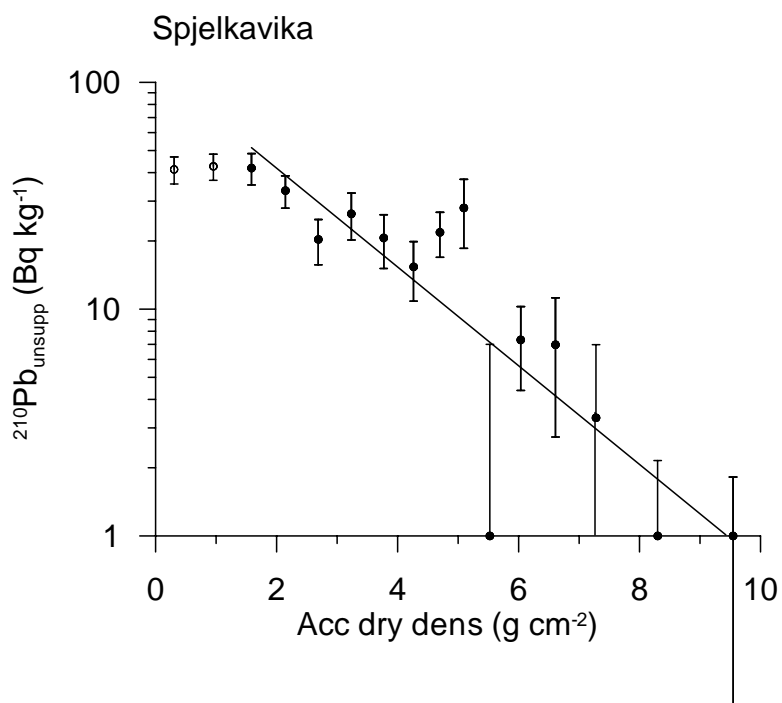
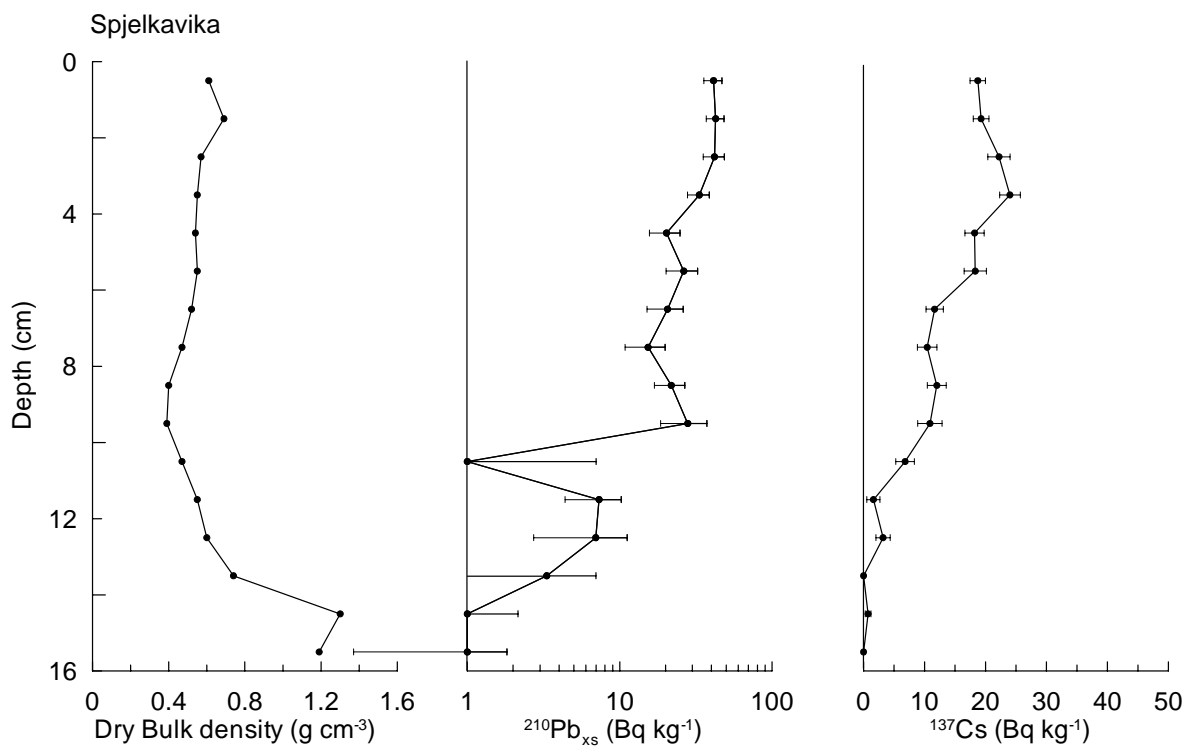
Kildesporing av bromerte flammehemmere i Ålesundsområdet ved analyse av sedimenter  
(TA-2441/2008)

Table 1. Core Spjelkavika

Depth	Pb-210 <sub>tot</sub>	error Pb-210 <sub>tot</sub>	Pb-210 <sub>sup</sub>	error pb-210 <sub>sup</sub>	Pb-210 <sub>unsub</sub>	error pb-210 <sub>unsub</sub>	Cs-137	error Cs-137
cm	Bq kg <sup>-1</sup>	Bq kg <sup>-1</sup>	Bq kg <sup>-1</sup>	Bq kg <sup>-1</sup>	Bq kg <sup>-1</sup>	Bq kg <sup>-1</sup>	Bq kg <sup>-1</sup>	Bq kg <sup>-1</sup>
0.5	56	5	15	1	41	6	19	1
1.5	54	5	12	2	43	6	19	1
2.5	53	7	11	0	42	7	22	2
3.5	44	5	11	0	33	5	24	2
4.5	31	5	10	0	20	5	18	2
5.5	38	6	12	3	26	6	18	2
6.5	26	4	5	4	21	5	12	1
7.5	23	4	8	2	15	5	10	2
8.5	31	4	9	2	22	5	12	2
9.5	35	6	7	7	28	9	11	2
10.5	10	2	10	6	1	6	7	2
11.5	18	3	10	0	7	3	2	1
12.5	16	3	10	3	7	4	3	1
13.5	12	2	9	3	3	4	0	0
14.5	6	1	9	0	1	1	1	0
15.5	2	1	7	1	1	1	0	0

Table 2, Core Spjelkavika

Depth	Age	error age	Date	acc rate	error rate
cm	y	y	y	(kg m <sup>-2</sup> y <sup>-1</sup> )	(kg m <sup>-2</sup> y <sup>-1</sup> )
0.0			2008		
0.5	2	2	2006	1.25	0.18
1.5	8	3	2000	1.08	0.16
2.5	16	3	1992	0.87	0.15
3.5	23	3	1985	0.78	0.14
4.5	29	4	1979	0.89	0.21
5.5	35	4	1973	0.85	0.21
6.5	43	5	1965	0.67	0.20
7.5	50	6	1958	0.69	0.22
8.5	59	7	1949	0.53	0.15
9.5	73	10	1935	0.28	0.12
10.5	87	12	1921	0.31	1.69
11.5	93	13	1915	0.79	0.39
12.5	111	21	1897	0.31	0.23
13.5	145	41	1863	0.20	0.26



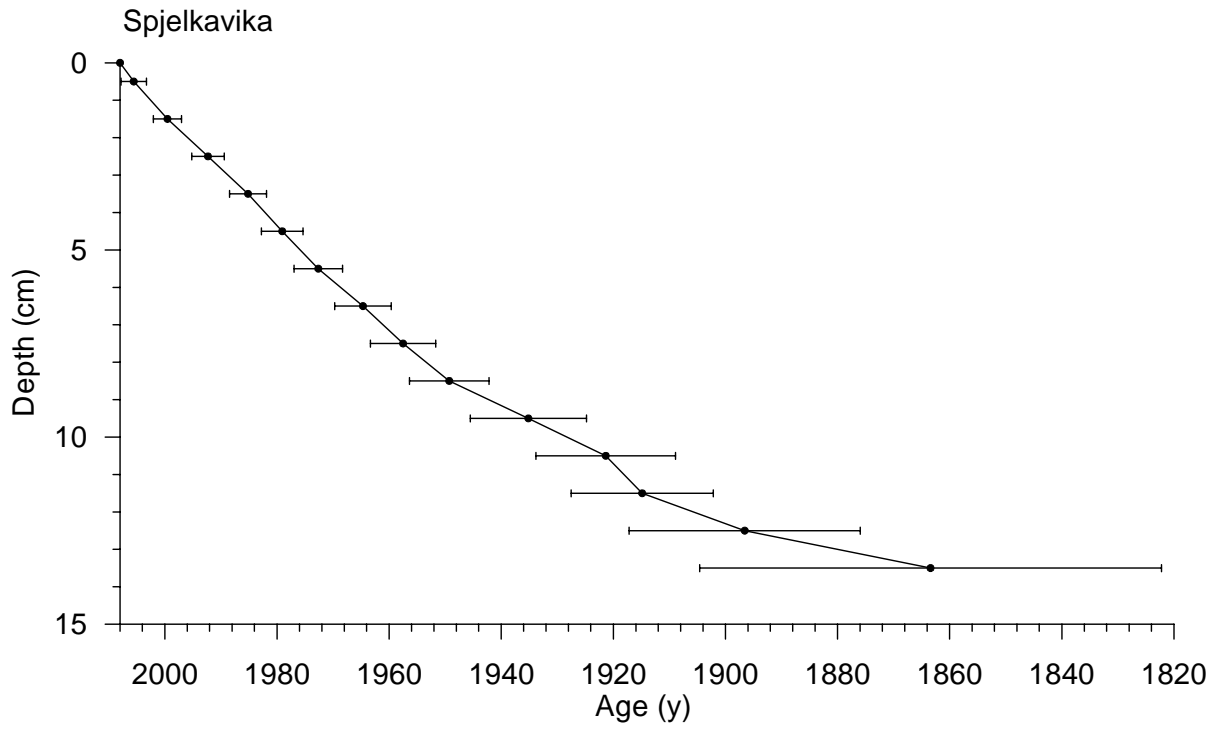


Fig 3

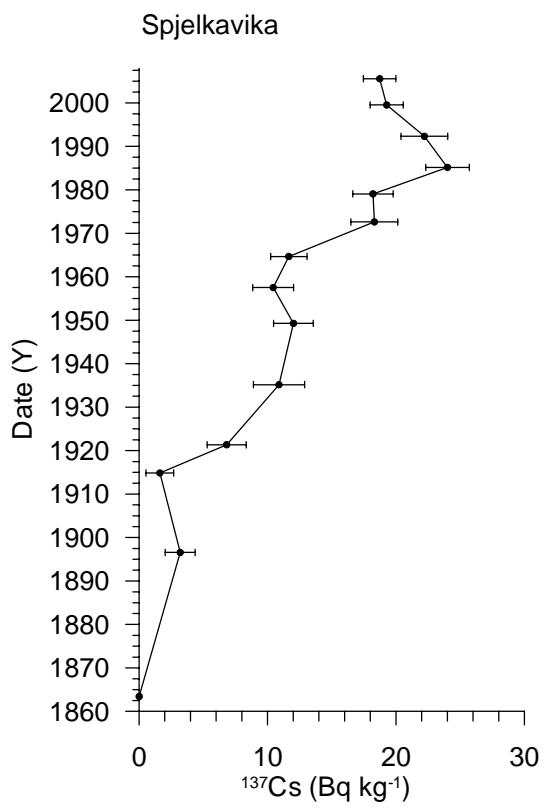


Fig 4

## **5.5 Vedlegg F – Dateringsrapport for Tjørsundet**

**Gamma Dating Center  
Copenhagen**

---

Copenhagen, 23 May 2008

Thorbjørn J. Andersen  
Institute of Geography  
University of Copenhagen  
Oester Voldgade 10  
1350 Copenhagen K  
e-mail [tja@geogr.ku.dk](mailto:tja@geogr.ku.dk)  
phone +45 35 32 25 03  
fax +45 35 32 25 01

**Dating of core Tjørsund**

## **Dating of core Tjørsund**

### **Methods**

The samples have been analysed for the activity of  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  and  $^{137}\text{Cs}$  via gamma-spectrometry at the Gamma Dating Center, Institute of Geography, University of Copenhagen. The measurements were carried out on a Canberra low-background Germanium detector.  $^{210}\text{Pb}$  was measured via its gamma-peak at 46,5 keV,  $^{226}\text{Ra}$  via the granddaughter  $^{214}\text{Pb}$  (peaks at 295 and 352 keV) and  $^{137}\text{Cs}$  via its peak at 661 keV.

### **Results**

The core showed surface contents of unsupported  $^{210}\text{Pb}$  of about  $500 \text{ Bq kg}^{-1}$ , and the activity generally decreased exponentially with depth. One sample (9-10 cm) plotted as an outlier with low contents of both  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{137}\text{Cs}$ . The reason for the low contents is unknown and the sample was omitted from the dating-calculations. The calculated flux of unsupported  $^{210}\text{Pb}$  is  $290 \text{ Bq m}^{-2} \text{ y}^{-1}$  which is about three times higher than the estimated local atmospheric supply (based on data shown in Appleby, 2001).

Activities of  $^{137}\text{Cs}$  were found in the entire core but activities decreased with depth. There were no distinct peaks of this isotope.

CRS-modeling (Appleby, 2001) has been applied on the profile using a modified method where the activity below the lowermost sample is calculated on the basis of the regression line shown in the plot in fig 2. The result is given in table 2 and fig 3 and 4.

Based on the  $^{210}\text{Pb}$ -dating, measurable amounts of  $^{137}\text{Cs}$  were found in layers which dates back to well before the initial releases into nature around 1954. This indicates that the sediment is somewhat mixed. However, the exponential decrease with depth of unsupported  $^{210}\text{Pb}$  gives confidence in the dating chronology and the dating is considered to be reasonably accurate. Any mixing will result in ages that tend to be too young, and the ages given in table 2 are therefore minimum ages.

23 May 2008

Thorbjørn J Andersen

Gamma Dating Center,  
Institute of Geography and Geology,  
University of Copenhagen,  
e-mail: tja@geogr.ku.dk

### **Reference:**

Appleby, P.G. (2001): Chronostratigraphic techniques in recent sediments. In: Last, W.M & Smol, J.P. (eds) Tracking environmental change using lake sediments. Volume 1: Basin analysis, coring and chronological techniques. Kluwer Academic Publishers: 171-203.

Kildesporing av bromerte flammehemmere i Ålesundsområdet ved analyse av sedimenter  
(TA-2441/2008)

Table 1. Core Tjørsund

Depth	Pb-210 <sub>tot</sub>	error Pb-210 <sub>tot</sub>	Pb-210 <sub>sup</sub>	error pb-210 <sub>sup</sub>	Pb-210 <sub>unsub</sub>	error pb-210 <sub>unsub</sub>	Cs-137	error Cs-137
Cm	Bq kg <sup>-1</sup>	Bq kg <sup>-1</sup>	Bq kg <sup>-1</sup>	Bq kg <sup>-1</sup>	Bq kg <sup>-1</sup>	Bq kg <sup>-1</sup>	Bq kg <sup>-1</sup>	Bq kg <sup>-1</sup>
0.5	443	46	12	1	431	46	53	4
1.5	528	54	17	10	511	55	49	4
2.5	448	46	7	6	441	46	50	4
3.5	411	42	13	1	398	42	53	4
4.5	350	37	12	4	338	37	52	4
5.5	278	29	11	2	268	29	44	3
6.5	236	26	13	3	223	26	43	3
7.5	220	23	11	0	209	23	36	3
8.5	194	21	9	4	185	22	28	3
9.5	48	8	13	1	36	8	4	2
10.5	141	16	10	2	131	16	20	2
11.5	120	14	16	0	104	14	17	2
12.5	150	17	16	2	134	17	18	2
13.5	110	14	11	4	99	14	12	2
14.5	92	12	13	2	80	12	6	2
15.5	55	9	14	1	42	9	4	2
16.5	39	7	11	2	28	7	6	2
17.5	31	6	11	2	20	6	0	0
18.5	36	6	15	4	21	7	3	2
19.5	8	2	13	1	1	2	0	0

Table 2, Core Tjørsund

Depth cm	Age y	error age y	Date y	acc rate (kg m <sup>-2</sup> y <sup>-1</sup> )	error rate (kg m <sup>-2</sup> y <sup>-1</sup> )
0.0			2008		
0.5	1	1	2007	0.67	0.07
1.5	4	1	2004	0.57	0.06
2.5	8	1	2000	0.51	0.05
3.5	12	1	1996	0.51	0.05
4.5	16	1	1992	0.51	0.06
5.5	21	1	1987	0.54	0.06
6.5	25	2	1983	0.58	0.07
7.5	30	2	1978	0.57	0.06
8.5	35	2	1973	0.54	0.06
9.5	41	2	1967	0.52	0.07
10.5	47	2	1961	0.51	0.06
11.5	53	2	1955	0.53	0.07
12.5	60	2	1948	0.42	0.06
13.5	70	3	1938	0.33	0.05
14.5	81	3	1927	0.31	0.05
15.5	92	4	1916	0.33	0.07
16.5	100	4	1908	0.42	0.11
17.5	109	4	1899	0.47	0.14
18.5	119	5	1889	0.42	0.06

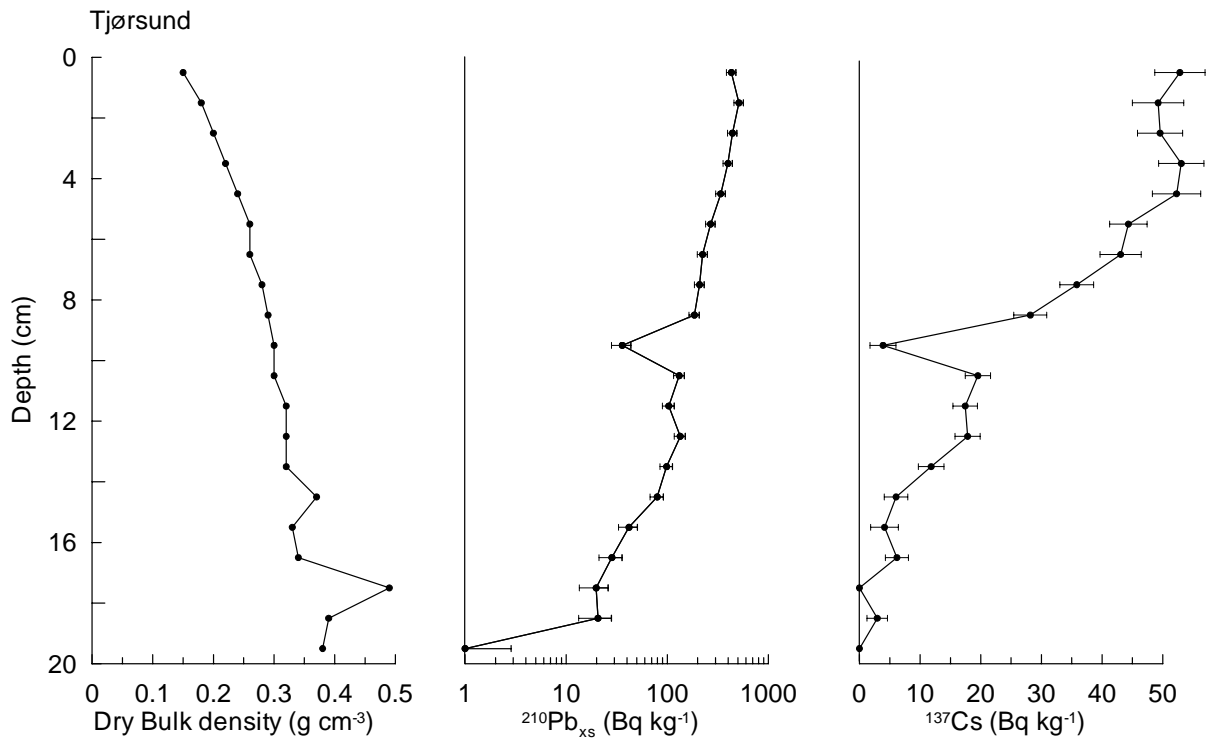


Fig 1

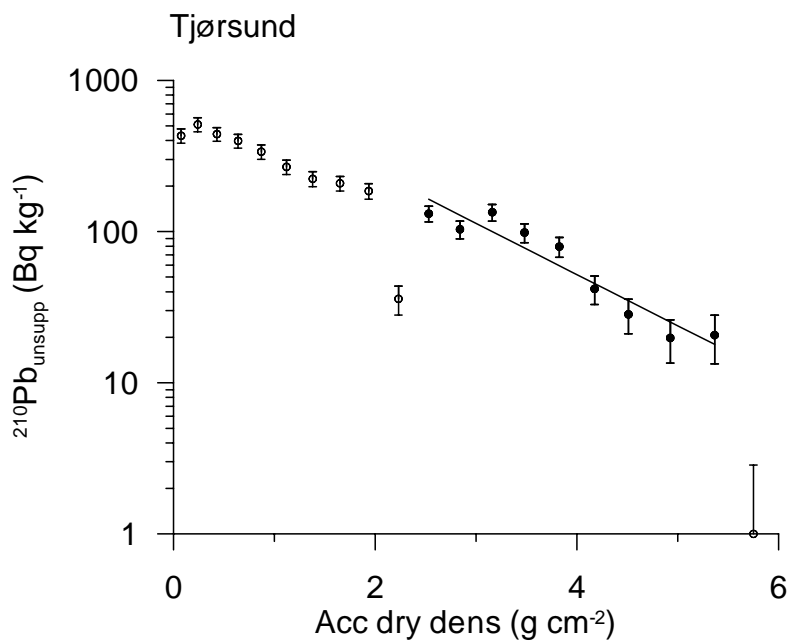


Fig 2



Fig 3

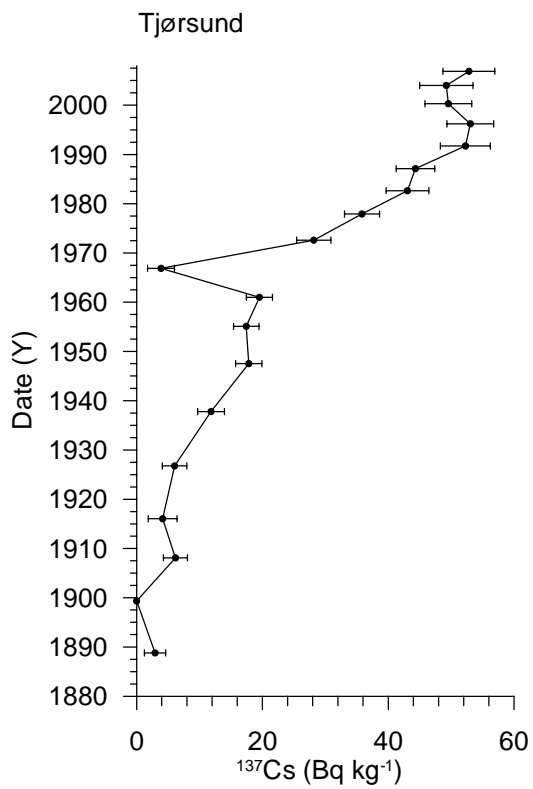


Fig 4



## 5.6 Vedlegg G – Oppsummering av statistikk fra de multivariate analyser

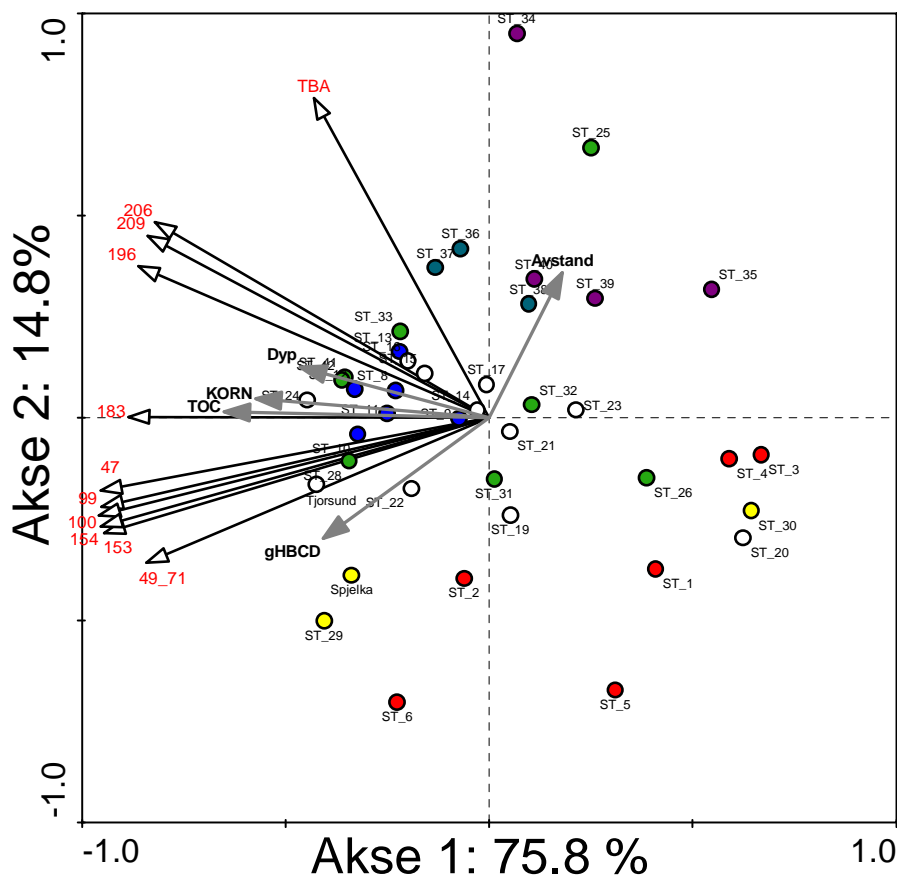
### MULTIVARIATE ANALYSER UTEN TOC KORRIGERING

Responsvariable sentrert og standardisert

Med TOC, DYP, KORN, AVSTAND som forklaringsvariable

#### 1. PBDE konsentrasjoner, PCA

Axes	1	2	3	4	Total variance
Eigenvalues	0.758	0.148	0.035	0.030	1.000
Species-environment correlations	0.809	0.448	0.479	0.348	
Cumulative percentage variance					
of species data	75.8	90.6	94.0	97.0	
of species-environment relation:	91.6	97.1	98.6	99.2	
Sum of all eigenvalues					1.000
Sum of all canonical eigenvalues					0.541



## 2. PBDE konsentrasjoner, RDA

Axes	1	2	3	4	Total variance
Eigenvalues	: 0.452	0.030	0.002	0.307	1.000
Species-environment correlations	: 0.772	0.526	0.201	0.000	0.000
Cumulative percentage variance					
of species data	: 45.2	48.2	48.3	79.1	
of species-environment relation:		93.4	99.7	100.0	0.0
Sum of all eigenvalues					1.000
Sum of all canonical eigenvalues					0.483

### Monte Carlo permuteringstest:

TOC, DYP og AVSTAND var signifikante forklaringsvariable.

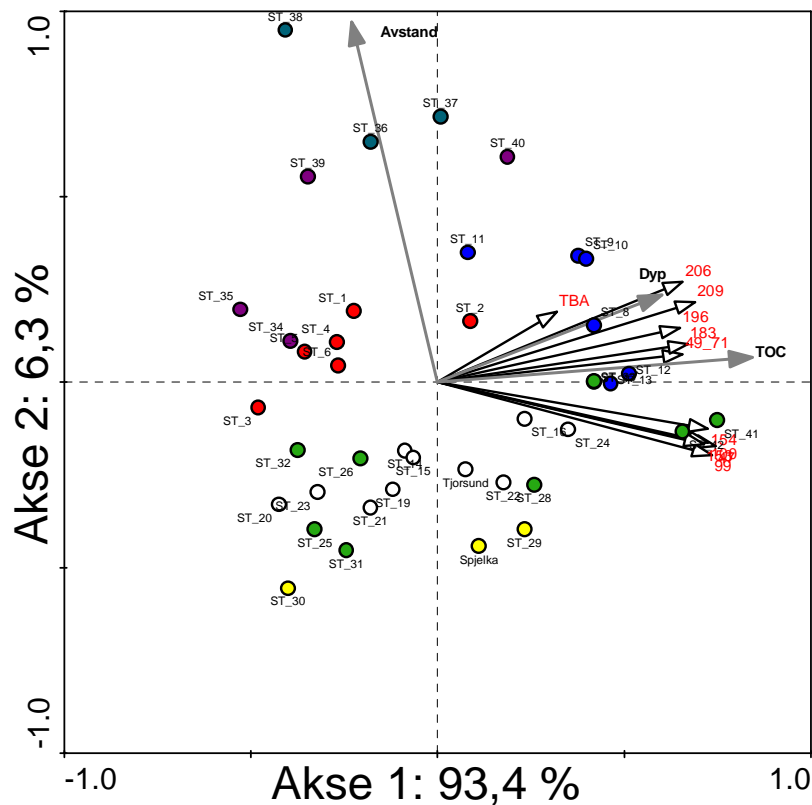
Total variance explained by all variables: 49%

Variance explained by TOC: 32 % av 49%

Variance explained by TOC and DYP: 44% av 49%

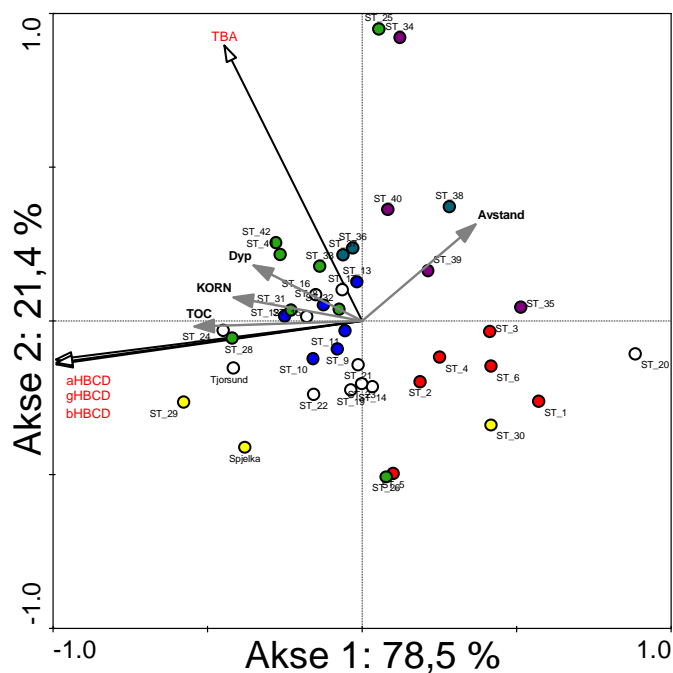
Variance explained by TOC, DYP og AVSTAND : 48 % av 49%

KORN var ikke significant



### 3. HBCDD konsentrasjoner, PCA

Axes	1	2	3	4	Total variance	
Eigenvalues	:	0.785	0.214	0.001	0.001	1.000
Species-environment correlations	:	0.700	0.356	0.423	0.277	
Cumulative percentage variance						
of species data	:	78.5	99.9	99.9	100.0	
of species-environment relation:		93.4	100.0	100.0	100.0	
Sum of all eigenvalues						1.000
Sum of all canonical eigenvalues						0.412



### 4. HBCDD konsentrasjoner, RDA

Axes	1	2	3	4	Total variance	
Eigenvalues	:	0.385	0.024	0.000	0.403	1.000
Species-environment correlations	:	0.701	0.333	0.342	0.000	
Cumulative percentage variance						
of species data	:	38.5	40.9	40.9	81.2	
of species-environment relation:		94.1	100.0	100.0	0.0	
Sum of all eigenvalues						1.000
Sum of all canonical eigenvalues						0.409

The first three eigenvalues reported above are canonical, the fourth is not since only three independent constraints can be formed from the environmental variables.

TOC, Avstand og DYP var signifikante forklaringsvariable.

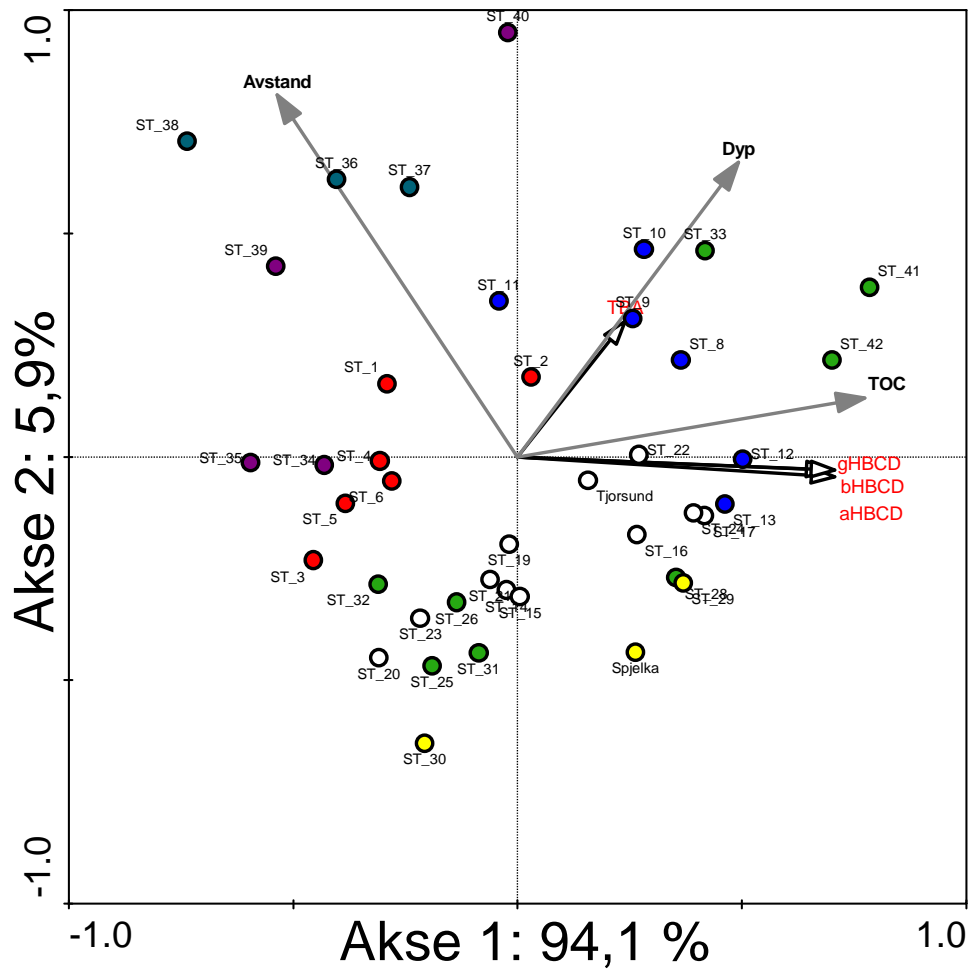
Kildesporing av bromerte flammehemmere i Ålesundsområdet ved analyse av sedimenter  
(TA-2441/2008)

Variance explained by TOC: 23% av 41%

Variance explained by TOC and AVSTAND: 31% av 41%

Variance explained by TOC, AVSTAND og DYP: 0.41% av 41%

KORN var ikke signifikant



## TOC-KORRIGERTE KONSENTRASJONER

### 1. Alle stoffer inkludert (bortsett fra PBDEer med verdier under DL på flere enn 17 stasjoner).

- RDA før TOC korreksjon av konsentrasjoner av HBCDD, PBDE og TBA

Axes	1	2	3	4	Total variance
Eigenvalues :	0.150	0.031	0.316	0.085	1.000
Species-environment correlations :	0.571	0.585	0.000	0.000	
Cumulative percentage variance					
of species data :	22.1	26.6	73.1	85.5	
of species-environment relation:	83.0	100.0	0.0	0.0	
Sum of all eigenvalues					0.681
Sum of all canonical eigenvalues					0.181

- RDA av HBCDD, PBDE og TBA konsentrasjoner med TOC som kovariat

Axes	1	2	3	4	Total variance
Species-environment correlations :	0.464	0.762	0.386	0.738	
Cumulative percentage variance					
of species data :	22.1	26.6	73.1	85.5	
of species-environment relation:	50.6	77.3	149.2	187.7	
Sum of all eigenvalues					0.681
Sum of all canonical eigenvalues					0.196

- PCA av HBCDD, PBDE og TBA konsentrasjoner med TOC som kovariat

Axes	1	2	3	4	Total variance
Eigenvalues :	0.543	0.096	0.038	0.008	1.000
Species-environment correlations :	0.594	0.582	0.196	0.269	
Cumulative percentage variance					
of species data :	77.9	91.7	97.2	98.4	
of species-environment relation:	84.5	98.9	99.6	99.8	
Sum of all eigenvalues					0.697
Sum of all canonical eigenvalues					0.227

### 2. PBDEer med verdier over DL på flere enn 17 stasjoner

- RDA av PBDE og TBA med TOC som kovariat og DYP + AVSTAND som miljøvariable. Bare DYP var signifikant.

Axes	1	2	3	4	Total variance
Species-environment correlations :	0.394	0.407	0.812	0.702	
Cumulative percentage variance					
of species data :	18.1	68.8	89.0	93.1	

Kildesporing av bromerte flammehemmere i Ålesundsområdet ved analyse av sedimenter  
(TA-2441/2008)

of species-environment relation:	36.6	112.6	172.5	178.4	
Sum of all eigenvalues					0.669
Sum of all canonical eigenvalues					0.187

- PCA av PBDE og TBA med TOC som kovariat

Axes	1	2	3	4	Total variance
Species-environment correlations :	0.371	0.839	0.705	0.532	
Cumulative percentage variance					
of species data :	67.7	88.8	92.9	96.7	
of species-environment relation:	33.3	86.4	93.8	97.6	
Sum of all eigenvalues					0.669
Sum of all canonical eigenvalues					0.187

### 3. Bare HBCDD

- RDA av HBCDD og TBA med TOC som kovariat og AVSTAND og DYP som miljøvariable.

Axes	1	2	3	4	Total variance
Species-environment correlations :	0.554	0.685	0.413	0.562	
Cumulative percentage variance					
of species data :	23.8	25.5	85.3	99.8	
of species-environment relation:	76.5	99.9	198.5	245.0	
Sum of all eigenvalues					0.742
Sum of all canonical eigenvalues					0.247

- PCA av HBCDD og TBA med TOC som kovariat

Axes	1	2	3	4	Total variance
Species-environment correlations :	0.554	0.684	0.447	0.435	
Cumulative percentage variance					
of species data :	83.5	99.8	99.9	100.0	
of species-environment relation:	76.9	99.9	99.9	100.0	
Sum of all eigenvalues					0.742
Sum of all canonical eigenvalues					0.247

### MØNSTER

Mønster ble testet for HBCDD og PBDE hver for seg. TBA ble ikke inkludert da dette er en naturlig forekommende bromert forbindelse uten sammenheng til de andre stoffene.

#### 1. PBDE

For PBDE-mønster ble TBA og  $\gamma$ -HBCDD konsentrasjon undersøkt som forklaringsvariabel.  $\gamma$ -HBCDD konsentrasjon er den eneste signifikante variabelen, og forklarte 0.285 av 0.359 variasjon (=79%),  $F=15.545$ ,  $p=0.0160$ ), mens ingen av de andre variablene var signifikante.

- RDA av PBDE mønster, der bare  $\gamma$ -HBCDD var signifikant som forklaringsvariabel.

Axes	1	2	3	4	Total variance
Species-environment correlations :	0.684	0.626	0.507	0.139	
Cumulative percentage variance of species data :	28.5	95.5	97.7	98.9	
of species-environment relation:	85.3	245.3	248.9	249.1	
Sum of all eigenvalues					1.000
Sum of all canonical eigenvalues					0.458

- PCA for PBDE mønster

Axes	1	2	3	4	Total variance
Species-environment correlations :	0.677	0.776	0.160	0.438	
Cumulative percentage variance of species data :	91.7	97.5	98.7	99.6	
of species-environment relation:	91.9	99.5	99.5	99.9	
Sum of all eigenvalues					1.000
Sum of all canonical eigenvalues					0.458

## 2. HBCDD

I RDA av HBCDD, med TBA, DYP og AVSTAND som forklaringsvariabel ble lite av variasjonen i data fanges opp av analysen, og ingen av forklaringsvariablene er signifikante.

### RDA av HBCDD mønster. Ingen sign var, dermed er RDA = PCA resulater

Axes	1	2	3	4	Total variance
Eigenvalues :	0.850	0.148	0.002	0.000	1.000
Cumulative percentage variance of species data :	85.0	99.8	100.0	0.0	
Sum of all eigenvalues					1.000

### PCA av HBCDD mønster

Axes	1	2	3	4	Total variance
Eigenvalues :	0.850	0.148	0.002	0.000	1.000
Species-environment correlations :	0.158	0.179	0.338	0.000	
Cumulative percentage variance of species data :	85.0	99.8	100.0	0.0	
of species-environment relation:	80.8	99.0	100.0	0.0	
Sum of all eigenvalues					1.000
Sum of all canonical eigenvalues					0.026



Statens forurensningstilsyn (SFT)  
Postboks 8100 Dep, 0032 Oslo  
Besøksadresse: Strømsveien 96

Telefon: 22 57 34 00  
Telefaks: 22 67 67 06  
E-post: postmottak@sft.no  
Internett: www.sft.no

Utførende institusjon <b>Norsk institutt for vannforskning (NIVA)</b>	Kontaktperson SFT <b>Bård Nordbø</b>	ISBN-nummer 978-82-577-5409-9
--	---	----------------------------------

	Avdeling i SFT	TA-nummer 2441/2008
--	----------------	------------------------

Oppdragstakers prosjektansvarlig <b>John Arthur Berge</b>	År <b>2008</b>	Sidetall <b>93</b>	SFTs kontraktnummer <b>5008084</b>
--	-------------------	-----------------------	---------------------------------------

Utgiver <b>Norsk institutt for vannforskning NIVA-rapport nr. 5674-2008</b>	Prosjektet er finansiert av <b>SFT</b>
--	---

Forfatter(e) <b>John Arthur Berge, Katrine Borgå, Ellen Katrin Enge (NILU)</b>
---

Tittel <b>Analyse av sedimenter: Kildesporing av bromerte flammehemmere i Ålesundsområdet Analysis of sediments: Tracking sources of brominated flame retardants in the Ålesund area</b>
---

Sammendrag Det er tidligere observert høye konsentrasjoner av polybromerte difenyletere (PBDE) og heksabromsyklododekane (HBCDD) i Åsefjorden og en del omkringliggende områder. For HBCDD kjenner en hovedkilden som antas å ligge i Spjelkavika, mens hovedkilden for PBDE er ukjent. I rapporten har en forsøkt å spore kilden(e) til de observerte nivåer av PBDE og HBCDD ved analyse av sedimenter fra 41 stasjoner spredt i Åsefjorden, Borgundfjorden, Spjelkavika, Tjørundet og øst og vest for Vegsundet. Konsentrasjonen av ΣPBDE i prøvene varierte fra 0,27 til 1034 ng/g tørrvekt. Det var generelt vanskelig å påvise en entydig kilde for PBDE i resipienten. Trolig har en flere kilder med ulik kongenersammensetning som gjør at en får en diffus og sammensatt belastning. Hovedmengden av PBDE lå i de øvre 10 cm av sedimentet. Fordelingen av PBDE i ulike dyp av sedimentet antyder at tilførselene til stasjonen i Tjørundet tok til før ca 1966 og at de holdt seg stabilt høye i perioden 1982-2003 for deretter å opphøre eller bli redusert. Konsentrasjonene av ΣHBCDD varierte mellom 0,24 og 38884 ng/g tørrvekt. Konsentrasjonsforskjellene i resipienten er dermed mer enn en størrelsesorden større for HBCDD enn for PBDE. Ut fra et giftighetssynspunkt er forekomsten av HBCDD i sedimentet langt viktigere enn PBDE. Resultatene endrer ikke på oppfattningen av at hovedkilden til forekomsten av HBCDD ligger i Spjelkavika
---

4 emneord Sedimenter Polybromerte difenyletere Heksabromsyklododekan Kilder	4 subject words Sediments Polybrominated dephenyl ethers Heksabromocyclododecane Sources
---	--



**Statens forurensningstilsyn**

Postboks 8100 Dep,  
0032 Oslo

Besøksadresse: Strømsveien 96

Telefon: 22 57 34 00

Telefaks: 22 67 67 06

E-post: [postmottak@sft.no](mailto:postmottak@sft.no)

[www.sft.no](http://www.sft.no)

Statens forurensningstilsyn (SFT) ble opprettet i 1974 som et direktorat under miljøverndepartementet.

SFT skal bidra til å skape en bærekraftig utvikling. Vi arbeider for at forurensning, skadelige produkter og avfall ikke skal føre til helseskade, gå ut over trivselen eller skade naturens evne til produksjon og selvfornyelse.

TA-2441/2008

ISBN 978-82-577-5409-9