

# Forurensnings situasjonen i Karmsundet i 2008 med vekt på påvirkning fra Hydro Aluminium Karmøy

Metaller, PAH og klorerte forbindelser i  
vannmasser, blåskjell, torsk, krabbe og  
sedimenter



**Hovedkontor**

Gaustadalléen 21  
0349 Oslo  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 22 18 52 00  
Internett: www.niva.no

**Sørlandsavdelingen**

Televeien 3  
4879 Grimstad  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 37 04 45 13

**Østlandsavdelingen**

Sandvikaveien 41  
2312 Ottestad  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 62 57 66 53

**Vestlandsavdelingen**

Thormøhlensgate 53 D  
5006 Bergen  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 55 31 22 14

**NIVA Midt-Norge**

Postboks 1266  
7462 Trondheim  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 73 54 63 87

Tittel Forurensningssituasjonen i Karmsundet i 2008 med vekt på påvirkning fra Hydro Aluminium Karmøy. Metaller, PAH og klorerte forbindelser i vannmasser, blåskjell, torsk, krabbe og sedimenter	Løpenr. (for bestilling) 5881-2009	Dato 26.11.2009
	Prosjektnr. Undernr. O-28243	Sider Pris 43
Forfatter(e) Kristoffer Næs, Eirik Fjeld, Jarle Håvardstun og Ian Allan	Fagområde Miljøgifter marint	Distribusjon
	Geografisk område Rogaland	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Hydro Aluminium Karmøy	Oppdragsreferanse Hilde Vestheim Nordh
--	---

**Sammendrag:**

Hydro Aluminium Karmøy har tatt initiativ til undersøkelser for å oppdatere forurensningssituasjonen i området, særlig påvirkningen knyttet til PAH. Undersøkelsen omfatter imidlertid også PCB og utvalgte metaller. Resultatene viser at PAH-forurensningen har avtatt i de siste 20 årene, men fremdeles er Karmsundet påvirket av disse forbindelsene i en slik grad at Vanddirektivets grenseverdier kan være overskredet. Det var generelt lave verdier av PCB og metaller i sedimentene, men betydelig forurensning av PAH. Blåskjell fra området hadde forhøyede verdier av PAH. Dette gjelder særlig i nærområdet til Hydro Aluminium Karmøy. Konsentrasjonene faller imidlertid raskt både nordover og sydover i Karmsundet. Torsk fra Karmsundet hadde betydelig høyere verdier av PAH-metabolitter i gallen sammenlignet med torsk fra mer upåvirkede kystlokalteter. Det viser at fisken fra Karmsundet var tydelig eksponert for PAH, særlig den fra området ved Høgevarde. Innholdet av PCB<sub>7</sub> i lever fra torsk samlet i Karmsundet var rundt eller svakt over SFTs grenseverdi for ubetydelig forurenset. Det samme var tilfelle for andre klorerte forbindelser som HCB, lindan og nedbrytningsprodukter av DDT. Innholdet av PAH-forbindelsen benzo(a)pyren i skallinnmat av krabbe var under Mattilsynets grenseverdi for sjømat på 10 µg benzo(a)pyren/kg våtvekt.

Fire norske emneord	Fire engelske emneord
1. Karmsundet	1. Karmsund
2. Miljøgifter i sedimenter	2. Contaminants in sediments
3. Miljøgifter i organismer	3. Contaminants in organisms
4. PAH	4. PAH



*Kristoffer Næs*  
Prosjektleder



*Rainer G. Lichtenthaler*  
Seniorrådgiver

O-28243

**Forurensningssituasjonen i Karmsundet i 2008  
med vekt på påvirkning fra Hydro Aluminium  
Karmøy**

Metaller, PAH og klorerte forbindelser i vannmasser, blåskjell, torsk,  
krabbe og sedimenter

## Forord

Denne undersøkelsen er gjennomført på oppdrag av Hydro Aluminium Karmøy. Kontaktpersoner har vært Hilde Vestheim Nordh og Bernt Malme.

Innsamlingen av sedimenter og blåskjell ble gjort av Jarle Håvardstun og Camilla With Fagerli, begge fra NIVA. Til sedimentinnsamlingen og til utsetting og opptak av passive prøvetakere ble båten "Risøygutt" med skipper Erik Bakkevig benyttet. Jarle Håvardstun deltok også under dette feltarbeidet.

Innsamling av torsk og krabbe ble gjort av fisker Sverre Larsen i området ved Krokanes, og av fisker Einar Edvardsen i områdene ved Høgevarde og Bøvågen.

Oslo, 26.11.2009

*Kristoffer Næs*

---

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>5</b>
<b>Summary</b>	<b>7</b>
<b>1. Innledning</b>	<b>8</b>
1.1 Bakgrunn	8
1.2 Formål	9
<b>2. Materiale og metode</b>	<b>10</b>
2.1 Innsamling av prøver	10
2.1.1 Blåskjell	10
2.1.2 Torsk og krabbe	11
2.1.3 Sedimenter	13
2.1.4 Passive prøvetakere (SPMD)	14
2.2 Kjemiske analyser	15
2.2.1 Blåskjell	15
2.2.2 Torsk og krabbe	16
2.2.3 Sedimenter	16
2.2.4 Passive prøvetakere (SPMD)	17
<b>3. Resultater</b>	<b>18</b>
3.1 Blåskjell	18
3.2 Torsk og krabbe	19
3.2.1 Torsk	19
3.2.2 Krabbe	21
3.3 Sedimenter	21
3.3.1 Sedimenttyper	21
3.3.2 Metaller	21
3.3.3 PAH og PCB	24
3.4 Passive prøvetakere (SPMD)	25
3.5 Multivariat statistikk	27
3.5.1 Sedimenter	27
3.5.2 Blåskjell	31
<b>4. Sammenligning med tidligere undersøkelser</b>	<b>35</b>
4.1 PAH i blåskjell	35
4.2 PAH i sedimenter	35
<b>5. Hovedkonklusjoner</b>	<b>37</b>
<b>6. Referanser</b>	<b>38</b>
<b>7. Vedlegg - Analyseresultater</b>	<b>39</b>

---

## Sammenheng

Karmsundet er påvirket av menneskelig aktivitet i en slik grad at myndighetene har utformet kostholdsråd knyttet til konsum av sjømat fanget i området. Hydro Aluminium Karmøy er en av flere som påvirker miljøsituasjonen i sundet. I den forbindelse har bedriften tatt initiativ til undersøkelser for å oppdatere forurensningssituasjonen i området. Siden Hydro Aluminium Karmøys påvirkning særlig er knyttet til utslipp av polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) er dette vektlagt i undersøkelsene. Imidlertid, siden kostholdsrådet for Karmsundet også omfatter PCB, er disse forbindelsene inkludert sammen med utvalgte metaller. Følgende undersøkelseelementer har inngått:

- PAH i blåskjell
- PCB og klorpesticider i lever og PAH-metabolitter i galle fra torsk
- PAH i skallinnmat av krabbe
- PAH, PCB og metaller i sedimenter
- Løst PAH i vannmassene

Hovedkonklusjonene er:

### Tidsutvikling med hensyn på PAH:

- Resultatene tyder på at PAH-forurensningen i Karmsundet er bedret over de siste 20 årene. Konsentrasjonen i sedimentene i 2008 var lavere enn i 1989. Sammenlignes konsentrasjonene av PAH i blåskjell funnet i denne undersøkelsen med funn fra tilsvarende stasjoner gjort tidligere (1999 og 2003), var konsentrasjonene generelt lavere i 2008. På de mest påvirkede stasjonene var konsentrasjonen i 2008 opptil 10 ganger lavere enn tidligere.

### Situasjonen i vannmassene:

- PAH-konsentrasjonene i vannmassene ble målt indirekte ved bruk av såkalte passive prøvetakere (SPMD). Målingene viser at vannmassene i Karmsundet er påvirket av PAH. Overslag tilsier at Vanddirektivets grenseverdier kan være overskredet på flere lokaliteter.

### Situasjonen i sedimentene:

- Sedimentene i Karmsundet hadde generelt lave verdier av metaller. Bly hadde enkelte forhøyede verdier. Det var tilfelle på en stasjon nær Haugesund og en stasjon i Bøvågen med konsentrasjoner tilsvarende markert og sterkt forurenset.
- PCB<sub>7</sub>-konsentrasjonene var relativt lave på alle stasjonene og sedimentene kan klassifiseres som ubetydelig til moderat påvirket av PCB.
- Sedimentene var betydelig forurenset med PAH. På de fleste stasjonene medførte konsentrasjonene at sedimentene må karakteriseres som markert til sterkt forurenset av PAH. De høyeste verdiene ble funnet i nærområdet til "settlebassengene" til Hydro Aluminium Karmøy. Det ble også funnet tilsvarende verdier i Bøvågen som de nær Hydro Aluminium Karmøy.
- Multivariate analyser av den relative sammensetningen av PAH-forbindelsene (PAH-profilen) i sedimentene i Karmsundet viser at prøvene i området ved Hydro Aluminium Karmøy har en noe annen sammensetning enn PAH-forurensete prøver andre steder i sundet. Det kan tyde på at det også er andre kilder til PAH-forurensningen i sundet uten at analysene gir noe grunnlag for å kvantifisere disse.

### Situasjonen i blåskjell, torsk og krabbe:

- Blåskjell fra området har forhøyede verdier av PAH. Dette gjelder særlig i nærområdet til Hydro Aluminium Karmøy. Konsentrasjonene faller imidlertid raskt både nordover og sydover i Karmsundet. Hvis vi bedømmer konsentrasjonene ut fra Mattilsynets grenseverdi på

10 µg benzo(a)pyren/kg våtvekt, er konsentrasjonene i blåskjell under denne verdien når man er et par kilometre fra Høgevarde.

- Innholdet av PCB<sub>7</sub> i lever fra torsk samlet i Karmsundet var rundt eller svakt over SFTs grenseverdi for ubetydelig forurenset. Innholdet av andre klorerte forbindelser som HCB, lindan og nedbrytningsprodukter av DDT var lavt.
- Torsk fra Karmsundet hadde betydelig høyere verdier av PAH-metabolitter i gallen sammenlignet med torsk fra mer upåvirkede kystlokaliteter. Det viser at fisken fra Karmsundet var tydelig eksponert for PAH, særlig den fra området ved Høgevarde.
- Innholdet av PAH-forbindelsen benzo(a)pyren i skallinnmat av krabbe var under Mattilsynets grenseverdi for sjømat på 10 µg benzo(a)pyren/kg våtvekt.

## Summary

Title: The contaminant situation in the Karmsund in 2008 with emphasis on PAHs, metals and organochlorines in sediments and organisms.

Year: 2009

Author: Kristoffer Næs, Eirik Fjeld, Jarle Håvardstun and Ian Allan

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No. 82-577-5616-1.

Hydro Aluminium Karmøy has initiated investigations to update the environmental status of the Karmsund. Water masses, blue mussels, cod and crabs and bottom sediment has been analysed for PAH, metals and organochlorines. The Karmsund has for many years been contaminated by PAHs. Concentrations of PAH in mussels and sediments in 2008 are lower compared to previous investigations indicating improved conditions. However, analyses of water masses, blue mussels, cod and sediments still show that the area is significantly influenced by PAHs.

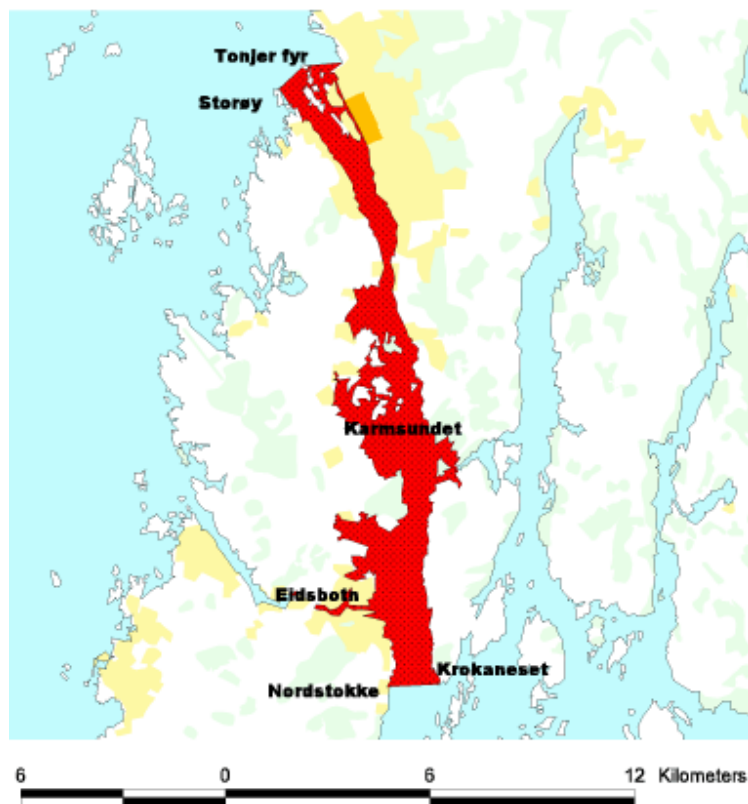
Metal concentrations in sediments were low. That was also the case for organichlorines in sediments and cod and PAH in crabs.



# 1. Innledning

## 1.1 Bakgrunn

SFT har påpekt at PAH-utslippene fra Søderberganlegget på Karmøy bidrar sterkt til at det er nødvendig å opprettholde kostholdsråd og omsetningsrestriksjoner for skjell og krabber i Karmsundet, **Figur 1**. SFT ser det som en viktig målsetting på sikt å få opphevet kostholdsråd i flest mulig områder og viser i den forbindelse også til Vanddirektivets krav om god miljøstatus i vannforekomster innen 2015 og det pågående arbeidet med fylkesvise tiltaksplaner for forurensede sedimenter. Etter avtale med Bernt Malme har derfor NIVA utarbeidet et forslag til et undersøkelsesopplegg for å adressere disse problemstillingene.



Forureining: [PCB](#), [PAH](#)

**Råd om kosthald:** Myndighetene rår folk ifrå å konsumere skjell og krabber fanga i heile Karmsundet, avgrensa i nord av ei linje mellom Storøy og Tonjer fyr og i sør av ei linje mellom Nordstokke og Krokneset. Dei rår òg folk ifrå å konsumere fiskelever i samme område, og i Vedavågen avgrensa av linja Vedavågen-Ytraland.

**Areal:** 24,1 km<sup>2</sup>. Inkluderer ikkje Vedavågen.

**Sist vurdert:** 2005

**Figur 1.** Gjeldende kostholdsråd for Karmsundet.

## 1.2 Formål

Undersøkelsene i Karmsundet har fokus på påvirkning fra Hydro Aluminium Karmøy og da særlig verkets utslipp av PAH-forbindelser. Siden kostholdsrådet omfatter både PAH og PCB, vil begge disse forbindelsene vektlegges sammen med andre utvalgte metaller. Undersøkelsene har følgende hovedmål:

1. Å beskrive forurensningssituasjonen i sjøområdet særlig med hensyn til påvirkning av utslipp fra Hydro Aluminium Karmøy til Karmsundet.
2. Supplere tilsvarende i ferskvannforekomster i området (jfr. rapport utarbeidet av NIVA ved Sigurd Rognerud).
3. Sedimentdataene skal også kunne danne grunnlag for risikovurderinger hvis dette blir aktuelt.
4. Undersøkelsene skal danne grunnlag for en eventuell revurdering av kostholdsråd.

## 2. Materiale og metode

### 2.1 Innsamling av prøver

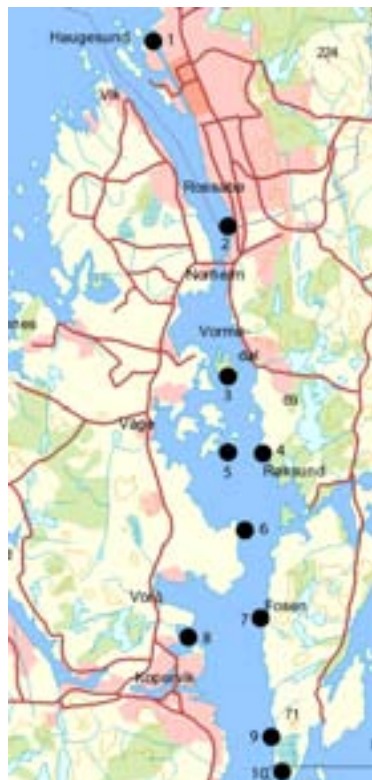
I de følgende underkapitlene er innsamlingen av de forskjellige analysematriksene beskrevet. Alle posisjoner refererer seg til grader og minutter i henhold til WGS 84.

#### 2.1.1 Blåskjell

Blåskjell ble innsamlet på 10 stasjoner i Karmsundet. Stasjonsplassering og kart er gitt i **Tabell 1** og **Figur 2**. Prøvene ble samlet i tidsrommet 27.06.08 - 02.07.08. Fra hver stasjon ble 30 skjell i størrelsen 3-5 cm (stasjon 6 Høgevarde 2-5 cm) slått sammen til en blandprøve.

**Tabell 1.** *Blåskjellstasjoner i Karmsundet i 2008.*

Stasjonsnr.	Stasjonsnavn	Posisjon
St 1	Haugesund	59 25,257 5 15,281
St 2	Nord for Karmsund bro	59 23,046 5 17,880
St 3	Bukkøya	59 21,154 5 18,312
St 4	Juvik	59 20,248 5 19,513
St 5	Fiskå	59 20,315 5 18,671
St 6	Høgevarde	59 19,343 5 21,135
St 7	Fosen	59 18,103 5 20,248
St 8	Kopervik N	59 17,749 5 18,290
St 9	Krokanes N	59 16,222 5 20,832
St 10	Krokanes	59 16,316 5 20,981



**Figur 2.** Kart over blåskjellstasjoner i Karmsundet.

### 2.1.2 Torsk og krabbe

Torsk og krabbe ble samlet i oktober/november fra 3 områder i Karmsundet (**Tabell 2**, **Tabell 3** og **Figur 3**). Analyser av leverprøver av torsk ble foretatt på blandprøver. Analyser av PAH-metabolitter i galle fra torsk ble foretatt på enkeltprøver.

**Tabell 2.** Innsamling av torsk i Karmsundet.

Stasjons- navn	Posisjon	Tidspunkt for fangst	Midlere lengde (cm), (min- maks)	Midlere vekt (g) (min- maks)	Levermengde pr. fisk (g) til blandprøve	Antall fisk (hunner/hanner)
Bøvågen	59 21,507 5 17,406	Oktober/november 2008	51 (44-60)	1243 (743-2003)	20-28	15 (9/6)
Høgevarde	59 19,301 5 18,837	Oktober/november 2008	44 (37-50)	816 (643-1206)	5-28	11 (7/4)
Krokaneset	59 16,029 5 21,226	Oktober 2008	50 (42-58)	1236 (751-1906)	10-13	20 (13/7)

For krabbene ble prøver av total skallinnmat (hepatopancreas + annet vev) fra enkeltindivider slått sammen til en blandprøve.

Tabell 3. Innsamling av taskekrabbe i Karmsundet.

Stasjonsnavn	Posisjon	Tidspunkt for fangst	Midlere vekt (g) (min-maks)	Gjennomsnittlig skallbredde (cm), (min-maks)	Antall krabber i prøven (hunner/hanner)
Bukkøya	59 21,134 5 18,492	Oktober/november 2008	389 (244-645)	15 (14-17)	20 (15/5)
Høgevarde	59 19,301 5 18,837	Oktober/november 2008	360 (168-445)	15 (13-17)	20 (10/10)
Krokaneset	59 16,029 5 21,226	Oktober 2008	420 (336-620)	15 (13-17)	20 (13/7)



Figur 3. Kart over stasjoner for fangst av torsk og krabbe i Karmsundet.

### 2.1.3 Sedimenter

Sedimenter ble samlet 21. mai 2008 fra 11 stasjoner i Karmsundet (**Tabell 4** og **Figur 4**). Innsamlingen ble gjort med en van Veen grabber. Alle aksepterte grabber hadde vann over sedimentoverflaten. De øverste 5 cm av sedimentet ble snittet av for analyse. Begrunnelsen for at dette sedimentintervallet er valgt, er at et av formålene med undersøkelsen er at dataene også skal kunne brukes til en risikovurdering iht. SFTs veileder. Det valgte sedimentintervallet skiller seg derfor noe fra tidligere sedimentprøvetakinger.

**Tabell 4.** Stasjoner for innsamling av sedimenter i Karmsundet.

Stasjonsnavn	Posisjon	Vanddyb, m
K2	59 23,970 5 16,055	40
K3	59 23,271 5 17,390	61
K4	59 21,587 5 17,130	38
K5	59 21,630 5 18,033	47
K6	59 21,036 5 18,780	57
K7	59 19,700 5 18,993	41
K9 (ikke analysert)	59 19,731 5 19,674	52
K10	59 18,071 5 18,850	39
K11	59 17,865 5 19,860	98
K12	59 18,690 5 19,890	74
K13	59 15,689 5 20,710	194



**Figur 4.** Kart over sedimentstasjoner i Karmsundet. St K9 markert med hvit sirkel ble ikke analysert.

#### 2.1.4 Passive prøvetakere (SPMD)

Passive prøvetakere, såkalte SPMDer, ble utplassert på 4 stasjoner i Karmsundet (**Tabell 5** og **Figur 5**). Prøvetakeren på den sydligste stasjonen i sundet gikk dessverre tapt og det er derfor ikke data fra denne lokaliteten.

**Tabell 5.** Utplassering av passive prøvetakere (SPMD). Posisjon gitt i grader og minutter.

Stasjonsnavn	Posisjon		Prøvetakingsperiode
ST1: Nord for Karmsund bro	59 23,030	05 17,812	24.10.08- 16.12.08
ST2: Bøvågen	59 21,483	5 17,392	24.10.08- 16.12.08
ST3: Høgevarde	59 19,343	5 19,228	24.10.08- 16.12.08
ST4: Krokane	59 16,060	5 21,135	24.10.08- 16.12.08



**Figur 5.** Kart over utplassering av passive prøvetakere i Karmsundet. På stasjonen i syd (Krokanes) gikk prøvetakingsriggen tapt og det foreligger derfor ikke resultater fra denne stasjonen.

## 2.2 Kjemiske analyser

Alle analyser er utført ved NIVAs laboratorium. Laboratoriet er akkreditert i henhold til ISO 17025.

### 2.2.1 Blåskjell

Prinsippet for bestemmelse av PAH i blåskjell er at prøvene tilsettes indre standarder. Materiale forsøpes først med KOH/metanol. Deretter ekstraheres PAH med pentan. Ekstraktene gjennomgår så ulike renseprosesser for å fjerne forstyrrende stoffer. Til slutt analyseres ekstraktet med GC/MSD.



PAH identifiseres med MSD ut fra retensjonstider og forbindelsenes molekyllioner. Kvantifisering utføres ved hjelp av de tilsatte indre standarder.

Benyttet instrumentering: Hewlett Packard modell 5890 Series II, med column injector og HP autosampler 7673. Systemet er utstyrt med HD modell 5970 B masseselektiv detektor, og kolonne HP-5 MS 30 m x 0,25 mm i.d. x 0,25 µm.

### **2.2.2 Torsk og krabbe**

PAH-analysene følger samme prinsipp som for blåskjell.

For de klororganiske forbindelsene tilsettes prøvene indre standard og ekstraheres med organiske løsemidler. Ekstraktene gjennomgår ulike rensetrinn for å fjerne interfererende stoffer. Til slutt analyseres ekstraktet ved bruk av gasskromatograf utstyrt med elektroninnfangningsdetektor, GC/ECD. De klororganiske forbindelsene identifiseres ut fra de respektives retensjonstider. Det kan benyttes to kolonner med ulik polaritet. Kvantifisering utføres ved hjelp av indre standard.

Analyser av metabolitter av PAH i gallen fra torsk ble gjennomført etter følgende prinsipper:

#### *Prøveopparbeidelse for analyse av PAH-metabolitter*

Prøveopparbeidelse og analyse er basert på Krahn et al. (1992), og detaljene er beskrevet i Grung et al. (Grung et al. 2009). I korte trekk ble galle (20 µL) tilsatt internstandard (trifenyllamin), fortynnet med destillert vann (50 µL) og hydrolysert med β-glucuronidase/arylsulfatase (20 µL, 1 time ved 37 °C). Metanol (200 µL) ble tilsatt og prøven sentrifugert. Supernatanten ble analysert ved hjelp av HPLC.

#### *HPLC-analyser av PAH-metabolitter*

HPLC-systemet som ble benyttet besto av en Waters 2695 Separations Module (injektor og pumpe) med en 2475 fluorescence detektor tilkoblet. Kolonnen som ble benyttet var en Waters PAH C<sub>18</sub> (4.6 × 250 mm) med 5 µm partikler. Mobilfasen var en gradient som startet på 40:60 acetonitril:vann og endte på 100% acetonitril i løpet av 30 minutter. Gjennomstrømningshastigheten var på 1 mL/min, og kolonnen ble varmet opp til 35 °C. Fluorescence ble målt på optimum for hver enkelt komponent. 25 µL ekstrakt ble injisert for hver analyse.

### **2.2.3 Sedimenter**

Sedimentene ble analysert for innhold av PAH, PCB, innhold av finstoff (dvs. vektprosent partikler med kornstørrelse <63µm), organisk karbon (TOC) og metaller.. Bestemmelse av prosentandel <63 µm er gjort ved våtsikting. Analyser av TOC er gjort med en CHN-analysator etter at karbonater er fjernet i syredamp. Metallene er bestemt ved at prøven oppsluttes ved autoklavering med salpetersyre og analyseres med hjelp av atomabsorpsjon og grafittovn, bortsett fra kvikksølv som bestemmes med gullfelle og kalddamp atomabsorpsjon.

Ved bestemmelse av PAH tilsettes prøvene deuterte indre standarder og ekstraheres i Soxhlet med diklormetan. Etter opprensing og oppkonsentrering kvantifiseres PAH-forbindelsene ved hjelp av interne standarder og GC med MS-detektor. Måleusikkerheten er generelt <10-20 %, dog kan den være høyere for enkelte forbindelser. Betegnelsen sum PAH senere i rapporten inkluderer summen av tetra- til heksasykliske forbindelser.

PCB (og andre klororganiske forbindelser som rutinemessig kvantifiseres samtidig) bestemmes ved at prøvene tilsettes indre standard og ekstraheres med en blanding av sykloheksan/acetone ved hjelp av ultralydkanon. Ekstraktene gjennomgår ulike rensetrinn for å fjerne interfererende stoffer. Til slutt analyseres ekstraktet ved bruk av gasskromatograf utstyrt med elektroninnfangningsdetektor, GC/ECD. De klororganiske forbindelsene identifiseres ut fra retensjonstider på en HP-5 kolonne. Kvantifisering

utføres ved hjelp av indre standard. Måleusikkerheten er generelt 10-20 %, dog kan den være høyere for enkelte forbindelser.

#### **2.2.4 Passive prøvetakere (SPMD)**

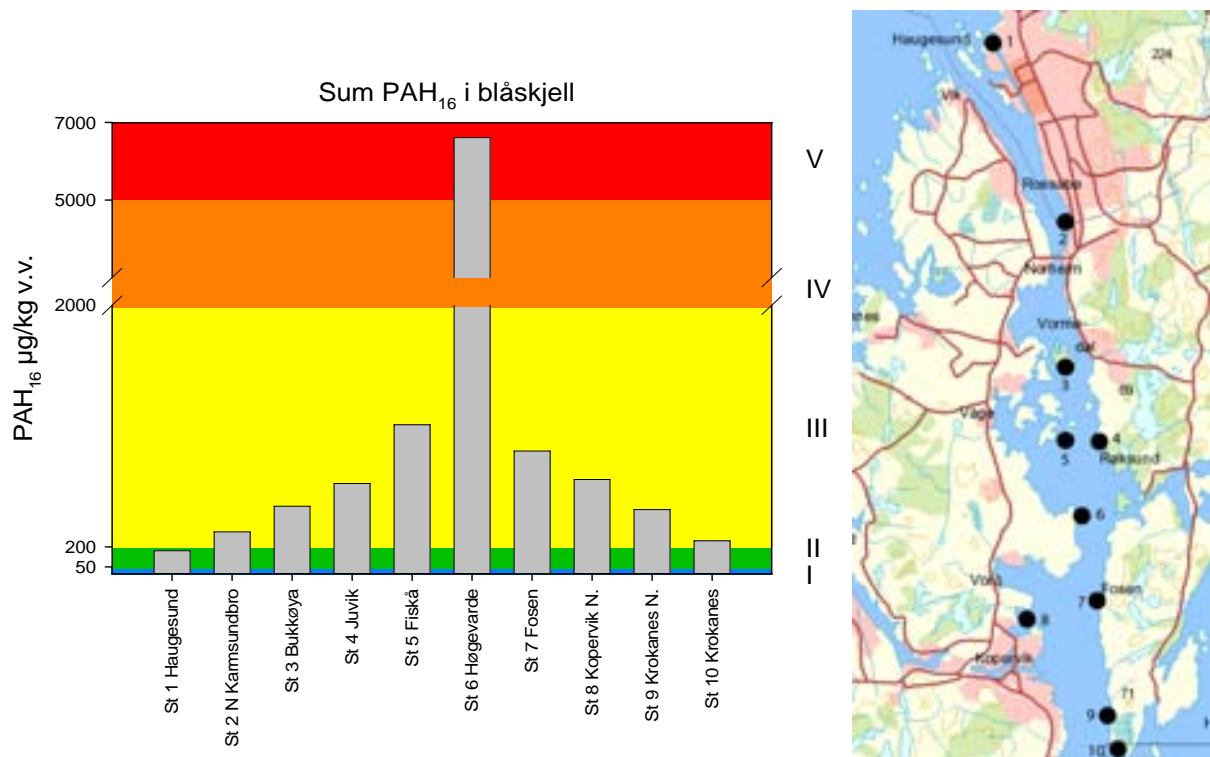
Innsamlede SPMDer ble plassert i metallbeholdere og frosset inntil ekstraksjon og analyse. Membranene ble tørket med rent tørkepapir for å fjerne begroing. Dialyse ble gjort i rene glass med heksan i 24 timer. Dette ble så gjentatt. Interne standarder ble tilsatt og volumet redusert til 2 ml med nitrogen. Kromatografi ble brukt for å fjerne trioleinet fra ekstraktet (opprinnelig i SPMDene). Hvis nødvendig renses ekstraktet ytterligere ved å overføre PAH-fraksjonen til acetonitril. Ekstraktet tilbakeføres til heksan og redusert til noen hundre mikroliter før analyse med GC/MS.

### 3. Resultater

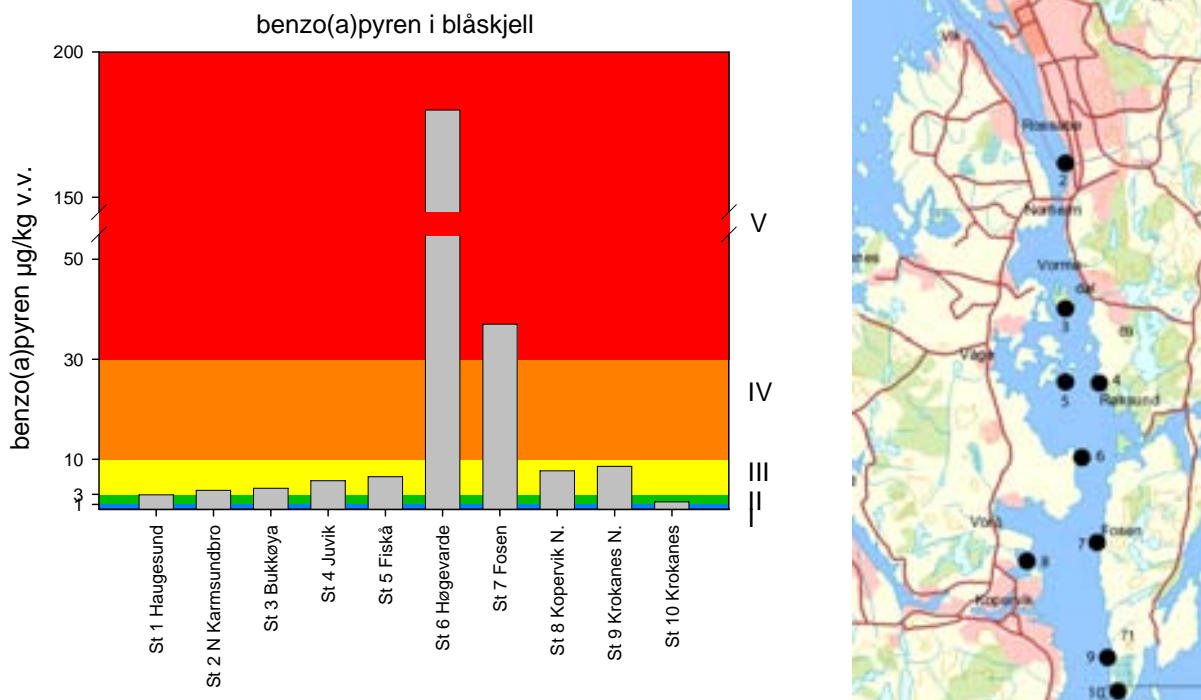
I figurfremstillingen er det brukt fargekoden for SFTs klassifisering av miljøtilstand: Blå = ubetydelig forurenset (klasse I), grønn = moderat forurenset (klasse II), gul = markert forurenset (klasse III), orange = sterkt forurenset (klasse IV) og rød = meget sterkt forurenset (klasse V).

#### 3.1 Blåskjell

Blåskjell tar opp PAH både i partikulær og løst fase og representerer påvirkningen i de øvre vannlag i Karmsundet. Resultatene viste tydelige gradienter med de høyeste verdiene av både PAH<sub>16</sub> og av benzo(a)pyren i prøven fra Høgevarde som ligger i nærområdet til utslippet fra nordre settlebasseng. Konsentrasjonene i skjellene herfra tilsvarende meget sterkt forurensning med hensyn på PAH (**Figur 6** og **Figur 7**).



**Figur 6.** PAH-innhold (µg/kg våtvekt) i blåskjell.



**Figur 7.** Benzo(a)pyren ( $\mu\text{g}/\text{kg}$  våtvekt) i blåskjell fra Karmsundet.

Mattilsynet opererer med en grenseverdi for omsetning av blåskjell på  $10 \mu\text{g}/\text{kg}$  våtvekt. Stasjonen ved Høgevarde (st. 6) og også den ved Fosen (st. 7) overgår til dels langt denne grenseverdien. Imidlertid på alle de andre stasjonene i sundet var konsentrasjonene lavere enn verdien på  $10 \mu\text{g}/\text{kg}$  våtvekt.

## 3.2 Torsk og krabbe

### 3.2.1 Torsk

Lever av torsk ble analysert for utvalgte klorerte forbindelser (**Tabell 6**). I SFTs tilstandsklasser karakteriseres leveren av torsk som ubetydelig forurenset med hensyn på PCB hvis konsentrasjonen er lavere enn  $500 \mu\text{g}/\text{kg}$  våtvekt. Torsken fra Krokanes hadde dermed konsentrasjoner av PCB under denne grenseverdien, mens torsken fra Høgevarde og fra Bøvågen tilsvarte moderat forurenset (klasse II).

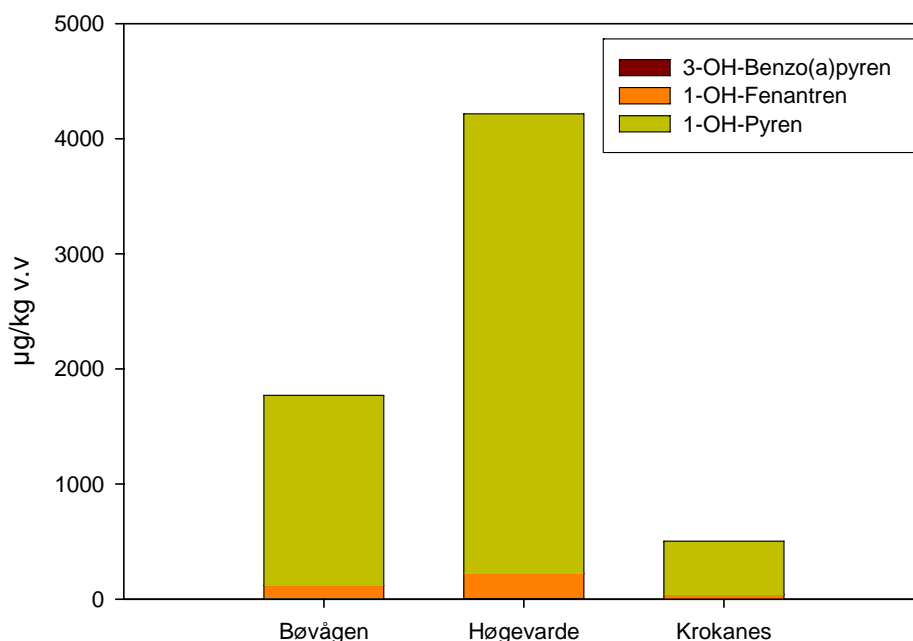
**Tabell 6.** Tørrstoff, fettinnhold og PCB<sub>7</sub>, heksaklorbenzen (HCB), alfa/gamma-heksaklorsykloheksan og pp-DDE/DDE ( $\mu\text{g}/\text{kg}$  våtvekt) i lever fra torsk.

Stasjon	TTS %	Fett %	PCB <sub>7</sub>	HCB	HCH-alfa	HCH-gamma	pp-DDE	pp-DDD
Bøvågen	51	40	702	4,9	1,6	<1	41	5,6
Høgevarde	38	23	527	3	<1	<1	24	4,4
Krokanes	47	39	427	6,8	1,6	<1	62	10

Verdiene av de andre klororganiske forbindelsene i torskelever var lave. For torskelever er øvre grense for ubetydelig forurenset (klasse I) i SFTs klassifiseringssystem  $20 \mu\text{g}/\text{kg}$  våtvekt for HCB. SFT opererer med en øvre grense for ubetydelig forurenset for sum HCH og sum DDT+DDE+DDD på

henholdsvis 50 og 200 µg/kg våtvekt. Analysene i denne undersøkelsen kvantifiserer ikke beta-HCH og DDT, men erfaringen tilsier at disse forbindelsene normalt er lavere enn de som blir kvantifisert. Konsentrasjonene av HCH og DDT/DDE/DDD var således lave i torskelever fra Karmsundet.

For å vurdere torskens eksponering til PAH, ble PAH-metabolitter i galle til fisken analysert (**Figur 8** og **Tabell 7**). I **Tabell 7** er resultatene fra Karmsundet sammenlignet med fisk fra indre Saudafjorden, indre Sør fjorden og fra Brandasund. Sistnevnte representerer åpen kyst. Resultatene viser at fisken fra Karmsundet hadde betydelig høyere verdier enn fra de andre lokalitetene noe som viser at fisken fra Karmsundet var eksponert for PAH.



**Figur 8.** Innhold av PAH-metabolitter (µg/kg v.v.) i galle fra torsk fra Karmsundet.

**Tabell 7.** PAH-metabolitter (µg/kg v.v.) i galle fra torsk fra Karmsundet sammenlignet med funn fra andre områder.

Stasjon		3-OH-BAP	2-OH-NAP	1-OH -PA	1-OH -PYR
Krokanes	Antall prøver analysert	25	25	25	25
	Gjennomsnitt	3,4	Ikke identifisert	39	461
Høgevarde	Antall prøver analysert	8	8	8	8
	Gjennomsnitt	8,2	Ikke identifisert	215	3994
Bøvågen	Antall prøver analysert	15	15	15	15
	Gjennomsnitt	5,5	Ikke identifisert	113	1652
Sauda 2007	Gjennomsnitt indre fjordbasseng	0,36	Ikke identifisert	2,6	8
JAMP 2007	Gjennomsnitt indre Sør fjorden	4	21	14	91
	Gjennomsnitt Brandasund	<2	< 20	9	53

### 3.2.2 Krabbe

Innhold av PAH i skallinnmat av krabbe er gitt i **Tabell 8**. Det var en faktor på 2-3 høyere konsentrasjoner i krabbene fanget ved Høgevarde sammenlignet med de to andre stasjonene. SFT har ikke tilstandsklasser for PAH i krabbe, men konsentrasjonen av benzo(a)pyren var under Mattilsynets grenseverdi for sjømat.

**Tabell 8.** Tørrstoff, fettprosent og PAH ( $\mu\text{g}/\text{kg}$  våtvekt) i krabbeinnmat.

Stasjon	TTS %	Fett %	Sum PAH	Sum PAH <sub>16</sub>	Sum KPAH	BaP
Bukkøya	23	8	92	68	21	1,0
Høgevarde	24	8	194	186	55	2,7
Krokanes	24	7	72	46	23	1,5

## 3.3 Sedimenter

### 3.3.1 Sedimenttyper

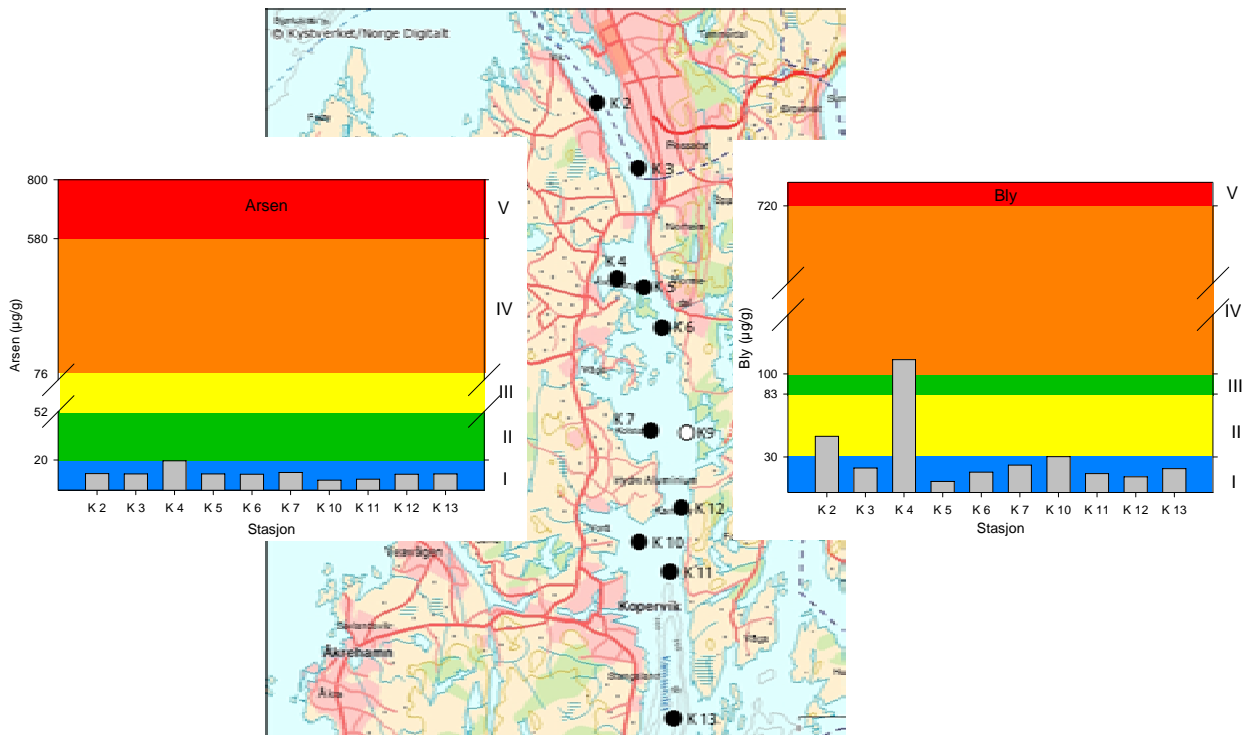
Karmsundet er generelt et strømrøkt sund. Det vises også klart ved at sedimentene generelt har et betydelig innhold av grovere materiale, dvs. materiale i sandfraksjonen og til dels også grovere enn dette (**Tabell 9**). Dette medfører også et relativt lavt innhold av organisk karbon på mange av stasjonene, noe som igjen har konsekvenser for evnen til å lagre forurensninger. Organiske miljøgifter slik som PAH har nemlig en utpreget tendens til å bindes til organisk materiale. Varierende PAH-innhold representerer derfor ikke bare variasjonen i påvirkning, men også sedimentets naturlige egenskap til å binde PAH.

**Tabell 9.** Vanddyp, innhold av finstoff, organisk materiale og visuell beskrivelse av sedimentprøvene.

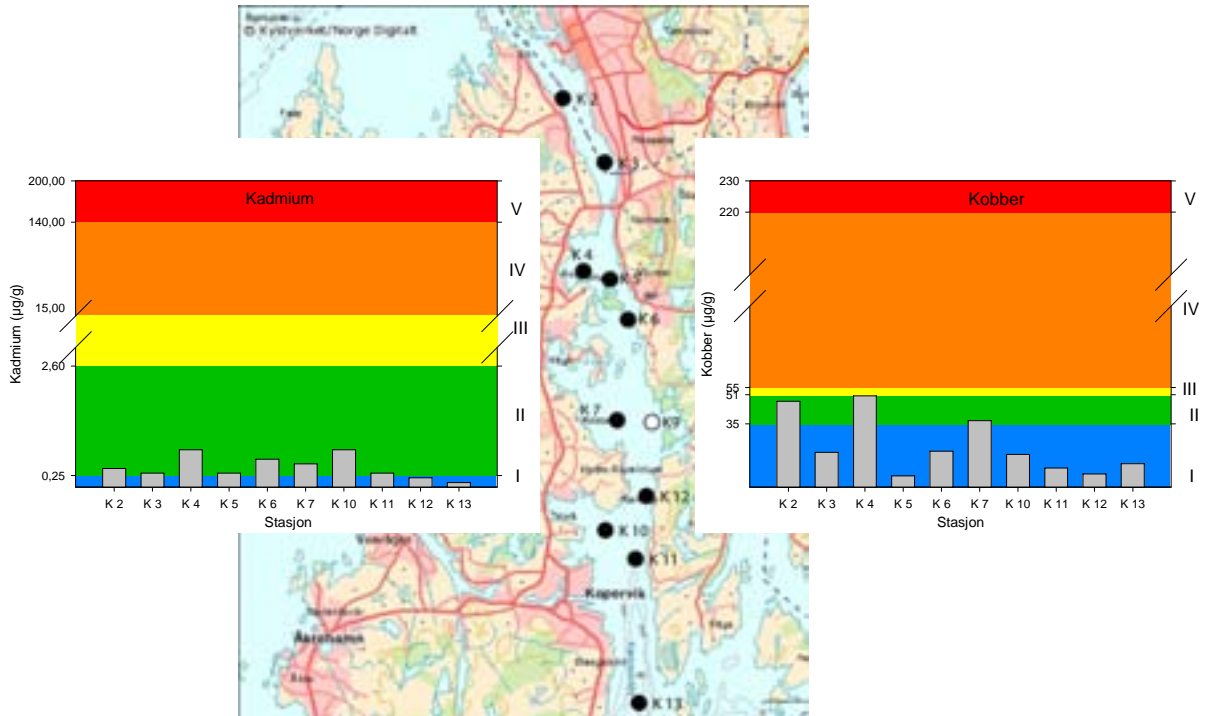
Stasjon	Vanddyp m	% finstoff (% <63 $\mu\text{m}$ )	Totalt organisk innhold (mg/g)	Beskrivelse
K2	40	69	23,4	Sandig med småstein
K3	61	13	17,6	Skjellsand
K4	38	25	32,6	Finkornet skjellsand
K5	47	6	12,7	Skjellsand med noe stein
K6	57	11	51,0	Skjellsand med grus
K7	41	26	27,2	Mørk brun sandig silt
K10	39	43	17,7	Sandig silt
K11	98	22	15,4	Sandig slit
K12	74	12	6,2	Skjellsand med silt
K13	194	43	13,1	Sandblandet leire

### 3.3.2 Metaller

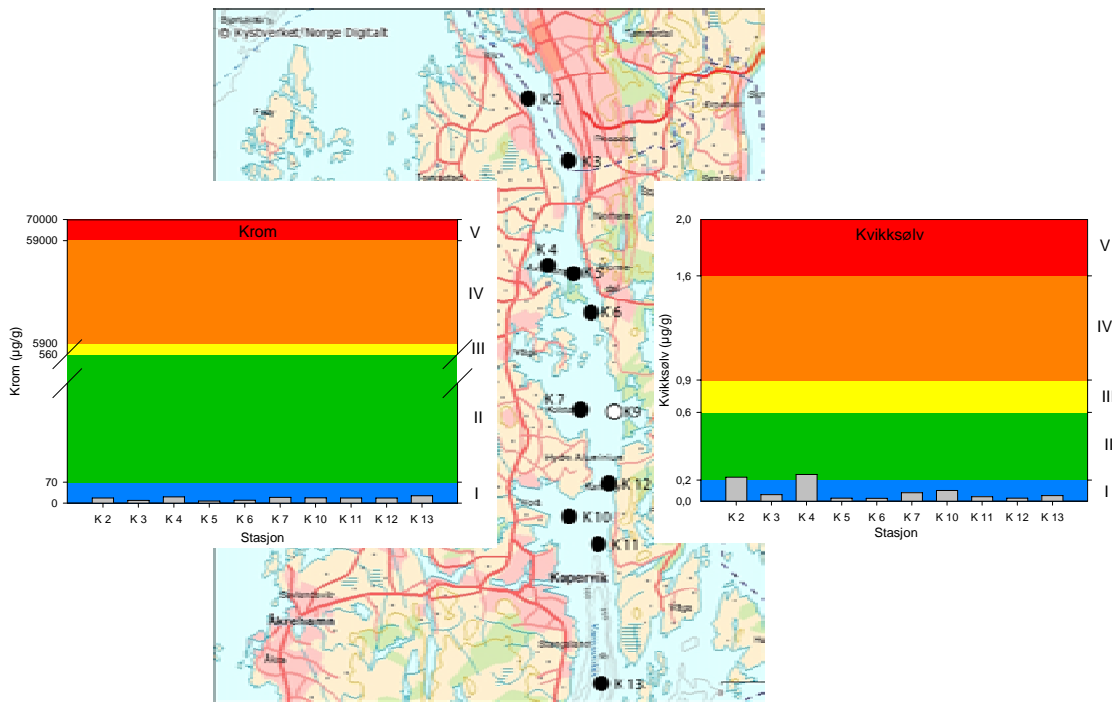
Innhold av metaller i overflatesedimentene i Karmsundet er vist i de følgende figurene. Her er fargekoden for SFTs klassifiseringssystem brukt for de metallene der dette finnes. I tillegg er enkelte metaller analysert som ikke inngår i SFTs klassifiseringssystem. Generelt var konsentrasjonen av metaller i sedimentene lave og svarende til lite til moderat forurenset (SFT-klasse I og II). Bly hadde enkelte forhøyede verdier. Det var tilfelle på stasjon 2 nær Haugesund og stasjon 4 i Bøvågen med konsentrasjoner tilsvarende markert og sterkt forurenset.



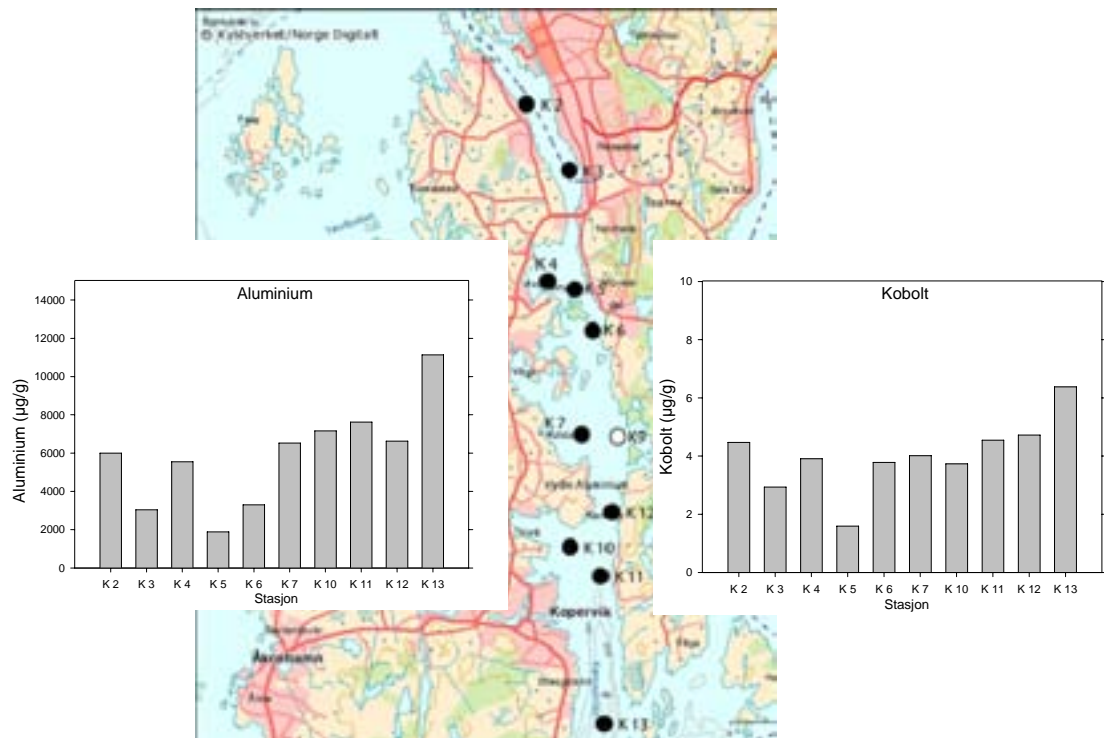
Figur 9. Innhold (µg/g) av arsen og bly i overflatesedimentene (0-5 cm) i Karmsundet.



Figur 10. Innhold (µg/g) av kadmium og kobber i overflatesedimentene (0-5 cm) i Karmsundet.

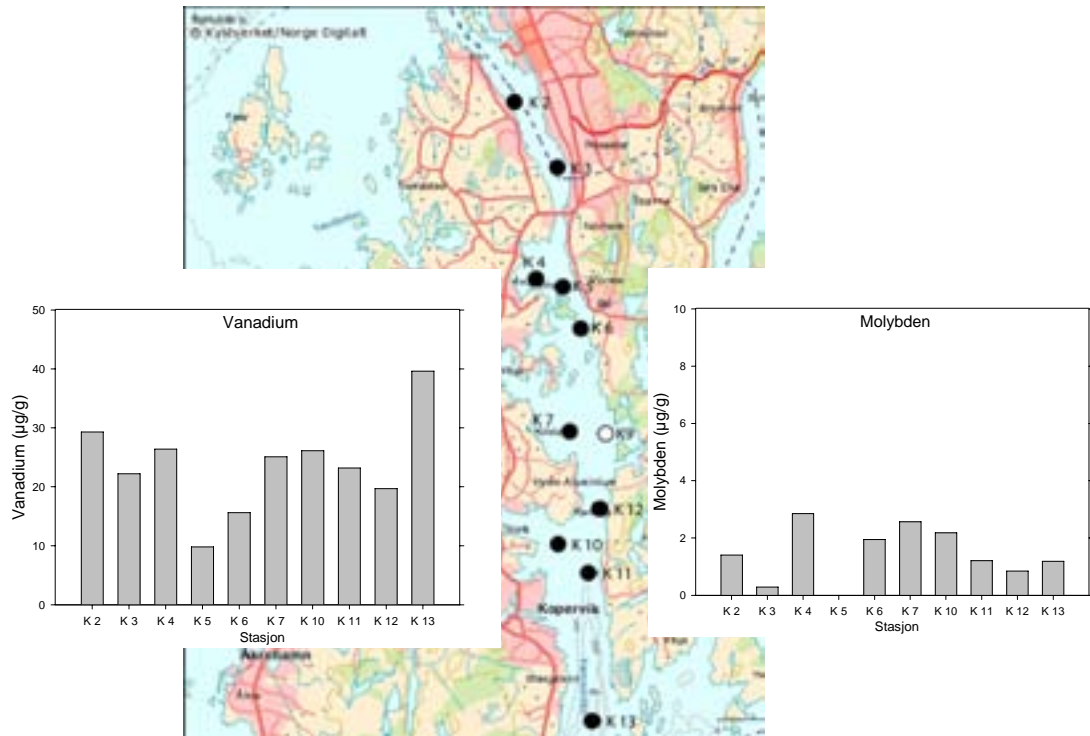


Figur 11. Innhold (µg/g) av krom og kvikksølv i overflatesedimentene (0-5 cm) i Karmsundet.



Figur 12. Innhold (µg/g) av aluminium og kobolt i overflatesedimentene (0-5 cm) i Karmsundet.



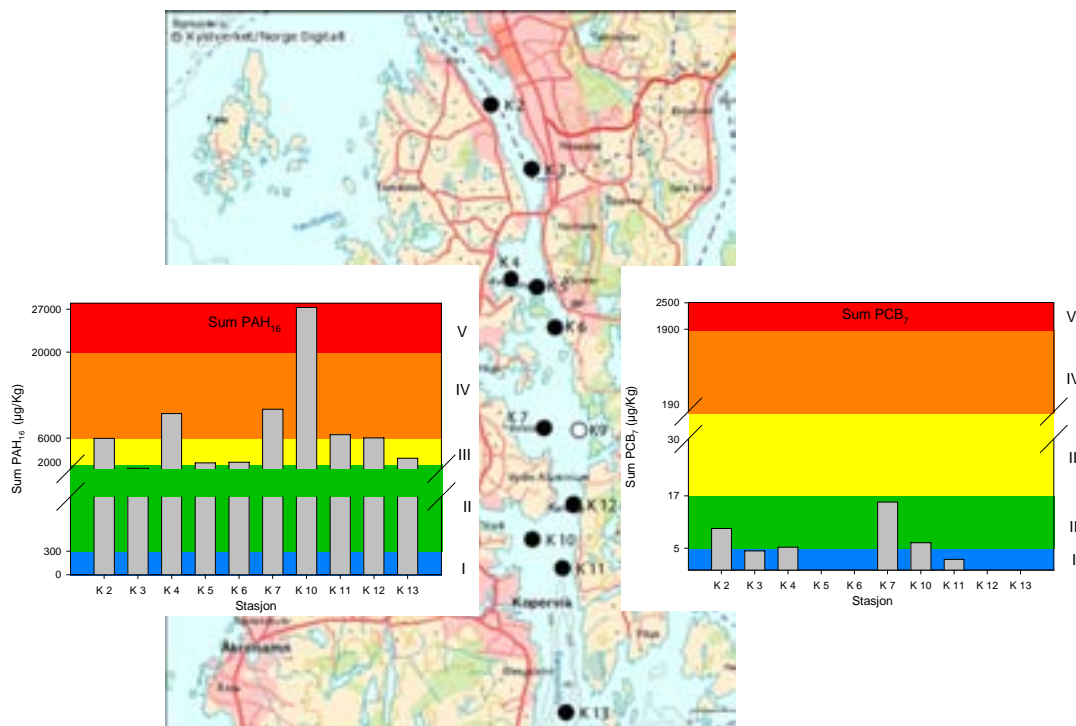


**Figur 13.** Innhold ( $\mu\text{g/g}$ ) av vanadium og molybden i overflatesedimentene (0-5 cm) i Karmsundet.

### 3.3.3 PAH og PCB

Konsentrasjonene av PAH og PCB i overflatesedimentene i Karmsundet er vist i **Figur 14**. På de fleste stasjonene medførte konsentrasjonene at sedimentene må karakteriseres som markert til sterkt forurenset av PAH. De høyeste verdiene ble funnet i nærområdet til settlebassengene til Hydro Aluminium Karmøy. Man skal også merke seg at konsentrasjonen på stasjonen i Bøvågen var like høy som den på stasjon 7 nær nordre settlebasseng.

PCB<sub>7</sub>-konsentrasjonene var relativt lave på alle stasjonene og sedimentene kan klassifiseres som ubetydelig til moderat påvirket av PCB.



**Figur 14.** Innhold ( $\mu\text{g/kg}$ ) av  $\text{PAH}_{16}$  og  $\text{PCB}_7$  i overflatesedimentene (0-5 cm) i Karmsundet.

### 3.4 Passive prøvetakere (SPMD)

De passive prøvetakerne integrerer konsentrasjonen av fritt løst PAH i vannmassene i tidsperioden slutten av oktober til midten av desember 2008. De høyeste konsentrasjonene ble observert ved Høgevarde og med fallende konsentrasjoner nordover i sundet (prøvetakeren ved Krokanes ble dessverre ikke funnet igjen).

I utgangspunktet hadde det vært interessant å sammenligne disse verdiene med Environmental Quality Standards (EQS) i EUs Vanndirektiv (**Tabell 10**). Det er imidlertid ikke helt enkelt idet de passive prøvetakerne kun måler den fritt løste fraksjonen mens verdiene i Vanndirektivet refererer seg til totalkonsentrasjon i vannmassene ("whole water"). En sammenligning kan allikevel gi generell informasjon.

**Tabell 10.** "Annual average" EQS i Vanndirektivet for PAH i vannmasser.

Forbindelse	AA-EQS (ng/L)
ANT	100
FLUO	100
$\Sigma$ B[b]F & B[k]F	30
B[a]P	50
$\Sigma$ In[1,2,3-cd]P & B[ghi]P	2

Den fritt løste konsentrasjonen ved Høgevarde var høyere enn EQS-verdien sum of indeno[1,2,3-cd]pyrene and benzo[ghi]perylene og nær denne verdien for de to andre stasjonene. Det samme var

tilfelle for fluoranten. Summen av B[b]F og B[k]F var omtrent halve EQS-verdien. Konsentrasjonene av antrasen og benzo(a)pyren var lavere enn EQS-verdien på alle stasjonene.

**Tabell 11.** Tidsintegrerte gjennomsnittsverdier av fritt løst PAH i vannmassene i Karmsundet i tidsperioden slutten av oktober til midten av desember 2008 på grunnlag av prøvetaking med SPMD.

Forbindelse	Log $K_{ow}$	Konsentrasjon (ng/L)		
		Høgevarde	Karmsund bro	Bøvågen
NAP	3,37	<0,01	0,1	0,1
ACNLE	4,07	0,2	0,2	0,2
ACNE	3,92	22,1	13,7	16,8
FLE	4,18	6,1	5,3	6,1
DBTHI	4,40	2,9	1,6	1,9
PHE	4,57	57,7	27,6	32,8
ANT	4,54	3,7	1,3	1,5
FLU	5,22	>311	56,3	58,3
PYR	5,18	>146	28,4	29,3
BaA	5,91	19,6	3,0	3,3
CHRY	5,86	19,7	3,7	4,5
Bb]F	5,80	15,0	2,9	3,9
Bk]F	6,00	3,4	0,7	1,0
BeP	6,04	6,9	1,6	2,0
BaP	6,04	3,7	0,1	0,8
PER	6,25	1,1	0,2	0,2
ICDP	6,50	1,7	0,4	0,8
DBA3A	6,75	0,6	0,1	0,2
BGHIP	6,50	1,4	0,4	0,7
Σ PAHs (16)		612	144	160

En annen måte å tilnærme seg dette på er å bruke en relativ enkel empirisk modell for sammenhengen  $\log K_{oc}$ - $\log K_{ow}$  (bindingsforhold til organisk karbon som funksjon av fettløslighet) (Karickhoff, 1981) og på grunnlag av dette estimere totalkonsentrasjonen i vannmassene. Vi må da kjenne TOC/DOC-innholdet i vannmassene og anta likevekt mellom PAH i løst fase og PAH bundet til suspendert og oppløst karbon (DOC) (**Tabell 12**).

**Tabell 12.** Estimerte totale PAH-konsentrasjoner i vannmassene ("whole water") i Karmsundet sammenlignet med standardene ("annual average - EQS) i Vanndirektivet.

Forbindelse	Spenn av estimert "whole water"-konsentrasjon for TOC-verdier på 1-3 mg L <sup>-1</sup> (ng/L)			AA-EQS (ng/L)
	St 3 Høgevarde	St 1 Karmsund bro	St 2 Bøvågen	
ANT	3.7-3.8	1.3-1.4	1.5-1.6	100
FLU	332-373	60-67	62-70	100
Σ B[b]F & B[k]F <sup>a</sup>	23-33	4-7	6-9	30
B[a]P	5.2-8.4	0.2-0.3	1.1-1.8	50
Σ In[1,2,3-cd]P & B[ghi]P	7-15	1.8-3.8	3.2-6.8	2

<sup>a</sup>Inkluderer B[j]F

Estimatene er basert på målinger med passive prøvetakere og empirisk forhold for  $K_{OC}$ -log  $K_{OW}$  gitt ved:  $\log K_{OC} = 0.989 \log K_{OW} - 0.346$  (Karickhoff, 1981)

Det understrekes at beregningene er beheftet med usikkerheter og representerer kun en "første tilnærning", men de gir allikevel en pekepinn om forurensningsnivået sett i lys av kravene i Vanndirektivet. Beregningene indikerer at konsentrasjonene i vannmassene ved Høgevarde overskrides for fluoranten, benzofluorantener og for indeno-/benzoperylen. Sistnevnte overskrides også på de andre stasjonene.

## 3.5 Multivariat statistikk

### 3.5.1 Sedimenter

For å belyse likheten mellom sammensetningen av PAH i prøvene av sedimenter og blåskjell har vi benyttet oss av de statistiske multivariate metodene clusteranalyse og prinsippal komponentanalyse.

Formålet med en clusteranalyse er å organisere multivariate observasjoner (objekter med flere målte egenskaper) på en slik måte at objektene fra samme cluster (klynge) er mer like hverandre enn objektene fra andre clustre. Den vanlige situasjonen er at dataene ikke er fordelt jevnt i et multidimensjonalt rom, men at de ofte samles i grupper i lokale områder. Slike grupper kalles «clusters». Man stiller i utgangspunktet ingen *á priori* hypoteser vedrørende dataene, og metoden vil derfor heller ikke kunne benyttes til hypotesetesting. Clusteranalysen oppdager strukturer i dataene uten å forklare hvorfor de eksisterer. Metoden gir således et nyttig utgangspunkt for videre utforskende dataanalyser.

Resultatene fra en clusteranalyse framstilles grafisk i et *dendrogram*. Dette er et hierarkisk oppbygd tre-diagram som viser de enkelte observasjonene og når de kombineres med andre observasjoner og danner clustere.

For clusteranalysen har vi benyttet en teknikk som kalles hierarkisk clustering, basert på Ward (1963) «minimum varians metode».

Formålet med en prinsippal komponentanalyse er å redusere dimensjonaliteten i ett datasett ved å representere strukturen eller hovedtendensen i et datasett så komplett som mulig ved å benytte noen få komponenter. Disse komponentene er lineære kombinasjoner av de originale variablene. Den første prinsippale komponenten er den lineære kombinasjonen av de standardiserte originale variablene som har den største mulige variansen (dvs. egenverdien innenfor lineær algebra). Den neste prinsippale

komponenten har den nest høyeste egenverdien (og er ortogonal til den første, dvs. ukorrelert), og så videre. Bidraget fra de originale variablene til de ulike prinsipale komponentene gis av deres egenvektorer. Disse koeffisientene brukes i en lineær kombinasjon av de originale variablene for å produsere de prinsipale komponentene.

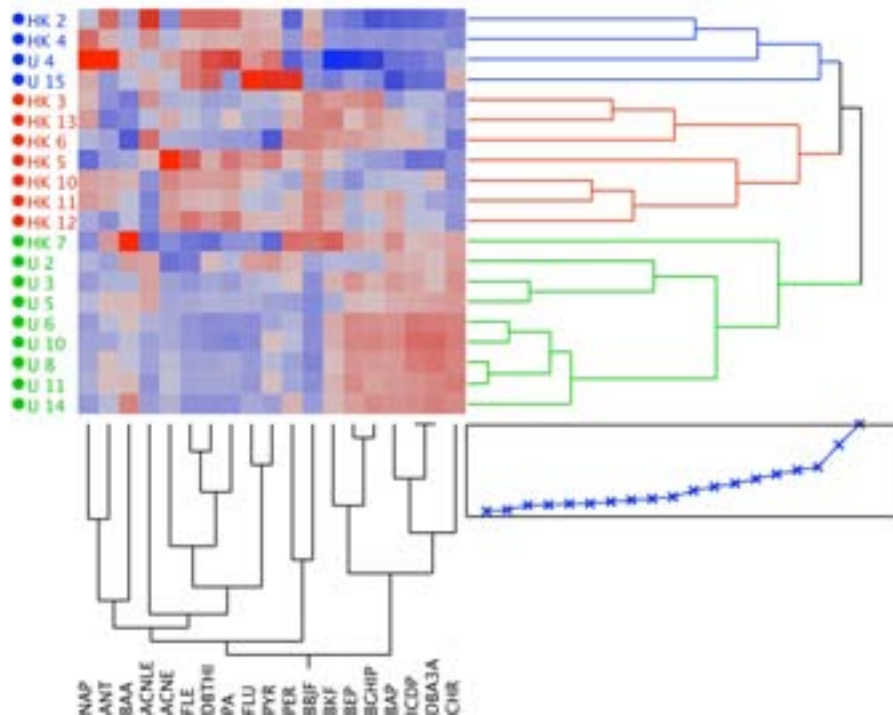
Resultatene fra en prinsipal komponentanalyse kan vises grafisk i et såkalt biplott, hvor egenvektorene plottes som piler i et diagram med de prinsipale komponentene som akser, og hvor skårene til de enkelte observasjonene plottes som punkter i det samme diagrammet. Lengden på pilene viser egenvektorenes relative betydning, og vinkelen mellom dem viser hvor nært korrelert de er med hverandre. Nær korrelerte variabler peker i samme retning, mens negativ korrelerte variabler peker i motsatt retning. Ikke-korrelerte variabler står normalt på hverandre.

Vi har i begge disse analysene benyttet oss av det relative forholdet mellom de enkelte PAH-forbindelsene (dvs. deres prosentvise forhold). Det har således ingen betydning for analysene om den totale konsentrasjonen av sum PAH er høy eller lav, da det er det relative forholdet mellom de enkelte forbindelsene som er viktig for å belyse likheten mellom prøvene. På denne måten elimineres effekten av eventuelt fortynnende materiale i prøvene.

For den prinsipale komponentanalysen har vi benyttet en metode som kalles logkontrast prinsipal komponentanalyse (Aichinson, 1986). For hver prøve har vi transformert de prosentvise forekomstene av de ulike PAH-forbindelsene til såkalte log-ratio forhold. Dette har vært nødvendig for å unngå effektene av falske korrelasjoner mellom forbindelsene som kan introduseres når man opererer med komposittdata (summerer til 100 %). En tilfeldig økning eller reduksjon i forekomsten av en forbindelse vil føre til en endring i forekomsten av andre, noe som vil føre til falske korrelasjoner. Clusteranalysen ble også utført på log-ratio transformerte prosentvise forekomster, slik at vi unngikk å introdusere ulikeheter mellom datasettene. Til de statistiske analysene er det benyttet dataprogrammet JMP (SAS Institute Inc., 2006).

I analysene har vi valgt å inkludere resultater for sedimenter nylig prøvetatt i området mellom Fiskå og vest av Husøy (Håvardstun mfl. 2009). Hensikten var å se om sedimentene her (som også har relative høye konsentrasjoner av PAH) skilte seg profilmessig ut fra de nær aluminiumsverket og ellers i Karmsundet.

En clusteranalyse (**Figur 15**) viste at sedimentprøvene fra Karmsundet (HK) (dominert av PAH med midlere molekylvekt) og fra området mellom Fiskå og vest av Husøy (U) (relativ overvekt av PAH med høy molekylvekt) i all hovedsak grupperte seg i to ulike clustre. En tredje gruppe, bestående av to prøver fra henholdsvis hvert område dannet et tredje cluster (relativt overvekt av lavmolekylære PAH).



**Figur 15.** Dendrogram basert på en clusteranalyse av sedimentprøvenes relative sammensetning av PAH. Fargene indikerer de respektive prosentandelene for hver PAH-forbindelse på en kontinuerlig fargeskala fra blått (lav) til rødt (høy). «Scree-plottet» nede til høyre viser avstanden mellom clustrene, og knekkpunktet indikerer antall clustre som det er optimalt å dele datamaterialet inn i.

### Prinsipal komponentanalyse

Prinsipal komponentanalysen (Tabell 13 og Figur 16) viste at de tre første prinsipale komponentene beskrev i alt omlag 76 % av den samlede variansen i datasettet.

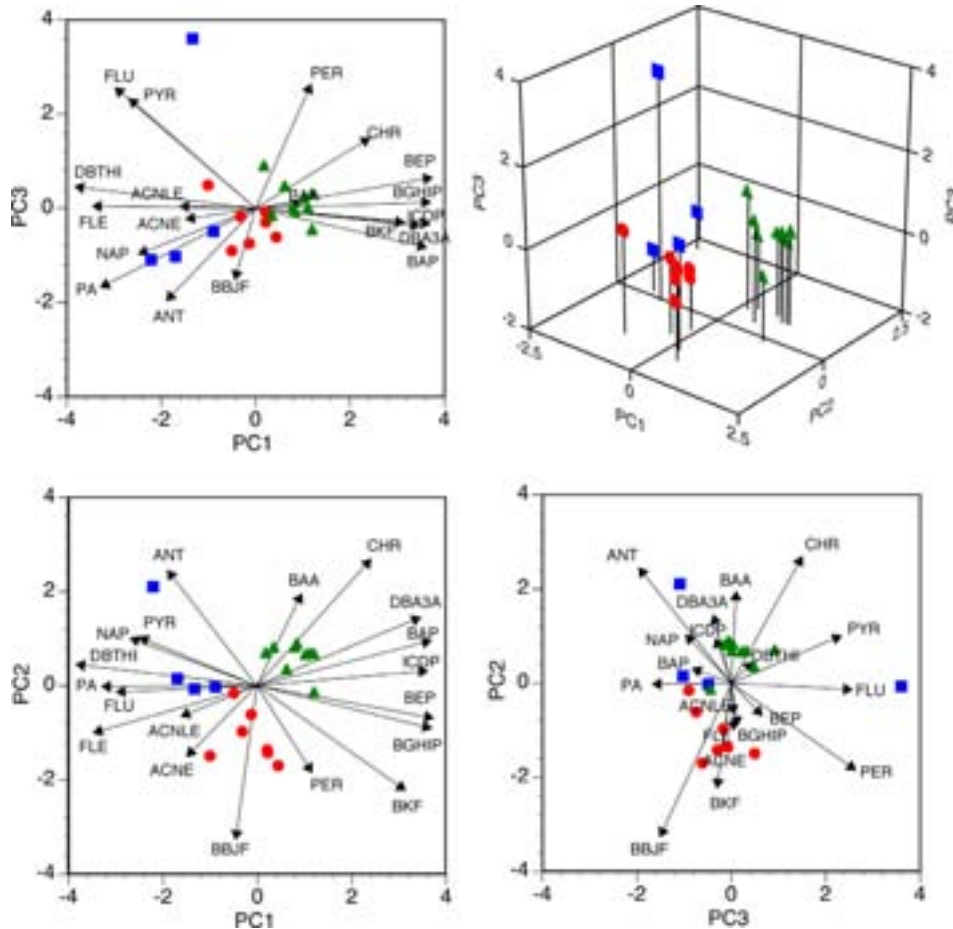
Den første prinsipale komponenten beskrev nær 41 % av variansen i datasettet, og egenvektorene viste at den ble kraftig dominert av en positiv påvirkning fra BEP, ICDP, BGHIP, BAP, DBA3A og BKF, og en kraftig negativ påvirkning fra DBTHI, FLE, PA, FLU.

Den andre prinsipale komponenten beskrev 15 % av variansen, og ble i hovedsak positivt dominert av CHR, ANT, BAA, med en negativ innflytelse fra BBJF og PER.

Den tredje prinsipale komponenten beskrev nær 11 % av variansen, og ble i hovedsak positivt dominert av FLU, PER og PYR og negativt av ANT.

**Tabell 13.** *Prinsippal komponentanalyse for sedimenter.*

<b>Parameter</b>	<b>Forbindelse</b>	<b>PC1</b>	<b>PC2</b>	<b>PC3</b>
Eigenverdi		9.45	2.91	2.06
Prosent av varians		49.76	15.32	10.82
Kumulativ prosent		49.76	65.08	75.89
Eigenvektorer	NAP	-0.20	0.15	-0.17
	ACNLE	-0.13	-0.10	0.01
	ACNE	-0.12	-0.22	-0.04
	FLE	-0.28	-0.15	0.01
	DBTHI	-0.31	0.07	0.08
	PA	-0.27	-0.00	-0.29
	ANT	-0.15	0.36	-0.34
	FLU	-0.24	-0.02	0.45
	PYR	-0.22	0.15	0.41
	BAA	0.08	0.29	0.02
	BKF	0.25	-0.33	-0.05
	BEP	0.30	-0.10	0.11
	BAP	0.29	0.05	-0.14
	PER	0.09	-0.27	0.46
	ICDP	0.30	0.14	-0.06
	DBA3A	0.28	0.21	-0.07
	BGHIP	0.30	-0.13	0.02
	BBJF	-0.04	-0.48	-0.26
	CHR	0.20	0.39	0.26

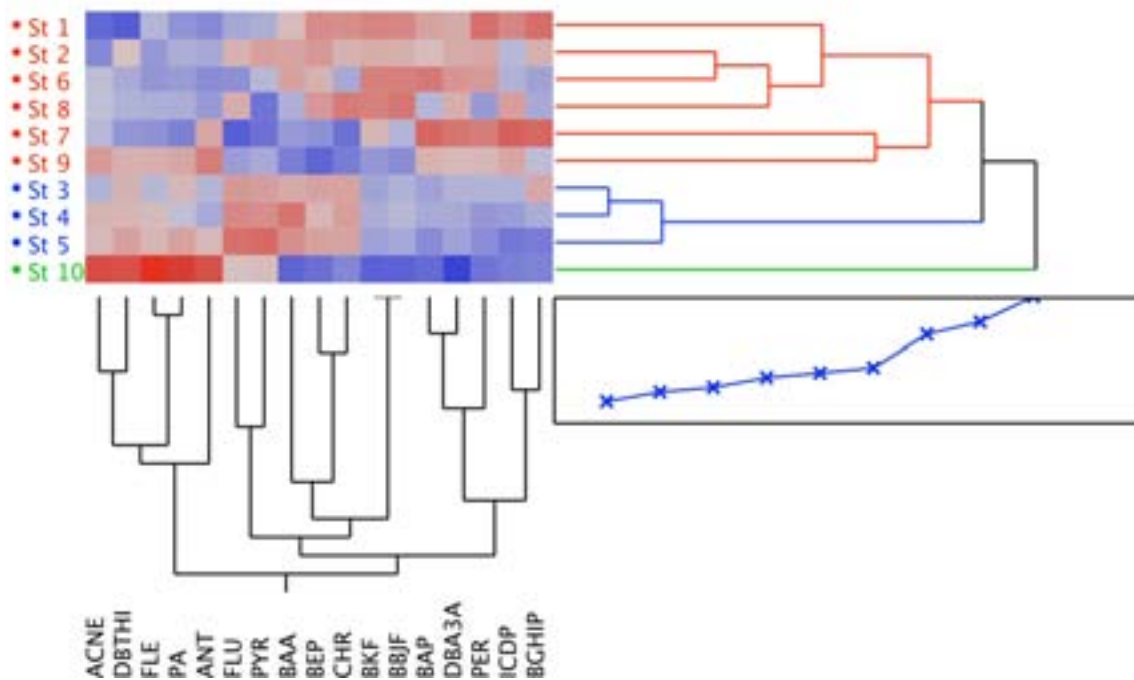


**Figur 16.** Biplott og tredimensjonalt skår-plott basert på en prinsippal komponentanalyse av forholdet mellom ulike PAH-forbindelser i sedimentene.

### 3.5.2 Blåskjell

Clusteranalysen (**Figur 17**) viste ingen klare grupperinger, med unntak av prøven fra St. 10 som atskilte seg betydelig fra de øvrige ved at de lettere PAH-forbindelsene dominerte i denne prøven. Vi har valgt å dele inn materialet i tre grupper, hvorav den ene (merket blått) består av prøver hentet fra stasjoner nær aluminiumsverket (St. 3, 4 og 5). Den andre hovedgruppen stammer fra stasjonene lengre borte fra aluminiumsverket.





**Figur 17.** Dendrogram basert på en clusteranalyse av muslingprøvenes relative sammensetning av PAH. Fargene indikerer de respektive prosentandelene for hver PAH-forbindelse på en kontinuerlig fargeskala fra blått (lav) til rødt (høy). «Scree-plottet» nede til høyre viser avstanden mellom clustrene, og et knekkpunkt indikerer antall clustre det er optimalt å dele datamaterialet inn i.

Prinsipal komponentanalysen (**Tabell 14** og **Figur 18**) viste at de tre første prinsipale komponentene beskrev i alt omlag 91 % av den samlede variansen i datasettet.

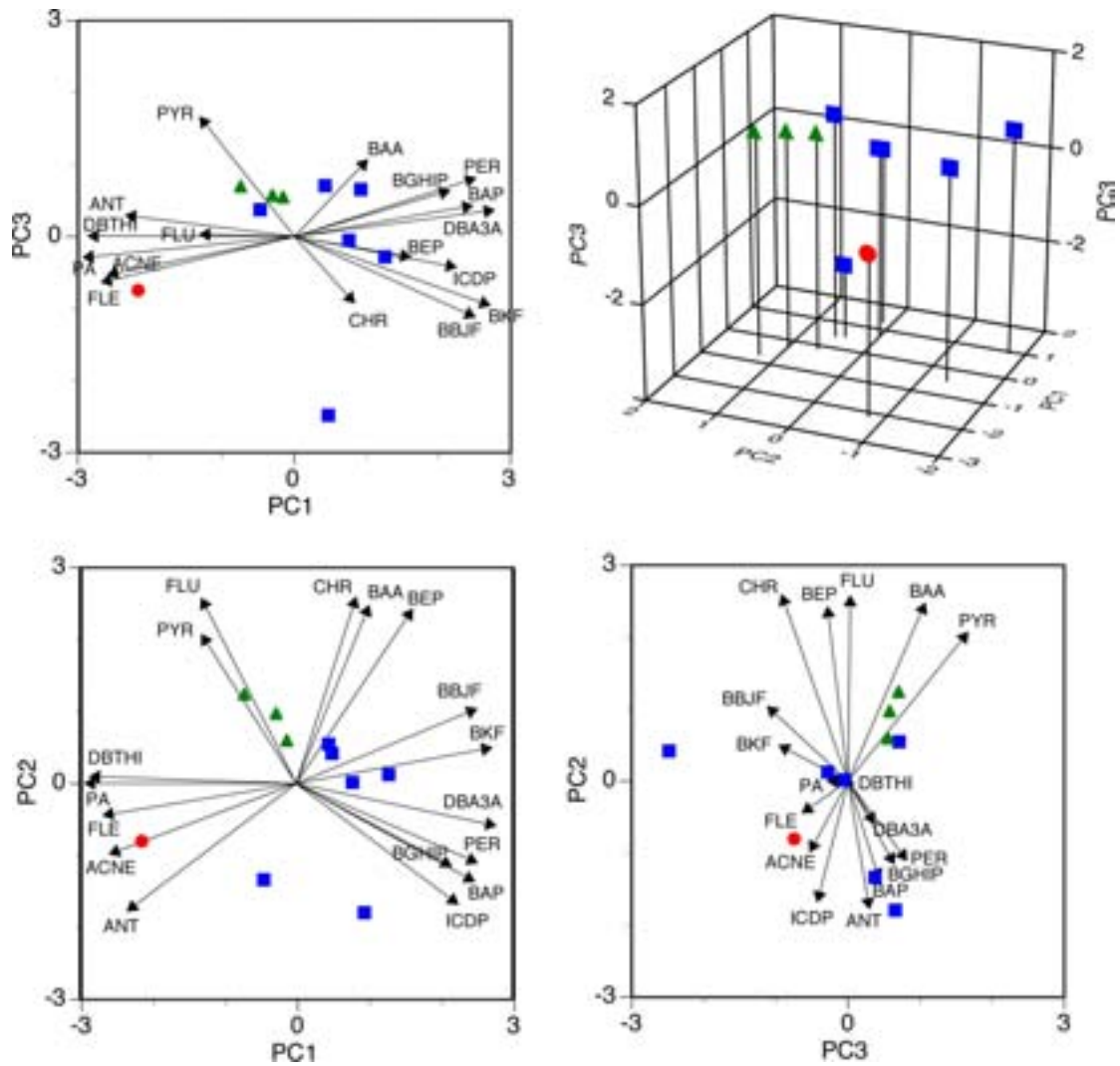
Den første prinsipale komponenten beskrev omlag 57 % av variansen i datasettet, og egenvektorene viste at den ble kraftig dominert av en positiv påvirkning fra DBA3A, BKF, BBJF, PER, BAP, ICDP og en kraftig negativ påvirkning fra PA, DBTHI, FLE, FLE, ACNE og ANT.

Den andre prinsipale komponenten beskrev nær 28 % av variansen, og ble i hovedsak positivt dominert av CHR, FLU, PYR, BAA og BEP, og med en negativ innflytelse i hovedsak fra ANT, ICDP og BAP.

Den tredje prinsipale komponenten beskrev kun 6 % av variansen, og ble i hovedsak positivt dominert av PYR og BAA, og negativt av BBJF, BKF og CHR.

**Tabell 14.** *Prinsippal komponentanalyse for blåskjell.*

<b>Parameter</b>	<b>Forbindelse</b>	<b>PC1</b>	<b>PC2</b>	<b>PC3</b>
Eigenverdi		9.72	4.76	1.05
Prosent av varians		57.17	27.98	6.17
Kumulativ prosent		57.17	85.15	91.32
Egenvektorer	ACNE	-0.28	-0.15	-0.17
	FLE	-0.29	-0.07	-0.21
	DBTHI	-0.31	0.01	0.00
	PA	-0.31	0.00	-0.09
	ANT	-0.25	-0.27	0.10
	FLU	-0.14	0.39	0.01
	PYR	-0.14	0.32	0.54
	BAA	0.11	0.38	0.35
	BKF	0.29	0.08	-0.31
	BEP	0.17	0.37	-0.09
	BAP	0.26	-0.21	0.14
	PER	0.27	-0.17	0.26
	ICDP	0.24	-0.26	-0.14
	DBA3A	0.30	-0.09	0.12
	BGHIP	0.23	-0.18	0.21
	BBJF	0.27	0.16	-0.36
	CHR	0.09	0.40	-0.30

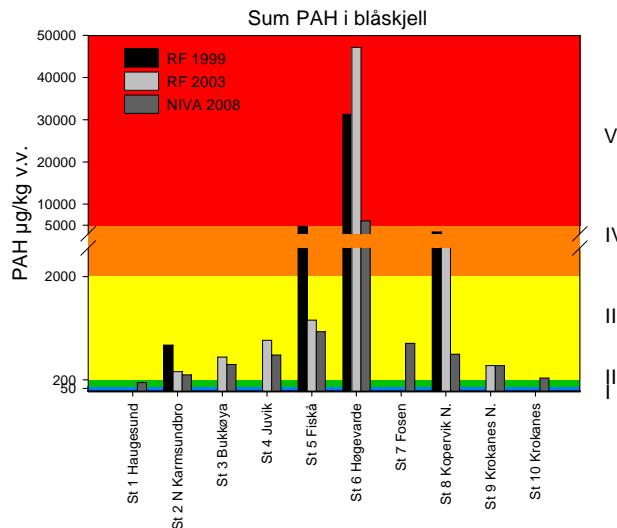


**Figur 18.** Biplott og tredimensjonalt skår-plott basert på en prinsipal komponentanalyse av forholdet mellom ulike PAH-forbindelser i blåskjellene.

## 4. Sammenligning med tidligere undersøkelser

### 4.1 PAH i blåskjell

Rogalandsforskning har tidligere gjennomført to undersøkelser (Bjørnstand og Beyer 1999, Tvedten 2004) som blant annet inkluderer PAH i blåskjell fra Karmsundet (1999, 2003). Stasjonene som er sammenlignbare med stasjonene fra denne undersøkelsen er plottet i **Figur 19**.

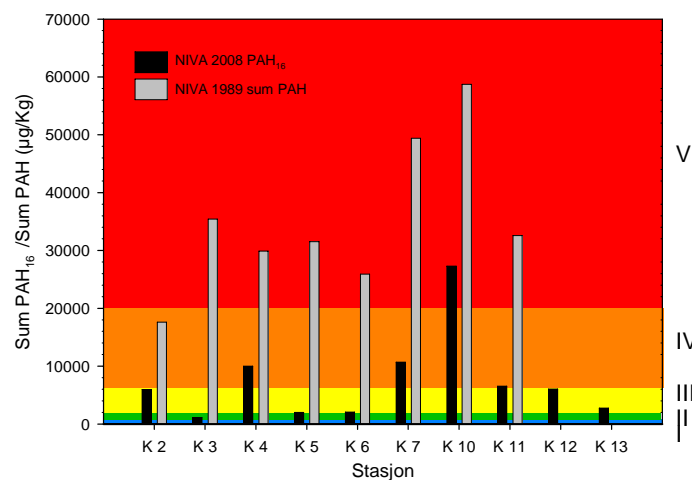


**Figur 19.** Sammenligning av sum PAH i blåskjell i 2008 med resultater fra Rogalandsforskning gjennomført i 1999 og 2003.

Generelt viser resultatene en nedgang over tid i totalinnholdet av PAH. På de mest påvirkede stasjonene (5, 6 og 8) var konsentrasjonen i 2008 opptil 10 ganger lavere enn tidligere.

### 4.2 PAH i sedimenter

En sammenligning med konsentrasjoner i sedimentene målt av NIVA i 1989 (Knutzen og medarb. 1989), viser også reduserte konsentrasjoner (**Figur 20**).



**Figur 20.** Sammenligning av PAH i sedimenter i Karmsundet i 2008 med resultater fra undersøkelser i 1989.

Resultatene viser en betydelig nedgang på alle stasjoner over en 20-årsperiode. Man skal dog være litt forsiktig med denne tolkingen idet sedimentintervallet som ble prøvetatt i 1989 var 0-1 cm, mens det i 2008 var 0-5 cm (se kapittel 2.1.3). Hvis konsentrasjonen i sedimentlaget mellom 1 og 5 cm har lavere konsentrasjon enn 0-1 cm-laget, vil dette virke fortynnende og gi feil sammenligningsgrunnlag mellom 1989 og 2008. Imidlertid, den vertikale PAH-fordelingen i en sedimentkjerne (1 cm snitt) fra Karmsundet nordøst av Høgevarde ble analysert i 1989. Det var kun små variasjoner i PAH-konsentrasjonen i de øvre 5 cm.

## 5. Hovedkonklusjoner

Undersøkelsene i Karmsundet gir grunnlag for følgende hovedkonklusjoner:

- Vannmassene i nærområdet til Hydro Aluminium Karmøy er betydelig forurenset med PAH.
- PAH-konsentrasjonene i vannmassene medfører at blåskjell fra området også har forhøyede verdier av PAH. Dette gjelder særlig i nærområdet til Hydro Aluminium Karmøy. Konsentrasjonene faller imidlertid raskt både nordover og sydover i Karmsundet. Hvis vi bedømmer konsentrasjonene ut fra Mattilsynets grenseverdi på 10 µg benzo(a)pyren/kg våtvekt, er konsentrasjonene i blåskjell under denne verdien når man er et par kilometre fra Høgevarde.
- Sedimentene i Karmsundet hadde generelt lave verdier av metaller. Bly hadde enkelte forhøyede verdier. Det var tilfelle på en stasjon nær Haugesund og en stasjon i Bøvågen med konsentrasjoner tilsvarende markert og sterkt forurenset. Sedimentene var betydelig forurenset med PAH. På de fleste stasjonene medførte konsentrasjonene at sedimentene må karakteriseres som markert til sterkt forurenset av PAH. De høyeste verdiene ble funnet i nærområdet til settlebassengene til Hydro Aluminium Karmøy. Det ble også funnet tilsvarende verdier i Bøvågen som de nær Hydro Aluminium Karmøy. PCB<sub>7</sub>-konsentrasjonene var relativt lave på alle stasjonene og sedimentene kan klassifiseres som ubetydelig til moderat påvirket av PCB.
- Resultatene viser at torsk fra Karmsundet hadde betydelig høyere verdier av PAH-metabolitter i galle sammenlignet med torsk fra mer upåvirkede kystlokaliteter. Det viser at fisken fra Karmsundet var tydelig eksponert for PAH.
- Innholdet av PCB<sub>7</sub> i lever fra torsk samlet i Karmsundet var rundt eller svakt over SFTs grenseverdi for ubetydelig forurenset. Innhold av andre klorerte forbindelser som HCB, lindan og nedbrytningsprodukter av DDT var lavt.
- Innholdet av PAH-forbindelsen benzo(a)pyren i skallinnmat av krabbe var under Mattilsynets grenseverdi for sjømat på 10 µg benzo(a)pyren/kg våtvekt.
- Multivariate analyser av den relative sammensetningen av PAH-forbindelsene (PAH-profilen) i sedimentene i Karmsundet viser at prøvene i området ved Hydro Aluminium Karmøy har en noe annen sammensetning enn PAH-forurensete prøver andre steder i sundet. Det kan tyde på at det også er andre kilder til PAH-forurensningen i sundet uten at analysene gir noe grunnlag for å kvantifisere disse.
- Sammenlignes konsentrasjonene av PAH i blåskjell funnet i denne undersøkelsen med funn fra tilsvarende stasjoner gjort tidligere (1999 og 2003), var konsentrasjonene generelt lavere i 2008. På de mest påvirkede stasjonene var konsentrasjonen i 2008 opptil 10 ganger lavere enn tidligere.
- Resultatene viser en betydelig nedgang i PAH-innholdet i sedimentene på alle stasjoner over en 20-årsperiode. Man skal dog være litt forsiktig med denne tolkingen idet sedimentintervallet som ble prøvetatt i 1989 var 0-1 cm, mens det i 2008 var 0-5 cm (se kapittel 2.1.3). Hvis konsentrasjonen i sedimentlaget mellom 1 og 5 cm har lavere konsentrasjon enn 0-1 cm-laget, vil dette virke fortynnende og gi feil sammenligningsgrunnlag mellom 1989 og 2009. Imidlertid, den vertikale PAH-fordelingen i en sedimentkjerne (1 cm snitt) fra Karmsundet nordøst av Høgevarde ble analysert i 1989. Det var kun små variasjoner i PAH-konsentrasjonen i de øvre 5 cm.

## 6. Referanser

Aitchinson, J., 1986. The statistical analysis of compositional data. Chapman and Hall, London, 416 p.

Bjørnstad, A. og J. Beyer, 1999. PAH kartlegging i Karmsundet. Rogalandforskning. Rapport RF – 1999/164. 25s.

Grung M, Holth T, Jacobsen M, Hylland K., 2009. Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) Metabolites in Atlantic Cod Exposed via Water or Diet to a Synthetic Produced Water. Journal of Toxicology and Environmental Health - Part A - Current Issues 72(3-4):254-265.

Håvardstun, J., T. Bakke og K. Næs, 2009. Miljøundersøkelser – Umoe Karmsund. Risikovurderinger av sedimenter Trinn 1 og Trinn 2. NIVA-rapport, l.nr. 5716.

Karickhoff, S.W., 1981. Semiempirical estimation of sorption of hydrophobic pollutants on natural sediments and soils. Chemosphere 10, 833-846

Knutzen, J., K. Næs og B. Rygg, 1989. Tiltaksorientert overvåking av Karmsundet. Undersøkelse av sedimenter, bløtbunnsfauna og miljøgifter i organismer. SFT Overvåkingsrapport nr. 371/89. NIVA rapport l.nr. 2284.

Krahn, M.M., Burrows, D.G., Ylitalo, G.M., Brown, D.W., Wigren, C.A., Collier, T.K., Chan, S.L. & Varanasi, U., 1992. Mass-spectrometric analysis for aromatic-compounds in bile of fish sampled after the Exxon-Valdez oil-spill. Environmental Science and Technology, 26, 116-126.

SAS Institute Inc., 2006. JMP v.6.0.3. (computer program). SAS Institute Inc. Cary NC.

Tvedten, Ø.F., 2004. PAH og metallinnhold i blåskjell, torsk og krabbe fra Karmsundet, 2003. Rogalandforskning. Rapport RF- 2003/274. 19s + vedlegg.

Ward, J.H., 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. Journal of American Statistical Association, 58(301): 236-244.

## 7. Vedlegg - Analyseresultater

### Blåskjell:

Analysevariabel Metode	Prøvenr Enhet	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7	St.8	St.9	St.10
Tørstoff 3	% B	16	13	15	14	19	17	15	16	14	15
Naftalen H 2-4	µg/kg v.v.	<0,7	0,88	<0,7	0,73	1,1	4,4	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7
Acenaftylen H 2-4	µg/kg v.v.	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,61	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Acenaften H 2-4	µg/kg v.v.	0,51	1,2	2,8	4,7	6,7	54	9,1	4,9	6,8	6,2
Fluoren H 2-4	µg/kg v.v.	0,90	1,2	2,3	3,2	4,9	30	5,2	3,2	3,8	3,9
Dibenzotiofen H 2-4	µg/kg v.v.	<0,5	0,82	1,4	1,7	3,1	17	2,5	1,6	1,9	1,8
Fenantren H 2-4	µg/kg v.v.	8,3	17	32	37	71	380	55	38	49	43
Antracen H 2-4	µg/kg v.v.	<0,5	0,57	1,0	1,1	2,3	11	4,6	1,1	3,1	2,0
Fluoranten H 2-4	µg/kg v.v.	60	130	230	320	550	2200	290	300	190	100
Pyren H 2-4	µg/kg v.v.	19	44	67	92	170	870	100	50	63	31
Benz(a)antracen H 2-4	µg/kg v.v.	8,2	15	22	34	46	390	52	28	21	7,9
Chrysen H 2-4	µg/kg v.v. H	24	33	54	69	100	670	86	100	41	18
Benzo(b+j)fluoranten H 2-4	µg/kg v.v.	18	24	30	39	53	800	92	73	33	11
Benzo(k)fluoranten H 2-4	µg/kg v.v.	5,0	6,7	7,6	10	14	220	29	19	9,5	3,0
Benzo(e)pyren H 2-4	µg/kg v.v.	14	22	31	35	59	490	62	49	22	9,6
Benzo(a)pyren H 2-4	µg/kg v.v.	2,9	3,8	4,2	5,7	6,5	180	37	7,7	8,6	1,5
Perylen H 2-4	µg/kg v.v.	1,9	2,1	2,3	2,3	3,2	59	13	2,8	3,7	0,79
Indeno(1,2,3cd)pyren H 2-4	µg/kg v.v.	3,5	3,6	5,2	5,5	6,3	88	34	11	9,4	2,0
Dibenz(ac+ah)antrac. H 2-4	µg/kg v.v.	0,61	1,0	1,1	1,3	1,8	31	7,2	2,2	1,8	<0,5
Benzo(ghi)perylene H 2-4	µg/kg v.v.	4,5	5,4	8,5	8,5	10	110	35	10	10	3,1
sum PAH Beregnet	µg/kg v.v.	<173,52	<312,77	<503,6	<671,23	<1109,4	6605,01	<914,8	<702,7	<478,8	<246,49
sum PAH16 Beregnet	µg/kg v.v.	<157,12	<287,85	<468,9	<632,23	<1044,1	6039,01	<837,3	<649,3	<451,2	<234,3
sum KPAH Beregnet	µg/kg v.v.	<62,91	87,98	<124,8	165,23	228,7	2383,4	<337,9	<241,6	<125	<44,6

SUM PAH16 omfatter flg forbindelser: naftalen, acenaftylen, acenaften, fluoren, fenantren, antracen, fluoranten, pyren, benz(a)antracen, chrysen, benzo(b+j)fluoranten, benzo(k)fluoranten, benzo(a)pyren, indeno(1,2,3-cd)pyren, dibenz(a,c+a,h)antracen, benzo(ghi)perylene.

SUM KPAH er summen av benz(a)antracen, benzo(b+j+k)fluoranten, benzo(a)pyren, indeno(1,2,3-cd)pyren, dibenz(a,c+a,h)antracen, chrysen og naftalen<sup>1</sup>. Disse har potensielt kreftfremkallende egenskaper i mennesker i flg International Agency for Research on Cancer, IARC (1987, Chrysen og naftalen fra 2007). De tilhører IARC's kategorier 2A + 2B (sannsynlig + trolig carcinogene). Chrysen og naftalen ble inkludert i våre rapporter f.o.m. 18.09.2008.

SUM PAH er summen av alle PAH-forbindelser som inngår i denne rapporten.

<sup>1</sup> Bare a,h-isomeren har potensielt kreftfremkallende egenskaper



## Sedimenter:

Prøvenr Analysevariabel Enhhet Metode	K 2	K 3	K 4	K 5	K 6	K 7	K 10	K 11	K 12	K 13
Tørrstoff % B 3	50,2	59,1	47,6	59,5	54,8	54,6	60,6	59,8	63,6	48,7
Kornfordeling <63µm % t.v. Intern*	69	13	25	6	11	26	43	22	12	43
Karbon, org. total µg C/mg TS G 6	23,4	17,6	32,6	12,7	51,0	27,2	17,7	15,4	6,2	13,1
PCB-28 µg/kg t.v. H 3-3	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<2
PCB-52 µg/kg t.v. H 3-3	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1,2	<0,5	1,9	<0,5	<2
PCB-101 µg/kg t.v. H 3-3	1,3	<0,5	1,2	<0,5	<0,5	3,3	0,88	<0,5	<0,5	<0,5
PCB-118 µg/kg t.v. H 3-3	0,90	<0,5	1,4	<0,5	<0,5	3,0	0,95	<0,5	<0,5	<0,5
PCB-153 µg/kg t.v. H 3-3	2,9	1,6	<5	<0,5	<0,7	3,3	1,8	<1,5	<2	<1
PCB-138 µg/kg t.v. H 3-3	2,7	1,6	1,9	<0,5	<0,7	4,0	1,9	0,54	<0,5	<0,6
PCB-180 µg/kg t.v. H 3-3	1,7	1,2	0,69	<0,5	<0,5	0,75	0,69	<0,5	<0,5	<0,5
Sum PCB µg/kg t.v. Beregnet	<10,5	<6,4	<11,19	<3,5	<3,9	<16,05	<7,22	<5,94	<5	<7,1
Seven Dutch µg/kg t.v. Beregnet	<10,5	<6,4	<11,19	<3,5	<3,9	<16,05	<7,22	<5,94	<5	<7,1
Naftalen i sediment µg/kg t.v. H 2-3	29	4,8	84	4,6	8,0	23	140	34	20	14
Acenaftylen µg/kg t.v. H 2-3	24	<2	10	<2	3,3	<2	5,5	<2	<2	<2
Acenaften µg/kg t.v. H 2-3	49	9,1	96	52	18	57	360	73	70	28
Fluoren µg/kg t.v. H 2-3	69	6,0	67	21	11	32	200	41	52	15
Dibenzotiofen µg/kg t.v. H 2-3	31	2,5	34	6,4	5,0	15	90	18	20	6,4
Fenantren µg/kg t.v. H 2-3	480	44	540	130	83	310	1500	320	360	120
Antracen µg/kg t.v. H 2-3	110	7,4	110	15	16	95	280	64	38	15
Fluoranten µg/kg t.v. H 2-3	760	100	1200	240	170	650	2700	590	590	230
Pyren µg/kg t.v. H 2-3	640	91	1000	210	140	570	2300	520	510	210
Benz(a)antracen µg/kg t.v. H 2-3	450	55	760	130	93	1300	2100	440	400	140
Chrysen µg/kg t.v. H 2-3	450	75	740	160	120	1600	2000	510	440	220
Benzo(b+j)fluoranten µg/kg t.v. H 2-3	920	220	1700	320	430	2000	4800	1200	1100	530
Benzo(k)fluoranten µg/kg t.v. H 2-3	340	81	560	130	160	800	1500	450	390	220
Benzo(e)pyren µg/kg t.v. H 2-3	520	140	890	190	260	1000	2200	590	540	270
Benzo(a)pyren µg/kg t.v. H 2-3	540	100	980	190	240	1100	2900	760	680	300
Perylen µg/kg t.v. H 2-3	140	29	250	55	69	290	650	170	160	74
Indeno(1,2,3cd)pyren µg/kg t.v. H 2-3	560	130	1100	170	290	1100	3400	780	720	330
Dibenz(ac+ah)antrac. µg/kg t.v. H 2-3	91	21	180	27	42	190	610	110	120	48
Benzo(ghi)perylen µg/kg t.v. H 2-3	440	140	870	170	230	870	2500	640	550	300
Sum PAH µg/kg t.v. Beregnet	6643	<1257,8	11171	<2223	2388,3	<12004	30235,5	<7312	<6762	<3072,4
Sum PAH16	5952	<1086,3	9997	<1971,6	2054,3	<10699	27295,5	<6534	<6042	<2722

## Sedimenter, metaller:

Prøvenr Analyseva- riabel Enhet Metode	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K10	K11	K12	K13
Aluminium µg/g E 9-5	6000	3041	5550	1886	3300	6527	7160	7617	6626	11130
Arsen µg/g E 9-5	11,0	10,7	19,4	10,7	10,5	11,7	6,67	7,27	10,5	10,7
Vismut µg/g E 9-5*	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025
Kadmium µg/g E 9-5	0,4	0,3	0,8	0,3	0,6	0,5	0,8	0,3	0,2	<0,2
Kobolt µg/g E 9-5	4,47	2,93	3,91	1,59	3,78	4,01	3,73	4,55	4,72	6,38
Krom µg/g E 9-5	17,3	8,89	20,7	7,02	9,47	19,2	17,7	17,1	16,5	24,25
Kobber µg/g E 9-5	47,4	19,2	50,4	6,25	19,8	36,7	18,1	10,6	7,33	12,9
Kvikksølv µg/g E 4-3	0,17	0,047	0,19	0,021	0,020	0,060	0,076	0,031	0,021	0,039
Molybden µg/g E 9-5	1,41	0,29	2,85	<0,005	1,95	2,57	2,18	1,21	0,848	1,19
Nikkel µg/g E 9-5	15,7	6,13	15,5	5,09	8,91	14,4	13,4	9,43	8,11	15,1
Bly µg/g E 9-5	47,3	20,6	112	9,33	17,1	23,0	30,2	15,8	13,2	20,1
Antimon µg/g E 9-5	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,09	<0,02	<0,02	0,08	<0,02	<0,02
Vanadium µg/g E 9-5	29,3	22,2	26,4	9,80	15,6	25,1	26,1	23,2	19,7	39,6
Sink µg/g E 9-5	69,1	33,9	439	18,0	32,8	56,4	244,6	41,2	37,7	44,7

**Torsk, lever:**

Analysevariabel	Enhet	Prøvenr Metode	1 Høgevarde torsk	2 Bøvågen torsk	3 Kroknes torsk
Tørrstoff	%	B 3	38	51	47
Fett	% pr.v.v.	H 3-4	23	40	39
PCB-28	µg/kg v.v.	H 3-4	1,3	2,8	5,2
PCB-52	µg/kg v.v.	H 3-4	2,5	5,7	7,9
PCB-101	µg/kg v.v.	H 3-4	19	29	29
PCB-118	µg/kg v.v.	H 3-4	69	100	75
PCB-105	µg/kg v.v.	H 3-4	20	30	24
PCB-153	µg/kg v.v.	H 3-4	230	290	160
PCB-138	µg/kg v.v.	H 3-4	140	190	110
PCB-156	µg/kg v.v.	H 3-4	15	18	11
PCB-180	µg/kg v.v.	H 3-4	65	84	40
PCB-209	µg/kg v.v.	H 3-4	<1	<1	<1
Sum PCB	µg/kg v.v.		<562,8	<750,5	<463,1
Beregnet					
Seven Dutch	µg/kg v.v.		526,8	701,5	427,1
Beregnet					
Pentaklorbenzen	µg/kg v.v.	H 3-4	0,51	<0,5	0,55
Alfa-HCH	µg/kg v.v.	H 3-4	<1	1,6	1,6
Hexaklorbenzen	µg/kg v.v.	H 3-4	3,0	4,9	6,8
Gamma-HCH	µg/kg v.v.	H 3-4	<1	<1	<1
Oktaklorstyren	µg/kg v.v.	H 3-4	<1	<1	<1
4,4-DDE	µg/kg v.v.	H 3-4	24	41	62
4,4-DDD	µg/kg v.v.	H 3-4	4,4	5,6	10

**Krabbe, innmat:**

Analysevariabel	Enhet	Prøvenr Metode	4 Høgevarde krabbe	5 Bukkøya krabbe	6 Kroknes krabbe
Tørrstoff	%	B 3	24,26	23,05	23,75
Fett	% pr.v.v.	H 3-4	8	7,7	6,9
Naftalen	µg/kg v.v.	H 2-4	6,6	2,7	3,1
Acenaftylen	µg/kg v.v.	H 2-4	<0,5	<0,5	<0,5
Acenaften	µg/kg v.v.	H 2-4	8,5	3,4	1,7
Fluoren	µg/kg v.v.	H 2-4	12	4,4	2,1
Dibenzotiofen	µg/kg v.v.	H 2-4	3,8	1,7	1,1
Fenantren	µg/kg v.v.	H 2-4	49	16	7,0
Antracen	µg/kg v.v.	H 2-4	2,0	0,63	<0,5
Fluoranten	µg/kg v.v.	H 2-4	38	14	6,3
Pyren	µg/kg v.v.	H 2-4	20	7,5	3,9
Benz(a)antracen	µg/kg v.v.	H 2-4	12	3,1	3,4
Chrysen	µg/kg v.v.	H 2-4	19	7,9	8,8
Benzo(b+j)fluoranten	µg/kg v.v.	H 2-4	11	4,3	4,8
Benzo(k) fluoranten	µg/kg v.v.	H 2-4	2,5	1,2	0,86
Benzo(e)pyren	µg/kg v.v.	H 2-4	3,2	1,2	0,70
Benzo(a)pyren	µg/kg v.v.	H 2-4	2,7	1,0	1,5
Perylen	µg/kg v.v.	H 2-4	<0,5	<0,5	<0,5
Indeno(1,2,3cd)pyren	µg/kg v.v.	H 2-4	0,67	<0,5	<0,5
Dibenz(ac+ah)antrac.	µg/kg v.v.	H 2-4	<0,5	<0,5	<0,5
Benzo(ghi)perylen	µg/kg v.v.	H 2-4	1,1	<0,5	<0,5
Sum PAH	µg/kg v.v.		<193,57	<71,53	<48,26
Beregnet					
Sum PAH16	µg/kg v.v.		<186,07	<68,13	<45,96
Beregnet					
Sum KPAH	µg/kg v.v.		<54,97	<21,2	<23,46
Beregnet					

**PAH metabolitter i galle fra torsk St. Krokaneset (n=25):**

Analysevariabel	Prøvenr	Enhet	Metode	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
3-OH-Benzo(a)pyren	4,0	µg/kg	v.v. Intern*	<2	<2	<2	<2	3,1	<2	2,1	<2	<2	3,4	m	2,7	<2	m	2,3	4,1	m	<2	<2	<2
2-OH-Naftalen	i	µg/kg	v.v. Intern*	i	i	i	i	i	i	i	i	i	i	m	i	i	m	i	i	m	i	i	i
1-OH-Fenantren	48	µg/kg	v.v. Intern*	25	24	24	23	26	23	49	16	7,2	52	m	18	7,4	m	28	121	m	15	30	38
1-OH-Pyren	413	µg/kg	v.v. Intern*	2,4	184	184	268	328	155	585	212	96	254	m	225	97	m	370	1540	m	150	179	437

Analysevariabel	Prøvenr	Enhet	Metode	21	22	23	24	25	26	27	28
3-OH-Benzo(a)pyren	5,7	µg/kg	v.v. Intern*	5,7	5,7	<2	<2	16	5,3	4,3	<2
2-OH-Naftalen	i	µg/kg	v.v. Intern*	i	i	i	i	i	i	i	i
1-OH-Fenantren	42	µg/kg	v.v. Intern*	61	5,2	17	149	57	83	83	<2
1-OH-Pyren	580	µg/kg	v.v. Intern*	824	47	256	2230	835	1260	8,4	8,4

**PAH metabolitter i galle fra torsk St. Høgevarde (n=8):**

Analysevariabel	Prøvenr	Enhet	Metode	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
3-OH-Benzo(a)pyren	<2	µg/kg	v.v. Intern*	<2	2	<2	5,9	26	6,0	m	12	m	m	9,4
2-OH-Naftalen	i	µg/kg	v.v. Intern*	i	i	i	i	i	i	m	i	m	m	i
1-OH-Fenantren	146	µg/kg	v.v. Intern*	123	<2	190	726	123	264	m	264	m	m	148
1-OH-Pyren	1250	µg/kg	v.v. Intern*	1330	501	3000	16000	2020	3780	m	3780	m	m	4070

**PAH metabolitter i galle fra torsk St. Bøvågen (n=15):**

Analysevariabel	Prøvenr	Enhet	Metode	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
3-OH-Benzo(a)pyren	7,9	µg/kg	v.v. Intern*	9,0	<2	<2	8,4	<2	<2	<2	27	<2	6,3	<2	<2	3,5	<2	m	4,3
2-OH-Naftalen	i	µg/kg	v.v. Intern*	i	i	i	i	i	i	i	i	i	i	i	i	i	i	m	i
1-OH-Fenantren	137	µg/kg	v.v. Intern*	135	23	18	139	66	90	441	17	206	61	61	12	102	81	m	164
1-OH-Pyren	1910	µg/kg	v.v. Intern*	1570	242	281	1800	654	2010	7720	292	2670	694	694	113	1270	1140	m	2420

m: Analyseresultat mangler, ikke nok galle til analyse.

i : Forbindelsen er dækket av en interferens i kromatogrammet.

\*: Metoden er ikke akkreditert.

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

NIVA gir offentlig vannforvaltning, næringsliv og allmennheten grunnlag for god vannforvaltning gjennom oppdragsbasert forsknings-, utrednings- og utviklingsarbeid. NIVA kjennetegnes ved stor faglig bredde og godt kontaktnett til fagmiljøer i inn- og utland. Faglig tyngde, tverrfaglig arbeidsform og en helhetlig tilnæringsmåte er vårt grunnlag for å være en god rådgiver for forvaltning og samfunnsliv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo  
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00  
[www.niva.no](http://www.niva.no) • [post@niva.no](mailto:post@niva.no)