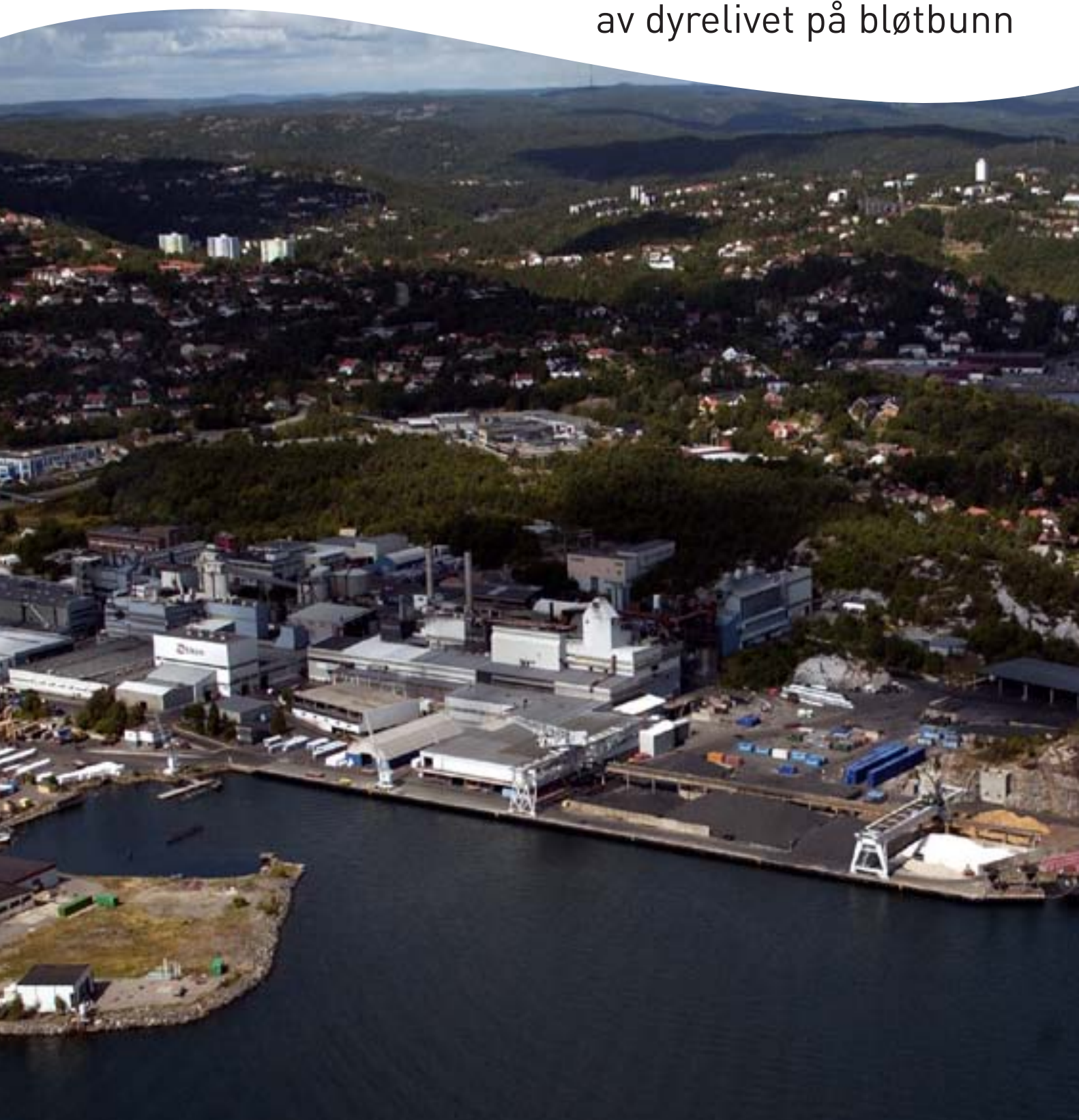


Overvåking av det nære sjøområdet  
til Elkem i Kristiansand i 2010.  
Undersøkelse av konsentrasjoner av  
metaller og PAH i vann, blåskjell og  
sedimenter samt sammensetningen  
av dyrelivet på bløtbunn



**Hovedkontor**

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

**Sørlandsavdelingen**

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

**Østlandsavdelingen**

Sandvikaveien 59  
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**

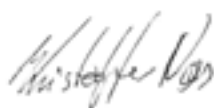
Pirsenteret, Havnegata 9  
Postboks 1266  
7462 Trondheim  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 73 54 63 87

Tittel Overvåking av det nære sjøområdet til Elkem i Kristiansand i 2010. Undersøkelse av konsentrasjoner av metaller og PAH i vann, blåskjell og sedimenter samt sammensetningen av dyrelivet på bløtbunn	Løpenr. (for bestilling) 6145-2011	Dato 24.3.2011
	Prosjektnr. O-10214	Sider 35
Forfatter(e) Kristoffer Næs, Jarle Håvardstun, Eivind Oug og Ian Allan	Fagområde Marine miljøgifter	Distribusjon Fri
	Geografisk område Vest-Agder	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Elkem Carbon AS og Elkem Solar AS	Oppdragsreferanse Bente Sundby-Haaland
-------------------------------------------------------	-------------------------------------------

<p>Sammendrag</p> <p>Bedriftene Elkem Carbon AS og Elkem Solar AS gjennomfører et overvåkingsprogram i det bedriftsnære sjøområdet i Kristiansandsfjorden. Programmet supplerer og er koplet opp mot myndighetenes generelle overvåking av Kristiansandsfjorden. I 2010 ble analyser av vannmasser, blåskjell, sedimenter og økologisk tilstand av bløtbunnsfaunaen undersøkt. Resultatene viste at oppløst metallinnhold i vannmassene for nikkel, kobber og kobolt kunne være opp mot 2 ganger nivået som observeres på referansestasjonen i Flekkerøygapet, mens PAH-innholdet i vannmassene kunne være 3-5 ganger høyere enn på referansestasjonen. Metallinnholdet i blåskjell var generelt lavt til svakt forhøyet. Det samme gjaldt for PAH-innholdet i skjellene. Metallinnholdet i sedimentene varierte betydelig, mens PAH-innholdet var generelt meget høyt. Elkem er trolig hovedkilden for PAH, men sannsynligvis ikke for metaller. Man kunne muligens spore tilførsler fra Elkem Solar AS på innhold av kalsium i sedimentene. Den økologiske tilstanden til bløtbunnsfaunaen var god til svært god.</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Kristiansandsfjorden</li> <li>Sedimenter</li> <li>Vannmasser</li> <li>Blåskjell</li> </ol>	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Kristiansand Fjord</li> <li>Sediments</li> <li>Water masses</li> <li>Blue mussels</li> </ol>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



*Kristoffer Næs*  
Prosjektleder



*Torgeir Bakke*  
Forskningsleder



*Rainer G. Lichtenthaler*  
Seniorforsker

## Forord

NIVA gjennomfører en langsiktig overvåking for Elkem Carbon AS og Elkem Solar AS i Kristiansand. Hovedkontakt for bedriftene er Bente Sundby Håland.

Ved NIVA har Jarle Håvardstun, Kristoffer Næs og Ian Allan gjennomført feltarbeidet og skrevet rapporten bortsett fra rapporteringen av økologisk tilstand på bløtbunn som er gjort av Eivind Oug. Ian Allan har hatt ansvar for og skrevet om passive prøvetakere. NIVAs laboratorium har gjennomført analysene.

Alle takkes for innsatsen.

Grimstad, 24. mars 2011

*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 og formål	8
1.2 Tidligere undersøkelser	8
<b>2. Materiale og metoder</b>	<b>9</b>
2.1 Metaller og PAH i vannmasser	9
2.1.1 Bakgrunn	9
2.1.2 Stasjonsplassering, innsamling og metoder	9
2.2 Metaller og PAH i blåskjell	10
2.2.1 Bakgrunn	10
2.2.2 Stasjonsplassering, innsamling og metoder	11
2.3 Innhold av metaller og PAH i sedimenter	11
2.3.1 Bakgrunn	11
2.3.2 Stasjonsplassering, innsamling og metoder	12
2.4 Sammensetning av dyrelivet på bløtbunn	13
2.4.1 Bakgrunn	13
2.4.2 Stasjonsplassering, innsamling og metoder	13
2.5 Bedømming av miljøtilstand	14
2.5.1 Klifs klassifiseringssystem for blåskjell og sedimenter	14
2.5.2 Klassifisering av økologisk tilstand i sedimentene	15
<b>3. Resultater og diskusjon</b>	<b>16</b>
3.1 Metaller og PAH i vannmassene	16
3.1.1 DGT	16
3.1.2 PAH-forbindelser i SPMD	16
3.2 Metaller og PAH i blåskjell	19
3.3 Metaller og PAH i sedimenter	19
3.4 Økologisk tilstand i sedimentene	21
<b>4. Referanser</b>	<b>24</b>
<b>5. Vedlegg: Analyseresultater</b>	<b>26</b>

---

## Sammendrag

Kristiansandsfjorden har vært og er tildels fremdeles sterkt forurenset av utslipp fra den lokale industrien. Fjorden er imidlertid i en utvikling mot bedre miljøtilstand etter at industrien har gjennomført utslippsbegrensende tiltak. Forurensningsmyndighetene har nå satt i gang et overvåkingsprogram som skal dekke fjordområdet som sådan. I den sammenheng har Elkem Carbon AS og Elkem Solar AS igangsatt et eget overvåkingsprogram for det mer bedriftsnære området. Problemstillingene rundt utslipp fra Elkem Carbon er i hovedsak knyttet til PAH og effekten av reduksjon av disse utslippene, mens problemstillingen rundt Elkem Solar AS er rettet mot påvirkning av eventuelle metallutslipp. Overvåkingen for Elkem er planlagt frem til 2016.

Hovedformålene med undersøkelsene er:

- Gi grunnlag for å påvise eventuelle endringer i miljøstatus i det nære sjøområdet til Elkems to bedrifter, nemlig Elkem Carbon AS og Elkem Solar AS, for den siste knyttet til etablering av renseanlegg ved bedriften.
- Belyse økologiske effekter av forurensningen i det nære sjøområdet til de samme to bedriftene.
- Gi et bedriftsspesifikt, nødvendig supplement til myndighetenes mer generelle overvåking av resipienten i Kristiansandsfjorden.

Undersøkelsene har omfattet målinger i vannmasser av metaller og PAH ved hjelp av passive prøvetakere (DGTer og SPMDer) og blåskjell, metaller og PAH i sedimenter, samt undersøkelser av økologisk tilstand av dyrelivet i bunnsedimentene.

### Overordnet konklusjon

Undersøkelser i 2010 av metaller og PAH i vannmasser, blåskjell, sedimenter og økologisk tilstand av bløtbunnsfaunaen i nærområdene til Elkem i Kristiansand har vist at metallinnhold i vannmassene og blåskjell var relativt lavt. Påvirkningen fra PAH var mer tydelig, hvor blåskjell var svakt til markert påvirket bortsett fra helt nær hovedutslippsstedet hvor påvirkningen var større. Metallinnholdet i sedimentene varierte betydelig, mens PAH-innholdet var generelt meget høyt. Den økologiske tilstanden til bløtbunnsfaunaen var god til svært god.

Overvåkingen har gitt et viktig og godt supplement til myndighetenes overvåkingsprogram og representerer et godt datagrunnlag for påvisning av endringer i miljøtilstand over tid.

### Delkonklusjoner

**Vannmassemålinger** med de passive prøvetakerne (DGT=Diffusive Gradients in Thin Films) og SPMD (Semi Permeable Membrane Devices) fanger opp den løste fraksjonen av henholdsvis metaller og PAH. Det eksisterer ikke miljømessige grenseverdier for den løste fraksjonen slik at man kan ikke beregne miljøtilstandsklasser. Metoden anvendes derfor primært i overvåkingssammenheng. Det var relativt liten forskjell i metallverdiene mellom stasjonene i Fiskåbukta. Sammenlignes resultatene med observasjoner fra Flekkerøygapet (referansestasjon), ser man at konsentrasjonene i Fiskåbukta var opptil en faktor på to høyere for kobolt, kobber og nikkell, mens konsentrasjonene for andre elementer var relativt like. Kobolt, kobber og nikkell er elementer som har vært knyttet til utslipp fra Xstrata Nikkelverk AS, og det er sannsynlig at denne påvirkningen er hovedgrunnen til forskjellene ved Flekkerøygapet.

SPMD-målingene av PAH kan sammenlignes med målingene fra myndighetenes overvåkingsprogram for Kristiansandfjorden. Konsentrasjonene som da (2010) ble målt i Marvika, ved Kjerkebåen og ved Flekkerøygapet var i gjennomsnitt (median) en faktor på henholdsvis 4.7, 2.7 og 5.4 lavere enn det som ble målt ved Lumber (nær hovedutløp fra Elkem Carbon).

**Blåskjellanalysene** viste generelt sett relativt lave verdier av metaller. Alle stasjonene i Fiskåbukta kunne karakteriseres som lite/ubetydelig (klasse I) til moderat (klasse II) forurenset av metaller. Nivåene var også tilsvarende det som ble observert i skjell fra Flekkerøya/Kjeholmen i 2010.

Eventuelle forhøyede konsentrasjoner av elementene silisium og kalsium har vært antatt å kunne være en indikasjon på påvirkning fra Elkem Solar AS. Kalsiumverdiene var i samme konsentrasjonsnivå som skjellene fra Flekkerøya/Kjeholmen, mens silisium var en faktor på to høyere på stasjonene i Fiskåbukta sammenlignet med de fra referansestasjonen ved Flekkerøya/Kjeholmen.

Konsentrasjoner av PAH i blåskjell viste i stor grad lite/ubetydelig til moderat forurensning (klasse I til II), bortsett fra skjellene fra Lumber. Denne stasjonen ligger nær hovedutløpet fra Elkem Carbon AS og de forhøyede PAH-verdiene representerer påvirkning fra bedriften. Sammenlignet med referansestasjonen ved Flekkerøya/Kjeholmen var verdiene på de 3 stasjonene i Fiskåbukta en faktor på 4-20 ganger høyere.

**Sedimentundersøkelsene** viste konsentrasjoner av metaller tilsvarende alle tilstandsklassene fra bakgrunn til svært dårlig i Klifs klassifiseringssystem. Imidlertid var det særlig kobber, nikkel, bly og dels også arsen som forekom i de høyeste klassene svarende til moderat til svært dårlig miljøtilstand. Dette er metaller som i hovedsak neppe skyldes utslipp fra Elkem.

Også for sedimentene ble analyser av kalsium og silisium inkludert som en indikator på påvirkning fra Elkem Solar AS. Det var betydelige forskjeller mellom stasjonene nær utslippet fra Elkem Solar AS. Det er grunn til å anta at de forhøyede verdiene av kalsium kan skyldes utslipp fra bedriften.

Bildet var ikke så klart for silisium. Her er det kun en stasjon som skilte seg ut. Det kan imidlertid være vanskelig å bruke silisium som indikator på utslippet da dette elementet er representert i sandpartikler som er en naturlig del av sedimentprøvene.

PAH innholdet i sedimentene var høye særlig på de Elkem-nære stasjonene og med meget stor variabilitet. Det er tydeligvis sterke gradienter i området bort fra Elkem-området.

**Økologisk tilstand** av bløtbunnsfaunaen ble undersøkt på sedimentstasjonene utenfor Elkem Carbon AS, sentralt i Fiskåbukta og ved Timlingene i indre Fiskåbukta. På alle stasjonene var det en artsrik bunnfauna. På basis av systemet for klassifisering av miljøtilstand i vann, som er under utvikling i Vanndirektivet, karakteriseres den økologiske tilstanden som "god" ved Elkem Carbon AS og ved Timlingene, og som "svært god" sentralt i Fiskåbukta. Ved Elkem Carbon og i Fiskåbukta var faunaen imidlertid dominert av arter som har høye toleranser for miljøpåvirkninger. Spesielt stasjonen nær Elkem Carbon AS var preget av høye individtettheter av svært tolerante arter. Det er naturlig å tolke dominansen av tolerante arter som en effekt av høyt innhold av organisk stoff og enkelte metaller (kobber, nikkel, bly) og høye konsentrasjoner av PAH i bunnsedimentet ved Elkem Carbon. Sammenlignet med tidligere prøvetaking i Fiskåbukta (1983, 2001, 2006) indikerte bunnfaunaen at miljøtilstanden var blitt bedre.

## Summary

**Title:** Monitoring of the Kristiansand fjord near Elkem in 2010. Investigation of metals and PAHs in water, blue mussel and sediments, and investigations of the ecological conditions of the soft bottom fauna.

**Year:** 2011

**Authors:** Kristoffer Næs, Jarle Håvardstun, Eivind Oug and Ian Allan

**Source:** Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 978-82-577-5880-6

Elkem Carbon AS and Elkem Solar AS are conducting a monitoring program in the Kristiansand fjord near their factories. The program complements, and is connected to, the government's overall monitoring of the Kristiansand fjord. In 2010 the watermasses, blue mussels, sediments and ecological condition of the soft bottom fauna were investigated. The results showed that the dissolved metal content in the water for nickel, copper and cobalt could be up to twice the level observed at the reference station at Flekkerøy, while the PAH content in the water could be 3-5 times higher than at the reference station. Metal content in mussels was generally low to slightly elevated. The same was true for the PAH content in mussels. Metal content in sediments varied significantly, while the PAH content was generally very high. Elkem is probably the main source of PAHs, but probably not the source for metals. One could probably trace the inputs from Elkem Solar AS by the content of calcium in the sediments. The ecological condition of the macrobenthic fauna was good to very good.

# 1. Innledning

## 1.1 Bakgrunn og formål

Kristiansandsfjorden har vært og er tildels fremdeles sterkt forurenset av utslipp fra den lokale industrien. Fjorden er imidlertid i en utvikling mot bedre miljøtilstand etter at industrien har gjennomført utslippsbegrensende tiltak (Berge mfl. 2007). Forurensningsmyndighetene har nå igangsatt et overvåkingsprogram som skal dekke fjordområdet som sådan. I den sammenheng har Elkem Carbon AS fått i pålegg av Klima- og forurensningsdirektoratet (Klif) å utarbeide et overvåkingsprogram for det mer bedriftsnære området. Problemstillingene rundt utslipp fra Elkem Carbon er i hovedsak knyttet til PAH (Ruus mfl. 2005) og effekten av reduksjon av disse utlippene.

Klifs utslipptillatelse gitt til Elkem Solar AS var basert på en risikovurdering (Schaanning og Næs 2006a) av utslipp fra denne bedriften, og krav om etablering av et overvåkingsprogram i fjorden i bedriftens nærområde (Schaanning og Næs 2006b). Undersøkelsene som rapporteres her omfatter relevante deler av dette forslaget.

Forurensningsmyndighetene har igangsatt et overvåkingsprogram i sentrale deler av Kristiansandsfjordområdet. Det er planlagt frem til 2013. Første runde i denne overvåkingen er rapportert av Schøyen mfl. 2010.

Hovedformålene med de sjønære undersøkelsene til Elkem er:

- Gi grunnlag for å påvise endringer i miljøstatus i det nære sjøområdet til Elkems to bedrifter; Elkem Carbon AS og Elkem Solar AS.
- Belyse økologiske effekter av forurensningen i det nære sjøområdet til de samme to bedriftene.
- Gi et bedriftsspesifikt, nødvendig supplement til myndighetenes mer generelle overvåking av resipienten Kristiansandsfjorden.
- Gi grunnlag for å påvise mulige endringer i miljøstatus i sedimentet i nærområdet til Elkem Solar AS knyttet til etablering av renseanlegg ved bedriften.

## 1.2 Tidligere undersøkelser

I Kristiansandsfjorden er det gjennomført en rekke undersøkelser av miljøgifter i sedimenter og organismer siden 1980-tallet. En samlet fremstilling av fordeling og konsentrasjoner i bunnsedimenter er gitt av Næs og Rygg (2001). De senere større undersøkelsene knyttet til forurensningsstatus og kostholdsproblematikk har blitt gjennomført i 1996 (Knutzen mfl. 1998) og i 2006 (Berge mfl. 2007). Fortsatt representerer dioksiner og PAH et problem for fisk og skalldyr. I Hanneviksbukta ble det etablert bunnfaunastasjoner ved tildekkingen av sedimentene (Oug mfl. 2004) som har vært fulgt opp i 2005 og 2006 for å følge reetableringen av naturlig bunnfauna (Berge og medarbeidere 2007). Berge konkluderte i 2007 med at det fortsatt er behov for videre overvåking i Kristiansandsfjorden. Dette overvåkingsprogrammet er ett supplement til myndighetenes overvåkingsprogram. Første del av dette programmet ble gjennomført i 2010 og er rapportert i Schøyen mfl. 2010. Det er i denne undersøkelsen også tatt sedimentprøver fra fire stasjoner og bunnfaunaprøver fra en stasjon i nærområdet til Elkem. Disse vil bli sammenlignet med tilsvarende prøver fra Kristiansandsfjorden som skal prøvetas gjennom myndighetenes program i 2012. Dette vil da til sammen danne ett godt grunnlag for å kunne beskrive utviklingen av eventuelle tidstrender for miljøgiftene i Kristiansandsfjorden.



## 2. Materiale og metoder

I henhold til programforslaget for undersøkelsene i regi av Elkem Carbon AS og Elkem Solar AS, er det planlagt et overvåkingsprogram frem til 2016, (**Tabell 1**). For overvåkingen av blåskjell og passive prøvetakere (SPMD) var det planlagt to innsamlingsrunder i 2010. På grunn av isforholdene i indre deler av Kristiansandsfjorden har det bare vært mulig å gjennomføre en av disse rundene. Dette vil imidlertid bli kompensert i 2011-overvåkingen.

**Tabell 1.** Planlagt frekvens for overvåkingen i regi av Elkem Carbon AS og Elkem Solar AS.

Aktivitet	Antall stasjoner	2010 frekvens	2011 frekvens	2012 frekvens	2013 frekvens	2014 frekvens	2015 frekvens	2016 frekvens
Blåskjell/SPMD	3	2	3	1	1	1	1	1
Sediment	2 (EC*) +3 (ES**)	1		1				1
Bløtbunnsfauna	2	1		1				1
Rapportering			X	X	X	X	X	X

\*EC = Primært Elkem Carbon AS.

\*\*ES = Primært Elkem Solar AS.

### 2.1 Metaller og PAH i vannmasser

#### 2.1.1 Bakgrunn

Konsentrasjoner i vannmassene ble belyst ved hjelp av passive prøvetakere, nemlig såkalte DGTer (Diffusive Gradients in Thin films) og SPMDer (Semi Permeable Membran Devices). DGTene fanger opp den ioniske formen av metallene samtidig som de integrerer konsentrasjoner over tid. Tilsvarende gjelder for SPMDene, men hvor disse anvendes for å måle konsentrasjonen av hydrofobe forbindelser som PAH i vannmassene.

#### 2.1.2 Stasjonsplassering, innsamling og metoder

De passive prøvetakerne ble utplassert i vannmassene på ca. 2 m dyp og eksponert i 32 dager i perioden 27.8.2010-28.9.2010. Prøvetakingsstasjonene er vist på kart i **Figur 1**. Koordinater for stasjonene er vist i **Tabell 2**.

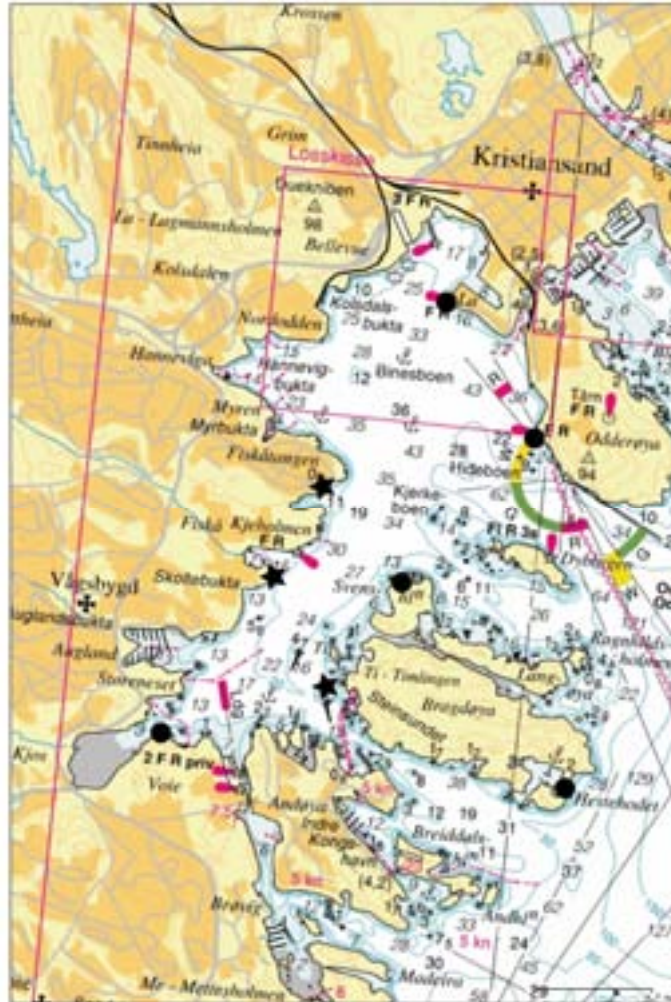
**Tabell 2.** Stasjoner for passive prøvetakere med posisjoner (WGS84).

Stasjonsnavn	Breddegrader	Lengdegrader
Fiskåtangen	N 58°09.078	Ø 07°02.065
Lumber	N 58°07.707	Ø 07°59.232
Timlingen	N 58°04.794	Ø 07°58.443

DGTene fanger den ioniske formen av metaller i opptakslaget gjennom en chelanterende gel. Før analysene ekstraheres gelen med HNO<sub>3</sub>. Denne løsningen fortynnes før ICP-MS-analyse for aluminium (Al), kalsium (Ca), kadmium (Cd), kobolt (Co), krom (Cr), kobber (Cu), jern (Fe), nikkel (Ni), bly (Pb) og sink (Zn). Ut fra vanntemperaturen i eksponeringsperioden og opptakesrater beregnes gjennomsnittskonsentrasjonen i vannmassene.

SPMDer består av tynne plastremser fylt med ca. 1 g fett som fanger opp den fritt løste fraksjonen av lipofile forbindelser i vann. Prøvetakerne ble holdt frosne før og etter eksponering. På laboratoriet ble SPMDene ekstrahert ved dialyse med heksan i henhold til standardprotokoller etablert ved NIVA. Prøvene ble rensert og analysert med en kombinasjon av GC/MS og GC/ECD for polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH). Før eksponering ble prøvene tilsatt referanseforbindelser (PRCs =

Performance Reference Compound) som er fem deutererte PAHer. Disse lekker ut fra SPMDene under eksponering og brukes til å estimere mengden av vann ekstrahert under eksponeringen (liter/døgn) som igjen er nødvendig for å beregne vannkonsentrasjonen i eksponeringsperioden. En kontrollprøve ble brukt til å vurdere startkonsentrasjonen av PRC og potensiell forurensing av prøvetakerne. Den blir kun eksponert i luft ved utsett og opptak av de passive prøvetakerne. Den oppbevares siden frossen og i lukket beholder. Med kunnskap om eksponering, prøvetakingsperiode og akkumulert masse, er det mulig å beregne gjennomsnittskonsentrasjoner for forbindelsene.



**Figur 1.** Oversiktskart over stasjoner for passive prøvetakere (SPMD og DGT) og blåskjell. Sirkel = Myndighetenes overvåkingsstasjoner for blåskjell. Stjerne = Elkem Carbon AS og Elkem Solar AS-relaterte stasjoner for passive prøvetakere og blåskjell.

## 2.2 Metaller og PAH i blåskjell

### 2.2.1 Bakgrunn

Mattilsynet har fastsatt omsetningsforbud for all fisk og skaldyr fanget i det indre området av Kristiansandsfjorden. Dette gjelder for området innenfor yttersiden av Odderøya-Dybingen-Bragdøya og Andøya. Mattilsynet har også gitt kostholdsråd som fraråder å spise fisk og skaldyr fra indre havneområde, og torskelever fra et større område avgrenset fra nordsiden av Dvergøya til Flekkerøya.

Klif har utviklet klassifiseringssystem for miljøgifter i blåskjell, se **Tabell 6**. I bedømmelsen av miljøtilstand basert på analyser av blåskjell vil derfor dette systemet benyttes.

### 2.2.2 Stasjonsplassering, innsamling og metoder

Plasseringen av blåskjellstasjonene er vist på kart i **Figur 1**. Hensikten er at de skal gi informasjon fra nærområdet til Elkembedriftene. De vil også kunne sammenlignes med bl.a. stasjoner fra det nasjonale overvåkingsprogrammet Coordinated Environmental Monitoring Programme (CEMP, tidligere Joint Assessment and Monitoring Programme - JAMP). Rene blåskjell ble også utplassert. Dette ble gjort på NIVAs eget initiativ. Hovedgrunnen var at det mange steder kan være vanskelig å finne stedegne skjell. Koordinater for stasjonene er gitt i **Tabell 3**.

**Tabell 3.** Blåskjellstasjoner med posisjoner (WGS84). Tekst i parentes angir om det er utplasserte eller stedegne skjell. Dato angir innsamlingsdato for stedegne skjell og eksponeringsperiode for utsatte skjell.

Stasjonsnavn	dato	Breddegrader	Lengdegrader
Fiskåtangen (stedegne)	28.9.10	N 58°07.791	Ø 07°58.756
Fiskåtangen (utplasserte)	27.8.10-28.9.10	N 58°07.743	Ø 07°58.765
Lumber (stedegne)	28.9.10	N 58°07.457	Ø 07°58.428
Lumber (utplasserte)	27.8.10-28.9.10	N 58°07.476	Ø 07°58.496
Timlingene (stedegne)	28.9.10	N 58°07.156	Ø 07°58.869

Blåskjell på de tre stasjonene ble innsamlet i september 2010. Det ble innsamlet minst 50 blåskjell (størrelse 3-5 cm) fra hver stasjon. Skjellene ble frosset ned etter innsamling og senere opparbeidet på laboratoriet i henhold til gjeldende retningslinjer (modifisert CEMP-prosedyre hvor skallengde og vekt av bløtdelene er målt, mens tarminnhold ikke er tømt, se Green mfl. 2010). Det ble laget én blandprøve av minst 50 skjell fra hver stasjon.

De stedegne blåskjellene ble analysert av NIVAs laboratorium for metallene As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, Si, Fe, Co og Ca. Skjellene ble i tillegg analysert for polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH).

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 kald-damp atomabsorpsjon.

Ved bestemmelse av PAH tilsettes prøvene indre standarder. Biologisk materiale forsåpes først med KOH/metanol. Deretter ekstraheres PAH med pentan. Ekstraktene gjennomgår så ulike renseprosesser for å fjerne forstyrrende stoffer. Tilslutt analyseres ekstraktet med GC/MSD. PAH identifiseres med MSD ut fra retensjonstider og forbindelsenes molekylloner. Kvantifisering utføres ved hjelp av de tilsatte indre standarder. Alle analyser utført ved NIVAs laboratorium er basert på NS- eller EU/ISO standarder der disse finnes.

## 2.3 Innhold av metaller og PAH i sedimenter

### 2.3.1 Bakgrunn

Tidsutviklingen i PAH-belastningen på sedimentene i indre deler av Kristiansandsfjorden har i hovedsak vært fulgt ved gjentatte prøvetakinger og analyser av prøver fra overvåkingsstasjonen K17 i Fiskåbukta. Denne stasjonen inngår også i myndighetenes overvåkingsprogram for fjorden som nå er igangsatt. For å øke både presisjonen og utsagnskraften i tidstrendovervåkingen er to nye overvåkingsstasjoner opprettet: én i den bedriftsnære "Elkembukta" og én i sentral/sydlig del av Fiskåbukta. I tillegg er tre stasjoner særlig rettet mot Elkem Solar AS inkludert.

### 2.3.2 Stasjonsplassering, innsamling og metoder

Plasseringen av sedimentstasjonene er vist i **Figur 2**. Koordinater, vanddyb og antall prøver som ble tatt er gitt i **Tabell 4**. EC1 og KH03 er stasjoner særlig knyttet til påvirkning fra Elkem Carbon AS, mens stasjonene ES1- ES3 er særlig relevante for problemstillinger knyttet til Elkem Solar AS. Stasjon K17 er også vist. I forbindelse med evaluering av konsekvensene av utslippet fra Elkem Solar AS (Molvær mfl. 2011) ble denne stasjonen prøvetatt og analysert. Stasjon K17 er også en av myndighetenes overvåkingsstasjoner og skal i den sammenheng prøvetas i 2012.



**Figur 2.** Plassering av sedimentstasjoner.

Sedimentene ble prøvetatt med en vanVeen-grabb og de øverste 2 cm av sedimentlaget snittet av for analyse. Avhengig av formålet ble en eller 5 parallelle prøver samlet inn. På stasjon K17 er kun én prøve av fem analysert, de fire andre er oppbevart for eventuelle analyser senere.

**Tabell 4.** Vanddyb, antall parallelle prøver samt koordinater for sedimentstasjonene.

stasjon	vanddyb (m)	antall replikater	breddegrad	lengdegrad
ES 1	20	1	58° 07,656	7° 58,725
ES 2	22	1	58° 07,612	7° 58,723
ES 3	22	1	58° 07,554	7° 58,640
EC 1	20	5	58° 07,466	7° 58,488
K 17	31	5	58° 07,526	7° 58,816
KH03	17	5	58° 07,163	7° 58,669

NIVAs laboratorium gjennomførte analysene av PAH, innhold av finstoff (dvs. vektprosent partikler med kornstørrelse <63µm), organisk karbon (TOC) og metaller i sedimenter. 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 ICP-AES, bortsett fra Hg 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.

## 2.4 Sammensetning av dyrelivet på bløtbunn

### 2.4.1 Bakgrunn

Undersøkelser av dyrelivet på bløtbunn benyttes rutinemessig for å karakterisere miljøtilstand og overvåke endringer i tilstanden i kyst- og fjordområder. Karakterisering av tilstanden gjøres på basis av en samlet vurdering av artsrikhet, antall individer og egenskaper hos de viktigste artene. Ved overvåking av industriresipienter gjøres det fortrinnsvis undersøkelser på faste stasjoner. En ulempe i områder med sammensatte miljøproblemer er at faunaen responderer på de samlede påvirkningene. Dette kan gjøre det vanskelig å påvise virkningene av de enkelte påvirkningsfaktorene. Ofte er valg av stasjoner og prøvetakingen i felt derfor koordinert med undersøkelsene av sedimentene for å få sikre et tett samsvar mellom fauna og påvirkningsfaktorer. I Kristiansandsfjorden har det vært foretatt undersøkelser over mange år. Stasjon K17 i Fiskåbukta ble undersøkt allerede i 1983 (Rygg 1985), mens grunnere områder ble undersøkt i 2001. Undersøkelser av dyrelivet på bløtbunn er et sentralt kvalitetselement i Vanndirektivet. I denne undersøkelsen er det benyttet et system for klassifisering av miljøtilstand som er under utvikling til Vanndirektivet og som benytter indekser for artsmangfold i bløtbunnsfauna som kvalitetselement.

### 2.4.2 Stasjonsplassering, innsamling og metoder

Prøvene av bunnfauna ble tatt fra de tre stasjonene, K17, KH03 og EC1, som alle sammenfaller med stasjonene for sedimentanalyser (**Figur 2**). K17 og KH03 har begge vært undersøkt tidligere, K17 i 1983 og 2006 og KH03 i 2001. Stasjon EC1 er opprettet som ny ved denne undersøkelsen, men den ligger nær til prøvetakinger som ble foretatt i 2001.

Alle prøvene ble tatt med 0,1 m<sup>2</sup> van Veen bunngrabb. På EC1 ble det tatt fire parallelle grabbhugg, mens det på K17 ble tatt to grabbhugg. På KH03 ble det bare tatt ett hugg. Her var det planlagt to hugg, men prøvetakingen måtte avbrytes på grunn av et inntruffet maskinhavari. Opplysninger om prøvetakingen og visuelle observasjoner er gitt i **Tabell 5**.

**Tabell 5.** Data for prøvetakingen av bunnfauna 16.12.2010. Koordinater for stasjonene er gitt i Tabell 4.

Stasjon	Lokalitet	Dyp (m)	Antall prøver	Visuelle observasjoner
EC 1	Elkem Carbon AS	21	4	Fylningsgrad i grabb 2:3 (12-14 liter). Svart finkornet sediment med 2-3 mm olivengrønt topplag. Mye treflis og organisk materiale, noen kullbiter, småstein og døde skjell. Slangestjerner og børstemark. Ingen lukt.
K17	Fiskåbukta	31	2	Fylningsgrad i grabb 2:3 (14 liter). Mørk grått finkornet sediment med 2-3 mm olivengrønt topplag. Mye flis og trebiter. Døde skjell. Observert børstemark. Ingen lukt.
KH03	Bragdøya/ Timlingene	17	1	Fylningsgrad i grabb 2:3 (12 liter). Mørk grått sandig sediment med 3-4 mm olivengrønt topplag. Børstemark observert. Ingen lukt.

Til analyse av bunnfauna ble sediment fanget i hver grabbprøve vasket på 5 mm og 1 mm sikter for fjerning av finmateriale. Sikteresten ble fiksert i 4-6 % nøytralisert formaldehydløsning og brakt til laboratorium for videre sortering og artsbestemmelse. I alle prøvene ble sedimentet inspisert for lukt, farge, sjiktning og visuelle objekter.

I laboratoriet ble alle prøvene håndsortert med bruk av lupe. Alle dyr ble identifisert og telt, og overført til 70 % etanol for oppbevaring. Identifiseringen ble i hovedsak utført til artsnivå.

## 2.5 Bedømming av miljøtilstand

### 2.5.1 Klifs klassifiseringssystem for blåskjell og sedimenter

Klif har utviklet kriterier for klassifisering av miljøkvalitet basert på innhold av forurensede forbindelser i blant annet blåskjell som vist i **Tabell 6**. Systemet opererer med fem tilstandsklasser som spenner fra ubetydelig/lite (klasse I) forurenset til meget sterkt (klasse V) forurenset for innhold av forurensende stoffer.

**Tabell 6.** Klifs klassifisering av miljøtilstand ut fra innhold av metaller og utvalgte klororganiske forbindelser i blåskjell (Molvær og medarbeidere 1997).

Arter/ vev	Parametere	Tilstandsklasser				
		I	II	III	IV	V
		<i>Ubetydelig – Lite forurenset</i>	<i>Moderat forurenset</i>	<i>Markert forurenset</i>	<i>Sterkt forurenset</i>	<i>Meget sterkt forurenset</i>
<b>Blåskjell</b> (tørrvektbasis)	<b>Bly (mg Pb/kg)</b>	<3*	3-15	15-40	40-100	>100
	<b>Kadmium (mg Cd/kg)</b>	<2	2-5	5-20	20-40	>40
	<b>Kobber (mg Cu/kg)</b>	<10	10-30	30-100	100-200	>200
	<b>Kvikksølv (mg Hg/kg)</b>	<0,2	0,2-0,5	0,5-1,5	1,5-4	>4
	<b>Krom (mg Cr/kg)</b>	<3	3-10	10-30	30-60	>60
	<b>Sink (mg Zn/kg)</b>	<200	200-400	400-1000	1000-2500	>2500
	<b>Nikkel (mg Ni/kg)</b>	<5	5-20	20-50	50-100	>100
	<b>Arsen (mg Ar/kg)</b>	<10	10-30	30-100	100-200	>200
	<b>Sølv (mg Ag/kg)</b>	<0,3	0,3-1	1-2	2-5	>5
<b>TBT* (mg/kg)</b>	<0,1	0,1-0,5	0,5-2	2-5	>5	
<b>Blåskjell</b> (våtvektbasis)	<b>PAH-16 (µg/kg)</b>	<50	50-200	200-2000	2000-5000	>5000
	<b>ΣKPAH (µg/kg)</b>	<10	10-30	30-100	100-300	>300
	<b>B[a]P (µg/kg)</b>	<1	1-3	3-10	10-30	>30
	<b>HCB (µg/kg)</b>	<0,1	0,1-0,3	0,3-1	1-5	>5
	<b>PCB-7 (µg/kg)**</b>	<4	4-15	15-40	40-100	>100

I PAH-16 i rapporten inngår enkeltforbindelsene naftalen, acenaftylen, acenaften, fluoren, fenatren, antracen, fluoranten, pyren, benz(a)antracen, chrysen, benzo(b)fluoranten, benzo(j,k)fluoranten, benzo(a)pyren, indeno (1,2,3cd)pyren, dibenz(a,c/a,h)antracen og benzo(ghi)perylene.

I KPAH i rapporten inngår enkeltforbindelsene benz(a)antracen, benzo(b)fluoranten, benzo(j,k)-fluoranten, benzo(a)pyren, indeno(1,2,3cd)pyren og dibenz(a,c/a,h)antracen. Disse har potensielt kreftfremkallende egenskaper overfor mennesker etter IARC (1987), dvs. tilhørende IARCs kategorier 2A + 2B (sannsynlig + trolig kreftfremkallende).

Klifs kriterier for klassifisering av miljøkvalitet basert på innhold av forurensede forbindelser i sedimenter er vist i **Tabell 7**.

**Tabell 7.** Klassifisering av tilstand ut fra innhold av metaller i sedimenter (Bakke mfl. 2007).

	I Bakgrunn	II God	III Moderat	IV Dårlig	V Svært dårlig	
Metaller	Arsen (mg As/kg)	<20	20 - 52	52 - 76	76 - 580	>580
	Bly (mg Pb/kg)	<30	30 - 83	83 - 100	100 - 720	>720
	Kadmium (mg Cd/kg)	<0,25	0,25 - 2,6	2,6 - 15	15 - 140	>140
	Kobber (mg Cu/kg)	<35	35 - 51	51 - 55	55 - 220	>220
	Krom (mg Cr/kg)	<70	70 - 560	560 - 5900	5900 - 59000	>59000
	Kvikksølv (mg Hg/kg)	<0,15	0,15 - 0,63	0,63 - 0,86	0,86 - 1,6	>1,6
	Nikkel (mg Ni/kg)	<30	30 - 46	46 - 120	120 - 840	>840
Sink (mg Zn/kg)	<150	150 - 360	360 - 590	590 - 4500	>4500	
PAH	Naftalen (µg/kg)	<2	2 - 290	290 - 1000	1000 - 2000	>2000
	Acenaftylen (µg/kg)	<1,6	1,6 - 33	33 - 85	85 - 850	>850
	Acenaften (µg/kg)	<4,8	2,4 - 160	160 - 360	360 - 3600	>3600
	Fluoren (µg/kg)	<6,8	6,8 - 260	260 - 510	510 - 5100	>5100
	Fenantren (µg/kg)	<6,8	6,8 - 500	500 - 1200	1200 - 2300	>2300
	Antracen (µg/kg)	<1,2	1,2 - 31	31 - 100	100 - 1000	>1000
	Fluoranthen (µg/kg)	<8	8 - 170	170 - 1300	1300 - 2600	>2600
	Pyren (µg/kg)	<5,2	5,2 - 280	280 - 2800	2800 - 5600	>5600
	Benzo[a]antracen (µg/kg)	<3,6	3,6 - 60	60 - 90	90 - 900	>900
	Chrysen (µg/kg)	<4,4	4,4 - 280	280 - 280	280 - 560	>560
	Benzo[b]fluoranten (µg/kg)	<46	46 - 240	240 - 490	490 - 4900	>4900
	Benzo[k]fluoranten (µg/kg)		<210	210 - 480	480 - 4800	>4800
	Benzo(a)pyren (µg/kg)	<6	6 - 420	420 - 830	830 - 4200	>4200
	Indeno[123cd]pyren (µg/kg)	<20	20 - 47	47 - 70	70 - 700	>700
	Dibenzo[ah]antracen (µg/kg)	<12	12 - 590	590 - 1200	1200 - 12000	>12000
	Benzo[ghi]perylen (µg/kg)	<18	18 - 21	21 - 31	31 - 310	>310
	PAH16 <sup>1)</sup> (µg/kg)	<300	300 - 2000	2000 - 6000	6000 - 20000	> 20000
	PCB7 <sup>2)</sup> (µg/kg)	<5	5-17	17 - 190	190 - 1900	>1900
	PCDD/F <sup>3)</sup> (TEQ) (µg/kg)	<0,01	0,01 - 0,03	0,03 - 0,10	0,10 - 0,50	>0,50
	Heksaklorbenzen (HCB) (µg/kg)	0,5	0,5 - 17	17 - 61	61 - 610	>610

1) PAH: Polysykliske aromatiske hydrokarboner

2) PCB: Polyklorerte bifenyler

3) PCDD/F: Polyklorerte dibenzodioksiner/furaner

## 2.5.2 Klassifisering av økologisk tilstand i sedimentene

Til Vanddirektivet er det under utvikling et system for klassifisering av miljøtilstand som er basert på sammensetningen av bløtunnfauna (Veileder 01:2009). Parametrene som benyttes er et sett av indekser for artsmangfold og artenes følsomhet for forurensninger. Systemet har fem tilstandsklasser som spenner fra meget god til meget dårlig miljøtilstand. Systemet har lignende struktur som Klifs system for klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystvann (Molvær mfl. 1997), som tidligere ble benyttet i resipientovervåking, men omfatter flere parametre. I **Tabell 8** er klassegrenser og referanseverdier vist. I tillegg til klassifikasjonssystemet er det imidlertid nødvendig å bruke kunnskap om artenes biologi for å foreta en fullstendig vurdering av tilstanden.

**Tabell 8.** Klassegrenser og referansetilstand for ulike indekser ved klassifisering av økologisk tilstand i kystvann. Indeksene NQI 1 og NQI 2 er såkalte multimetriske indekser som sammenfatter informasjon om artsrikhet og artenes følsomhet for forurensninger, H' og ES<sub>100</sub> er indekser for artsmangfold, mens ISI er et mål for arters følsomhet for forurensning. Fra Veileder 01:2009.

Parameter	Referanse- verdi	Svært god	God	Moderat	Dårlig	Svært dårlig
NQI 1	0,78	>0,72	0,63-0,72	0,49-0,63	0,31-0,49	<0,31
NQI 2	0,73	>0,65	0,54-0,65	0,38-0,54	0,20-0,38	<0,20
H'	4,4	>3,8	3,0-3,8	1,9-3,0	0,9-1,9	<0,9
ES <sub>100</sub>	32	>25	17-25	10-17	5-10	<5
ISI	9	>8,4	7,5-8,4	6,1-7,5	4,2-6,1	<4,2

## 3. Resultater og diskusjon

### 3.1 Metaller og PAH i vannmassene

*Denne delen av overvåkingsprogrammet vil vise hvorledes Elkems nåværende utslipp av PAH og metaller påvirker vannmassene i det bedriftsnære området og kan gi grunnlag for å påvise hvorledes dette endres i de kommende årene.*

#### 3.1.1 DGT

Konsentrasjoner av metaller i vannmassene beregnet ut fra opptak i de passive prøvetakerne (DGT) er vist i **Tabell 9**. Som påpekt tidligere, fanger DGTene kun opp den labile (=løste) fraksjonen av metallene. Det er derfor vanskelig å sammenligne direkte DGT-labile metallkonsentrasjoner med "hel vannprøve" i henhold til Klifs klassifiseringssystem (Bakke mfl. 2007). For noen av metallene (f.eks. Cu, Pb og Zn) kan en vesentlig del være bundet til suspenderte partikler, oppløst organisk karbon eller andre kolloider og disse blir ikke fanget opp av DGTer. Metoden brukes derfor primært som indikasjon for forurensningsnivået av metaller i vannmassene i området.

Det var relativt liten forskjell i verdiene mellom stasjonene i Fiskåbukta. Sammenlignes resultatene med observasjoner fra Flekkerøygapet (Schøyen mfl. 2010), ser man at konsentrasjonene i Fiskåbukta var opptil en faktor på to høyere for Co, Cu og Ni, mens konsentrasjonene for de andre elementene var relativt like. Flekkerøygapet kan sees på som en referansestasjon i denne sammenhengen. Co, Cu og Ni er elementer som har vært knyttet til utslipp fra Xstrata Nikkelverk AS og det er sannsynlig at det er denne påvirkningen som er hovedgrunnen til forskjellene til Flekkerøygapet.

Eventuell forhøyet kalsiuminnhold har man antatt kunne være assosiert med Elkem Solar AS. Det ble observert noe høyere konsentrasjon ved stasjon Lumber, men forskjellen var liten i forhold til de andre to stasjonene i Fiskåbukta. Det er ikke resultater for kalsium fra målingene i Flekkerøygapet.

**Tabell 9.** Innhold av metaller i vannmassene beregnet ut fra konsentrasjoner i passive prøvetakere (DGT). Resultatene fra stasjonen ved Flekkerøygapet er fra Schøyen mfl. 2010.

stasjon	Al µg/l	Ca µg/l	Cd µg/l	Co µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Fe µg/l	Ni µg/l	Pb µg/l	Zn µg/l
blank	0,046	6	0,0001	0,00018	0,01	0,013	0,2	0,007	0,0015	0,14
Fiskåtangen	0,097	310	0,011	0,030	<0,01	0,15	0,6	0,41	0,007	0,48
Lumber	0,22	350	0,010	0,032	<0,01	0,24	1,2	0,39	0,011	0,52
Timlingen	0,091	310	0,010	0,029	0,01	0,13	0,5	0,37	0,014	0,66
Flekkerøygapet	0,32*		0,013	0,018	<0,01	0,12*	1,7	0,22	0,011	0,61*

\* For Al og Zn var nivåer i "blanke prøver" så høy som 28 og 75% av akkumulert metallmengde. For Cu er nivået rett over 10%. For Al og Zn er mengden i "blanke prøver" fratrukket de beregnede konsentrasjoner i vann.

#### 3.1.2 PAH-forbindelser i SPMD

SPMDer ble satt ut ved de tre områdene Lumber, Timlingen og Fiskåtangen, samtidig med DGTene og de utsatte blåskjellene.

Konsentrasjoner i SPMDene konverteres til vannkonsentrasjoner via ekstrahert vannvolum i eksponeringstiden og beregnes ut fra utlekkingen av de tilsatte PRC-ene (Performance Reference Compounds). Prosent gjenværende PRC etter eksponering er vist i **Tabell 10**. Mengden av deuterert acenatften (acenaften-d10) og deuterert fluoren (fluoren-d10) var lav og under 20 %. Laveste verdi var ved Fiskåtangen som indikerer ekstraksjonsrate. Gjenværende deuterert fenantren (fenantren-d10) var 20-40 %. Generelt ønskes det at 20-80 % av PRC-ene er til stede etter eksponering for å gi optimal beregning av ekstrahert vannvolum. Fenantren er derfor primært anvendt, se **Tabell 11**.



**Tabell 10.** Prosent gjenværende PRC (deuterert acenaften, fluoren, fenantren, krysen og benzo(e)pyren i SPMD.

	% gjenværende PRC i prøvene etter eksponering				
	Acenaften- <i>d</i> <sub>10</sub>	Fluoren- <i>d</i> <sub>10</sub>	Fenantren- <i>d</i> <sub>10</sub>	Krysen- <i>d</i> <sub>12</sub>	Benzo[e]pyren- <i>d</i> <sub>10</sub>
Lumber	6.5	13.1	<b>40.0</b>	94.6	98.5
Timlingen	5.8	13.1	<b>40.0</b>	96.7	100.0
Fiskåtangen	2.1	5.4	<b>22.8</b>	81.5	83.1

**Tabell 11.** Ekstraksjonsfrekvens (sampling rate) for SPMD

	Sampling rates <i>R<sub>s</sub></i> for PRC (l/d)		
	Lumber	Timlingen	Fiskåtangen
Acenaften-d10*	4.3	4.4	6.0
Fluoren-d10*	5.8	5.8	8.3
Fenantren-d10**	<b>5.9</b>	<b>5.9</b>	<b>9.5</b>
Krysen-d12	-	-	-
Benzo[e]pyren-d10	-	-	-

\* Ekstraksjonsfrekvens (sampling rates) kun for informasjon.  
 \*\*Data for fenantren ble brukt for bestemmelse av ekstraksjonsfrekvens for alle PAHer ut fra prosedyrer beskrevet av Huckins et al., 2006.

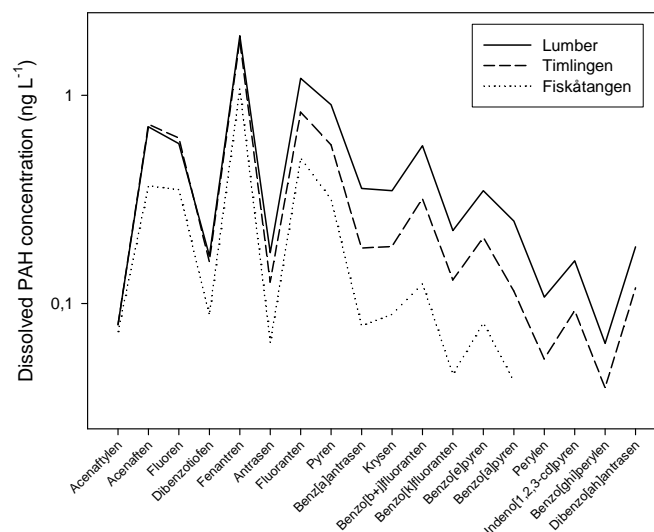
Beregning av vannkonsentrasjon av PAH ut fra SPMD-målingene er vist i **Tabell 12**. Tabellen gir også EUs Vanddirektivs miljøkvalitetsstandarder (environmental quality standards, EQS) for PAH i "hel" vannprøve (løst, pluss partikulært). De passive prøvetakerne måler den fritt løste PAH-konsentrasjonen og er derfor vanskelig å sammenligne med EQSene uten videre modellering. Imidlertid, antrasen og fluoranten beregnet fra de passive prøvetakerne var i de fleste tilfellene mer enn 100 ganger under EQSene. Det er derfor sannsynlig at en analyse av "hel" vannprøve også ville gitt et resultat under EQSen. For benzo(a)pyren, EQS-verdien er mer enn 200 ganger over de observerte konsentrasjonene (høyeste konsentrasjon på 0,25 ng/l ved Lumber). For summen av indeno(123-*c,d*)pyren og bezo(*ghi*)perylene på 0.35 ng/l målt ved Lumber er mindre enn en faktor 10 under den tilsvarende EQS-verdien. Ut fra disse forbindelsenes høye affinitet til løst og partikulært karbon, er det sannsynlig at konsentrasjonen i en "hel" vannprøve ville vært betydelig høyere enn EQS-verdien.

**Tabell 12.** Løste konsentrasjoner av PAH målt med SPMD på tre steder i Fiskåbukta. "Environmental Quality Standards" (EQS) gitt av EUs Vanddirektiv er inkludert.

Stasjon	Løst konsentrasjon (ng/l)			WFD EQS verdier AA/MAC (B)
	Lumber	Timlingen	Fiskåtangen	
Naftalen	(A)	(A)	(A)	
Acenaftylen	<0.08	<0.08	<0.08	
Acenaften	0.71	0.73	0.37	
Fluoren	0.59	0.62	0.35	
Dibenzotiofen	0.17	0.16	0.088	
Fenantren	1.9	1.8	1.1	
Antrasen	0.18	0.13	0.065	100/400
Fluoranten	1.2	0.83	0.50	100/1000
Pyren	0.90	0.58	0.32	
Benz[a]antrasen	0.36	0.19	0.078	
Krysen	0.35	0.19	0.089	
Benzo[b+j]fluoranten	0.57	0.32	0.12	30
Benzo[k]fluoranten	0.22	0.13	0.046	
Benzo[e]pyren	0.35	0.21	0.081	
Benzo[a]pyren	0.25	0.12	0.042	50/100
Perylen	0.11	0.054	<0.021	
Indeno[1,2,3-cd]pyren	0.16	0.092	0.025	2
Benzo[ghi]perylene	0.19	0.12	0.043	
Dibenzo[ah]antracen	0.064	0.039	<0.026	

(A): Konsentrasjon høyere i blank enn eksponert prøvetaker.  
(B): Water Framework Directive (WFD) Environmental Quality Standard for hel vannprøve(ng/l); AA: annual average; MAC: maximum allowable concentration.

viser i tillegg til konsentrasjoner, også PAH-profilen på de tre stasjonene. Man kan også sammenligne disse konsentrasjonene med de fra myndighetenes overvåkingsprogram for Kristiansandsfjorden (Schøyen mfl. 2010). Konsentrasjonene som da ble målt i Marvika, ved Kjerkebaen og ved Flekkerøygapet var henholdsvis gjennomsnittlig (median) en faktor på 4.7, 2.7 og 5.4 lavere enn de målt ved Lumber.



**Figur 3.** Løste PAH-konsentrasjoner på tre stasjoner i Fiskåbukta. Merk log-skala.

### 3.2 Metaller og PAH i blåskjell

*Denne delen av overvåkingsprogrammet hvorledes utslipp av PAH og metaller akkumuleres i organismer (skjell) i det bedriftsnære området og kan gi grunnlag for å påvise hvorledes dette endres i de kommende årene.*

Resultatene for analysene av blåskjell er presentert i **Tabell 13**. Generelt sett var det relativt lave verdier i skjellene. Alle stasjonene i Fiskåbukta kan karakteriseres som ubetydelig/lite (klasse I) til moderat forurenset (klasse II) med hensyn til metaller. Verdiene er også tilsvarende de som observeres i skjell fra Flekkerøy/Kjeholmen (Schøyen mfl. 2010).

Eventuelle forhøyede konsentrasjoner av elementene Si og Ca har vært antatt å kunne være en indikasjon på påvirkning fra Elkem Solar AS. Ca-verdiene er i samme konsentrasjonsnivå som skjellene fra Flekkeøy/Kjeholmen, mens Si er en faktor på to høyere på stasjonene i Fiskåbukta sammenlignet med de fra referansestasjonen ved Flekkerøy/Kjeholmen.

**Tabell 13.** Konsentrasjoner oppgitt i tørrvekt for metaller og våtvekt for PAH-forbindelser. Romertall og fargekode tilsvarer Klifs klassifiseringssystem. Resultater fra Flekkerøy/Kjeholmen er fra (Schøyen mfl. 2010).

Stasjon S= stedege U= utsatt	As µg/g t.v.	Cd µg/g t.v.	Cr µg/g t.v.	Cu µg/g t.v.	Hg µg/g t.v.	Ni µg/g t.v.	Pb µg/g t.v.	Zn µg/g t.v.	Al µg/g t.v.	Fe µg/g t.v.	Co µg/g t.v.	Si µg/g t.v.	Ca µg/g t.v.	Sum PAH16 µg/kg v.v.	Sum KPAH µg/kg v.v.	B(a)P µg/kg v.v.
Fiskåtangen, S	15,5 II	0,9 I	1,3 I	9,3 I	0,1 I	2,8 I	1,3 I	99 I	61	194	0,9	156	2813	46 I	23 II	2,2 II
Fiskåtangen,U														43 I	17 II	2,1 II
Lumber, S	13,5 II	1,3 I	1,5 I	10,3 II	0,1 I	3,6 I	3,3 II	129 I	68	492	1,2	123	4539	261 III	161 IV	14 IV
Lumber, U														64 II	26 II	3,3 III
Timlingen, S	17,4 II	1,4 I	1,5 I	8,4 I	0,2 II	4,0 I	3,5 II	131 I	55	315	1,3	92	3462	52 II	30 III	2,4 II
Flekkerøy/Kjeholmen	23,0 II	1,4 I	1,5 I	1 I	0,2 II	3,9 I	7,9 II	131 I	40	30	0,1	62	4462	<13 I	<7 I	<0,5 I

Konsentrasjoner av PAH i blåskjell tilsvarte i stor grad ubetydelig/lite til moderat forurenset (tilstandsklasse I til II), bortsett fra skjellene fra stasjonen Lumber. Denne stasjonen ligger nær hovedutslippet fra Elkem Carbon AS og de forhøyede PAH-verdiene representerer påvirkning fra denne bedriften. Sammenlignet med referansestasjonen ved Flekkerøy/Kjeholmen var verdiene på de 3 stasjonene i Fiskåbukta en faktor på 4-20 ganger høyere.

Utsatte skjell ble funnet igjen ved Fiskåtangen og Lumber. Resultatene fra Fiskåtangen samstemmer godt med de stedege skjellene, men de utsatte skjellene ved Lumber hadde betydelig lavere konsentrasjoner. Det er mulig at en eksponeringstid på 1 måned er utilstrekkelig i områder med høy konsentrasjon. Dette vil bli fulgt opp under innsamlingene i 2011.

### 3.3 Metaller og PAH i sedimenter

*Denne delen av overvåkingsprogrammet vil vise hvorledes Elkem Carbon AS sine reduserte utslipp av PAH fører til en nedgang i konsentrasjonene av PAH i sedimentene nær bedriften. Overvåkingen avklarer også om man kan spore eventuelle tilførsler og grunnstoffelementer inkludert metallforbindelser til sedimentene fra Elkem Solar AS.*

Resultatene fra analysene av metaller i overflatesedimentene er vist i **Tabell 14**. Det var betydelig større variasjon i miljøtilstanden for sedimentene enn for de andre overvåkingsparametre. Man skal i den sammenheng merke seg at sedimentene også representerer et helt annet tidsperspektiv enn målinger i vannmasser eller blåskjell. Sedimentasjonshastigheten på to stasjoner i Vesterhavn/Fiskåbukta ble i 2006 målt til et par millimeter i året (Berge mfl. 2007). Det analyserte overflatelaget representerer derfor en avsetning over flere år. Begrunnelsen for likevel å analysere på et såpass tykt overflatelag som 2 cm er både prøvetakingstekniske og at dette laget er i aktiv

utveksling med vannmassene over, samt at dyr i sedimentene i stor grad er konsentrert i de øvre centimeterne.

**Tabell 14.** Konsentrasjoner av metaller i overflatesedimentene (0-2 cm). Romertall og fargekode tilsvarer Klifs klassifiseringssystem. For stasjonene med fem replikate prøver er klassifiseringen gjort på grunnlag av gjennomsnittsverdien av prøvene.

Stasjon	TOC µg C/mg TS	As µg/g t.v.	Cd µg/g t.v.	Cr µg/g t.v.	Cu µg/g t.v.	Ni µg/g t.v.	Pb µg/g t.v.	Zn µg/g t.v.	Fe µg/g t.v.	Co µg/g t.v.	Ca µg/g t.v.	Al µg/g t.v.	Si µg/g t.v.
ES 1 I	70	75 III	<0,2 I	107 II	699 V	1100 V	179 IV	124 I	23200	39	74600	9850	943
ES 2 I	51	56 III	<0,2 I	95 II	567 V	952 V	139 IV	113 I	18700	34	27800	8410	945
ES 3 I	125	60 III	0,3 I	79 II	610 V	643 IV	138 IV	197 II	25200	31	27500	16400	2550
EC 1 I	108	60	0,4	79	633	690	143	187	25700	30	8790	12200	930
EC 1 II	110	69	0,4	65	656	631	134	200	25800	31	7970	11800	846
EC 1 III	109	62	0,4	67	650	645	168	190	26500	30	8010	12300	947
EC 1 IV	110	65	0,5	72	621	663	136	228	28700	31	8970	12300	912
EC 1 V	110	74	0,5	86	743	838	166	191	27100	35	8210	12800	991
Gjennomsnitt I-V	109	66 III	0,4 II	74 II	661 V	693 IV	149 IV	199 II	26760	31	8390	12280	925
KH03 I	30	21	<0,2	40	226	342	63	82	17900	15	7020	9320	931
KH03 II	26	23	<0,2	41	236	345	65	83	18300	15	7330	9760	979
KH03 III	31	21	<0,2	43	259	371	68	88	18900	16	7030	10200	1030
KH03 IV	33	24	<0,2	46	284	391	72	91	19500	16	7070	10400	997
KH03 V	24	20	<0,2	36	203	285	54	74	17100	13	6760	9230	923
Gjennomsnitt I-V	29	22 II	<0,2 I	41 I	242 V	347 IV	64 II	84 I	18340	15	7042	9782	972
K 17	55	83 IV	<0,3 I	107 II	641 V	828 IV	169 IV	163 II	32100	36	11800	15800	1350

Konsentrasjonene i sedimentene tilsvarer alle klassene i Klifs karakteriseringssystem. Imidlertid var det særlig Cu, Ni, Pb og dels også As som forekom i de høyeste klassene (klasse III-V) svarende til moderat til svært dårlig miljøtilstand.

Også for disse analysene ble særlig Ca og Si inkludert som en indikator på påvirkning fra Elkem Solar AS. Tabellen viser betydelige forskjeller fra stasjonene ES1-3 nær utslippet fra Elkem Solar AS til KH03 syd i Fiskåbukta. Det er grunn til å anta at de forhøyede verdiene av Ca nær Elkem Solar AS kan skyldes deres utslipp.

Bildet var ikke så klart for Si. Her er det kun stasjon ES 3 som skiller seg ut. Det kan være vanskeligere å bruke Si som indikator på utslippet idet dette elementet er representert i sandpartikler som er en naturlig del av sedimentprøvene.

PAH-innholdet i sedimentene er vist i **Tabell 15**. Konsentrasjonene var høye særlig på de Elkem-nære stasjonene og med meget stor variasjon særlig på stasjonene ES1-3. Det er tydeligvis sterke gradienter i området. PAH-16 innholdet på stasjon K17 ble i 2006 målt til 35000 µg/kg og stasjon KH03 ved Timlingen hadde altså i 2010 en PAH<sub>16</sub>-konsentrasjon på ca. 15000 µg/kg.

Det har i en periode relevant for prøvetakingen, vært betydelig slamtilførsler via Fiskåbekken på grunn av vegarbeider på innfartsveien til Kristiansand fra Vågsbygd. Det er antatt at dette ikke har hatt en innvirkning på miljøforholdene.

**Tabell 15.** Konsentrasjoner av PAH-forbindelser i overflatesedimentene (0-2 cm). Romertall og fargekode er iht. Klifis klassifiseringssystem (Bakke mfl. 2007). For stasjonene med fem replikate prøver er klassifiseringen gjort på grunnlag av gjennomsnittsverdiene av prøvene.

PAH-forbindelse	ES 1 I	ES 2 I	ES 3 I	EC 1 I	EC 1 II	EC 1 III	EC 1 IV	EC 1 V	gjennomsnitt EC1 I-V	KH03 I	KH03 II	KH03 III	KH03 IV	KH03 V	gjennomsnitt KH03 I-V
naftalen <sup>1</sup> µg/kg t.v.	6200 V	850 III	3000 V	2000	1700	1800	2500	1500	1900 IV	130	120	160	180	200	158 II
acenaftalen <sup>1</sup> µg/kg t.v.	1500 V	85 IV	310 IV	170	140	320	160	150	188 IV	24	25	37	35	25	29 II
acenaften <sup>1</sup> µg/kg t.v.	22000 V	830 IV	4200 V	3300	2500	3500	2600	2800	2940 IV	170	180	190	240	220	200 III
fluoren <sup>1</sup> µg/kg t.v.	26000 V	690 IV	3500 IV	2900	2200	3100	2300	2300	2560 IV	150	140	170	200	180	168 II
dibenzotiofen µg/kg t.v.	12000	340	1600	1300	990	1500	1000	1000	1158	82	79	93	100	89	89
fenantren <sup>1</sup> µg/kg t.v.	120000 V	4900 V	26000 V	15000	11000	17000	12000	13000	13600 V	940	970	1100	1300	1100	1082 III
antracen <sup>1</sup> µg/kg t.v.	39000 V	1600 V	6400 V	5100	3800	6100	4000	4300	4660 V	360	360	410	480	410	404 IV
fluoranten <sup>1</sup> µg/kg t.v.	100000 V	8900 V	47000 V	25000	19000	30000	21000	23000	23600 V	1900	1900	2200	2600	2100	2140 IV
pyren <sup>1</sup> µg/kg t.v.	78000 V	7500 V	38000 V	24000	19000	28000	20000	22000	22600 V	1700	1700	1900	2300	1900	1900 III
benzo[a]antracen <sup>1</sup> µg/kg t.v.	41000 V	4600 V	21000 V	15000	11000	17000	12000	13000	13600 V	1100	1100	1300	1500	1300	1260 V
chrysen <sup>1</sup> µg/kg t.v.	30000 V	3900 V	19000 V	14000	10000	16000	12000	12000	12800 V	980	1000	1500	1400	1200	1216 V
benzo[ <i>b</i> ]fluoranten <sup>1</sup> µg/kg t.v.	36000	5600	26000	25000	20000	28000	21000	22000	23200	1700	1700	2000	2200	1900	1900
benzo[ <i>k</i> ]fluoranten <sup>1</sup> µg/kg t.v.	19000 V	2700 IV	13000 V	10000	7800	11000	8400	8800	9200 V	700	700	800	900	770	774 IV
benzo[ <i>e</i> ]pyren µg/kg t.v.	20000	3100	14000	13000	10000	14000	11000	11000	11800	860	850	980	1100	920	942
benzo[ <i>a</i> ]pyren <sup>1</sup> µg/kg t.v.	37000 V	5300 V	25000 V	21000	16000	23000	17000	18000	19000 V	1300	1400	1500	1700	1500	1480 IV
perylene µg/kg t.v.	9100	1400	6300	4800	3600	5200	4000	4100	4340	330	350	410	450	380	384
indeno[1,2,3- <i>cd</i> ]pyren <sup>1</sup> µg/kg t.v.	16000 V	2800 V	13000 V	12000	9600	13000	10000	10000	10920 V	870	920	1100	1200	1000	1018 V
dibenz[ <i>a,c</i> ]/a,h]antracen <sup>1</sup> µg/kg t.v.	3900 IV	620 III	2900 IV	2900	2300	3300	2400	2500	2680 IV	210	220	270	300	250	250 II
benzo[ <i>ghi</i> ]perylene <sup>1</sup> µg/kg t.v.	17000 V	3000 V	14000 V	13000	9800	13000	10000	11000	11360 V	900	940	1100	1200	1000	1028 V
sum PAH-16 µg/kg t.v.	633700	58715	284210	209470	160430	234820	173360	182450	192106	14406	14654	17220	19385	16444	16422
sum PAH-16 µg/kg t.v.	592600 V	53875 V	262310 V	190370	145840	214120	157360	166350	174808 V	13134	13375	15737	17735	15055	15007 IV
sum KPAH µg/kg t.v.	189100	26370	122900	101900	78400	113100	85300	87800	93300	6990	7160	8630	9380	8120	8056

<sup>1</sup> inngår i sum PAH-16

<sup>1</sup> inngår i sum KPAH

### 3.4 Økologisk tilstand i sedimentene

*Denne delen av overvåkingsprogrammet vil vise om det er forurensningseffekter på dyrelivet i sedimentene i nærområdet til Elkem.*

Resultatene fra bunnprøvene viste at det var en artsrik bunnfauna på alle stasjonene. Både på stasjon EC1 ved Elkem Carbon og på stasjon K17 midt i Fiskåbukta ble det funnet et normalt antall arter (**Tabell 16**). Individtetthetene var forholdsvis høye. På stasjon KH03 ved Bragdøya ble det funnet færre arter, men tatt i betraktning at det bare foreligger en prøve fra denne stasjonen, var artstallet også her ganske normalt. På basis av de beregnede indeksene karakteriseres den økologiske tilstanden som ”god” eller ”svært god” på alle stasjonene (**Tabell 16**). Ved Elkem Carbon (EC1) var tilstanden god, mens den var svært god sentralt i Fiskåbukta (K17). Ved Bragdøya ga indeksene litt ulikt resultat. Etter reglene skal økologisk tilstand bestemmes ved den dårligste verdien (Veileder 01:2009), som innebærer at tilstanden her karakteriseres som god.

**Tabell 16.** Sammenfattende data for bløtbunnsfauna i Fiskåbukta 2010. Indekser for artsmangfold: NQI 1 og NQI 2 = multimetriske indekser, H' = Shannon-Wiener indeks ( $\log_2$ ), ES<sub>100</sub> = forventet antall arter ved 100 individer, ISI indeks som angir artenes følsomhet for forurensninger. Fargene angir økologisk tilstandsklasse etter systemet til Vanddirektivet: grønn – god tilstand, blå – meget god tilstand. For stasjonene EC1 og K17 er indeksverdiene beregnet som gjennomsnitt over de parallelle prøvene.

Stasjon	Areal	Artstall	Ind.	Ind/m <sup>2</sup>	NQI 1	NQI 2	H'	ES <sub>100</sub>	ISI
EC1	0,4	71	3031	7578	0,67	0,57	3,12	17,8	7,55
K17	0,2	68	1223	6115	0,75	0,68	3,89	25,8	9,03
KH03	0,1	30	343	3430	0,73	0,68	3,47	19,8	8,03

Sammensetningen av faunaen på stasjonene og egenskapene til de dominerende artene indikerer imidlertid at tilstanden nok ikke var fullt så god som vurderingskriteriene til Vanddirektivet gir inntrykk av. Alle stasjonene var dominert av børstemark, muslinger og slangestjerner (**Tabell 17**). Flere av de dominerende artene, som båndmark, børstemarkene *Mediomastus* og *Chaetozone* og muslingen *Thyasira* har høye toleranser for miljøpåvirkninger og finnes ofte i forurensede eller

organisk anrikede sedimenter. For eksempel er båndmark (*Nemertinea*), *Chaetozone*, *Paramphinome*, *Scalibregma*, *Thyasira* og *Corbula* listet blant arter som øker ved organisk anrikning og noen også ved høye konsentrasjoner av miljøgifter (Hiscock mfl. 2004). Det var spesielt stasjon EC1 (Elkem Carbon AS) som var preget av høye individtettheter av svært tolerante arter. I sedimentet på denne lokaliteten var det høyt innhold av organisk stoff og enkelte metaller (Cu, Ni, Pb; **Tabell 14**) og svært høye konsentrasjoner av PAH (**Tabell 15**). Det er naturlig å tolke dominansen av tolerante arter som en effekt av sedimentforholdene, men samtidig har lokaliteten høy artsrikhet som medfører at tilstanden karakteriseres som ”god” etter Vanddirektivets kriterier.

På stasjon K17 i Fiskåbukta var det høyest tettheter av den røde slangestjernen *Amphiura* (**Tabell 17**). Denne arten øker ofte i antall ved moderat organisk anrikning, men avtar ved høy belastning. Den er påvist å bli negativt påvirket av PAH og oljekomponenter og er listet som følsom både for organisk påvirkning og miljøgifter (Hiscock mfl. 2004). Tidligere undersøkelser har indikert at den avtar sterkt ved sedimentkonsentrasjoner av PAH som overstiger 10.000 µg/kg (Oug mfl. 1998). *Amphiura* var også dominerende ved undersøkelsen i 2006, mens det ble målt konsentrasjoner av PAH på omkring 35.000 µg/kg (Berge mfl. 2007). Trolig er arten her på grensen av sin toleranse. De øvrige dominerende artene indikerer at bunnfaunaen var påvirket av organisk stoff eller miljøgifter, selv om tilstanden karakteriseres som ”meget god” etter Vanddirektivets kriterier.

**Tabell 17.** De 10 viktigste artene med individtetthet (ind/m<sup>2</sup>) på stasjonene i Fiskåbukta 10.12.2010. b = børstemark, bm = båndmark, k = krepsdyr, m = muslinger, sl = slangestjerne.

Elkem Carbon, EC 1 (0.4 m <sup>2</sup> )			Fiskåbukta, K17 (0.2 m <sup>2</sup> )		
	Gruppe	Ind/m <sup>2</sup>		Gruppe	Ind/m <sup>2</sup>
<i>Mediomastus fragilis</i>	b	3223	<i>Amphiura</i> sp	sl	1910
<i>Chaetozone</i> sp	b	970	<i>Amphiura filiformis</i>	sl	975
<i>Nemertinea</i> indet	bm	685	<i>Chaetozone</i> sp	b	500
<i>Thyasira</i> sp	m	475	<i>Ophiuroidea</i> indet	sl	385
<i>Magelona minuta</i>	b	373	<i>Scalibregma inflatum</i>	b	320
<i>Kurtiella bidentata</i>	m	338	<i>Nemertinea</i> indet	bm	165
<i>Nucula</i> cf <i>hanleyi</i>	m	298	<i>Paramphinome jeffreysi</i>	b	130
<i>Thyasira</i> cf <i>flexuosa</i>	m	150	<i>Corbula gibba</i>	m	125
<i>Corbula gibba</i>	m	108	<i>Prionospio fallax</i>	b	115
<i>Ampelisca tenuicornis</i>	k	83	<i>Amphiura chiajei</i>	sl	115

Bragdøya, KH 3 (0.1 m <sup>2</sup> )		
	Gruppe	Ind/m <sup>2</sup>
<i>Nucula</i> cf <i>hanleyi</i>	m	1000
<i>Kurtiella bidentata</i>	m	670
<i>Chaetozone</i> sp	b	370
<i>Nemertinea</i> indet	bm	330
<i>Thyasira</i> sp	m	150
<i>Magelona minuta</i>	b	120
<i>Corbula gibba</i>	m	100
<i>Thyasira</i> cf <i>flexuosa</i>	m	100
<i>Pholoe baltica</i>	b	70
<i>Scalibregma inflatum</i>	b	60

I **Tabell 18** er det gitt en oppsummering av tidligere undersøkelser i Fiskåbukta og nærområdet til Elkem Carbon og Elkem Solar. Stasjon K17 i Fiskåbukta ble undersøkt i 1983 ved basisundersøkelsen av Kristiansandsfjorden og senere i 2006 (Rygg 1985, Berge mfl. 2007). I 1983 var tilstanden dårlig, mens den i 2006 var betydelig forbedret. Ved foreliggende undersøkelse var tilstanden ytterligere forbedret. I 2001 ble det gjennomført en forenklet undersøkelse i grunne områder som omfattet i alt fire lokaliteter i Fiskåbukta (KH03, 05, 07, 09) og en lokalitet i Vesterhavn (KH15) (Skei mfl. 2002). Lokalitetene KH05 og KH09 lå henholdsvis like sørvest for og like nordøst for stasjon EC1, mens KH07 lå ved Svensholmen på motsatt side av Fiskåbukta. Alle stasjonene var på omtrent samme dyp. Disse lokalitetene viste nær samme eller litt dårligere tilstand enn EC1. Vurdert etter systemet for klassifisering av miljøtilstand til Vanndirektivet gir undersøkelsene inntrykk av at tilstanden i Fiskåbukta var god og at den har blitt ytterligere forbedret over de siste årene.

**Tabell 18.** Sammenlignende data fra tidligere undersøkelser av bunnfauna i Fiskåbukta. Fargene angir økologisk tilstandsklasse etter systemet til Vanndirektivet for de tre indeksene NQI1, H' og ISI: blå – meget god tilstand, grønn – god tilstand, gul – moderat tilstand, oransje - dårlig tilstand.

Stasjon	År	Dyp	Areal	Artstall	Ind/m <sup>2</sup>	NQI 1	H'	ISI
<b>K17 Fiskåbukta</b>	<b>2010</b>	31	0,2	68	6115	0,75	3,89	9,03
	2006	31	0,4	45	3263	0,69	3,03	7,89
	1983	31	0,3	15	11010	0,42	0,97	4,82
<b>KH03 Bragdøya</b>	<b>2010</b>	17	0,1	30	3430	0,73	3,47	8,03
	2001	17	0,1	23	1430	0,65	3,36	7,33
<b>EC1 Elkem Carbon AS</b>	<b>2010</b>	21	0,4	71	7578	0,67	3,12	7,55
KH05 Lumber	2001	20	0,1	23	3220	0,64	3,61	7,10
KH07 Svensholmen	2001	18	0,1	15	1960	0,60	2,18	8,37
KH09 Fiskå verk kai	2001	17	0,1	22	2590	0,64	3,05	7,12
KH15 Kjerkebåen	2001	21	0,1	56	4000	0,77	4,63	8,80

## 4. Referanser

- Bakke, T., Breeveld, G., Källqvist, T., Oen, A., Eek, E., Ruus, A., Kibsgaard, A., Helland, A., Hylland, K. 2007. Veileder for klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann – Revisjon av klassifisering av metaller og organiske miljøgifter i vann og sedimenter. Klif TA-2229/2007.
- Berge, J.A., Bjerkeng, B., Næs, K., Oug, E., Ruus, A. 2007. Undersøkelse av miljøtilstanden i Kristiansandsfjorden 2006. Miljøgifter i sediment og organismer og sammensetning av bløtbunnsfauna. NIVA-rapport 5506-2007.
- Green, N.W., Schøyen, M., Øxnevad, S., Ruus, A., Høgåsen, T., Beylich, B., Håvardstun, J., Rogne, Å.G., Tveiten, L. 2010. Coordinated Environmental Monitoring Programme (CEMP). Hazardous substances in fjords and coastal waters – 2009. Levels, trends and effects. Klima- og forurensningsdirektoratet (Klif), Statlig program for forurensningsovervåking, SPFO-rapportnr. 1079/2010, TA nr. 2716/2010. NIVA prosjekt nummer O-10106, 80106, 26106, 27106 og 28106 og rapport nummer 6048-2010, 287 sider.
- Hiscock K, Langmead O, Warwick R. 2004. Identification of seabed indicator species from time-series and other studies to support implementation of the EU Habitats and Water Framework Directives. Report to the JNCC and EAMBA. Plymouth 109 pp. Internett: [www.vliz.be](http://www.vliz.be)
- Huckins JN, Petty JD, and Booij K. Monitors of organic chemicals in the environment: Semipermeable membrane devices, New York: Springer, 2006
- Knutzen, J. K. Næs, L. Berglind, Aa. Biseth, E.M. Brevik, N. Følsvik og M. Schlabach. 1998. Overvåking av miljøgifter i sedimenter og organismer fra Kristiansandsfjorden 1996. Statlig prog. Forurensningsovervåk., TA-1539/1998, NIVA-rapport 3833-1998.
- Knutzen, J., Green, N.W., 2001. *Joint Assessment and Monitoring Programme (JAMP)*. "Bakgrunnsnivåer" av miljøgifter i fisk og blåskjell basert på datamateriale fra 1990-1998. Klima- og forurensningsdirektoratet, overvåkingsrapport nr. 820/01, TA nr. 1798/2001. NIVA prosjekt O-80106, rapport nummer 4339-2001, 145 sider. ISBN nummer 82-577-3973-1.
- Molvær J., J. Knutzen, J. Magnusson, B. Rygg, J. Skei og J. Sørensen. 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. SFT-veiledning nr. 97:03, TA-1467/1997.
- Molvær J., Farnen, F., og Lillicrap, A. 2011. Resipientvurdering knyttet til utslipp av suspendert stoff fra Elkem Solar i Kristiansand. O-10504. Teknisk notat N-14/11. 23s.
- Næs, K., Rygg, B. 2001. Tiltaksplan for opprydding i forurensede sedimenter i Kristiansandsfjorden. Kartlegging av konsentrasjoner i sedimentet i 2001 samt kartfremstilling av resultater fra tidligere undersøkelser. NIVA-rapport 4371-2001.
- Oug E, Næs K, Rygg B. 1998. Relationship between soft bottom macrofauna and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) from smelter discharge in Norwegian fjords and coastal waters. Mar. Ecol. Prog. Ser 173: 39-52.
- Oug, E., Ruus, A., Håvardstun, J. 2004. Miljøtilstanden i Hanneviksbukta og Vesterhavn, Kristiansandsfjorden, før tildekking av forurensede bunnsedimenter. Bunnfauna og miljøgifter i organismer. NIVA-rapport 4915-2004.



Ruus, A., Molvær, J., Uriansrud, F., Næs, K. 2005. Risikovurderinger av PAH-kilder i nærområdet til Elkem i Kristiansand NIVA-rapport 5042-2005. 118s.

Rygg B. 1985. Basisundersøkelse av Kristiansandsfjorden. Delrapport I. Bløtbunnsfaunaundersøkelser 1983. Statlig program forurensningsovervåking 176/85, NIVA rapport 1711. SFT/NIVA. 60 s.

Schaanning, M.T. og Næs, K., 2006a. Miljøriskovurdering av utslipp til Kristiansandsfjorden fra Elkem Solar AS' rensanlegg – Revisjon 1. NIVA-rapport nr. 5234-2006. 51 sider.

Schaanning, M.T. og Næs, K., 2006b. Forslag til overvåkingsprogram for utslipp fra Elkem Solar til Fiskåbukta i Kristiansandsfjorden. NIVA-notat 15.09.2006. 4s.

Schøyen, M, Håvardstun, J, Øxnevad, S, Allan, I, Næs, Kristoffer. 2010. Overvåking av miljøgifter i Kristiansandsfjorden i 2010. Undersøkelse av blåskjell, taskekrabber og passive prøvetakere i vann. NIVA rapport 6089-2010. 167s.

Skei J, Olsgard F, Ruus A, Oug E, Rygg B. 2002. Risikovurderinger knyttet til forurensede sedimenter med fokus på Kristiansandsfjorden. SFT rapport TA 1864/2002. Internett: [www.klif.no/publikasjoner/1864/ta1864.pdf](http://www.klif.no/publikasjoner/1864/ta1864.pdf)

Veileder 01:2009. Klassifisering av miljøtilstand i vann. Økologisk og kjemisk klassifiseringssystem for kystvann, innsjøer og elver i henhold til vannforskriften. Direktoratsgruppa for gjennomføringen av vanndirektivet. Internett: [www.vannportalen.no](http://www.vannportalen.no)

## 5. Vedlegg: Analyseresultater

Blåskjell:

Side nr. 1/1

Norsk  
Institutt  
for  
Vannforskning

Gaustadalléen 21  
0349 Oslo  
Tel: 22 18 51 00  
Fax: 22 18 52 00

### ANALYSE RAPPORT



Navn **ElkemSjø**  
Adresse

<b>Deres referanse:</b>	<b>Vår referanse:</b>	<b>Dato</b>
	Rekv.nr. 2010-2479	10.03.2011
	O.nr. O 10214	

Prøvene ble levert ved NIVAs laboratorium av oppdragsgiver, og merket slik som gjengitt i tabellen nedenfor. Prøvene ble analysert med følgende resultater (analyseusikkerhet kan fås ved henvendelse til laboratoriet):

Prøvenr	Prøve merket	Prøvetakings- dato	Mottatt NIVA	Analyseperiode
1	Fiskåtangen,Stedegen	2010.09.28	2010.10.22	2010.11.12-2010.11.29
2	Lumber,Stedegen	2010.09.28	2010.10.22	2010.11.12-2010.11.29
3	Timlingen,Stedegen	2010.09.28	2010.10.22	2010.11.12-2010.11.29
4	Fiskåtangen,Utsatt	2010.09.28	2010.10.22	2010.11.12-2010.11.29
5	Lumber,Utsatt	2010.09.28	2010.10.22	2010.11.12-2010.11.29
6	Kjerkebåen,Utsatt	2010.09.28	2010.10.22	2010.11.12-2010.11.29

Analysevariabel	Enhet	Prøvenr Metode	1	2	3	4	5	6
Tørrestoff	%	B 3	16	13	13	19	19	21
Fett	% pr. v.v.	H 3-4	1,9	1,3	1,2	2,5	2,6	2,7
Aluminium	µg/g v.v.	E 8-3	9,8	8,8	7,1			
Arsen	µg/g v.v.	E 8-3	2,48	1,75	2,26			
Kadmium	µg/g v.v.	E 8-3	0,149	0,168	0,180			
Kobolt	µg/g v.v.	E 8-3	0,147	0,156	0,164			
Krom	µg/g v.v.	E 9-5	0,2	0,2	0,2			
Kobber	µg/g v.v.	E 8-3	1,48	1,34	1,09			
Jern	µg/g v.v.	E 8-3	31	64	41			
Kvikksølv	µg/g v.v.	E 4-3	0,012	0,017	0,022			
Nikkel	µg/g v.v.	E 8-3	0,45	0,47	0,52			
Bly	µg/g v.v.	E 8-3	0,21	0,43	0,45			
Silisium	µg/g v.v.	E 9-5*	25	16	12			
Sink	µg/g v.v.	E 8-3	15,9	16,8	17,0			
Naftalen	µg/kg v.v.	H 2-4	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,66
Acenaftylen	µg/kg v.v.	H 2-4	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Acenaften	µg/kg v.v.	H 2-4	<0,5	2,0	<0,5	<0,5	0,55	<0,5
Fluoren	µg/kg v.v.	H 2-4	<0,5	2,0	<0,5	0,52	0,70	<0,5
Dibenzotiofen	µg/kg v.v.	H 2-4	<0,5	0,91	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Fenantren	µg/kg v.v.	H 2-4	3,9	11	2,8	4,0	5,5	2,8
Antracen	µg/kg v.v.	H 2-4	<0,5	2,0	<0,5	0,63	0,79	<0,5
Fluoranten	µg/kg v.v.	H 2-4	9,2	40	8,5	9,3	14	5,8
Pyren	µg/kg v.v.	H 2-4	7,2	32	6,6	8,4	13	4,8
Benz(a)antracen	µg/kg v.v.	H 2-4	5,6	56	8,8	3,0	4,5	1,4
Chrysen	µg/kg v.v.	H 2-4	5,0	29	5,8	3,3	4,6	1,7
Benzo(b+j)fluoranten	µg/kg v.v.	H 2-4	6,2	36	7,8	5,2	7,7	2,8
Benzo(k)fluoranten	µg/kg v.v.	H 2-4	2,2	15	2,9	1,9	2,9	0,93
Benzo(e)pyren	µg/kg v.v.	H 2-4	6,8	31	7,5	6,8	10	3,6
Benzo(a)pyren	µg/kg v.v.	H 2-4	2,2	14	2,4	2,1	3,3	0,80

ANALYSE  
RAPPORT

Rekv.nr. 2010-2479

(fortsettelse av tabellen):

Prøvenr	Prøve merket	Prøvetakings- dato	Mottatt NIVA	Analyseperiode
1	Fiskåtangen,Stedegen	2010.09.28	2010.10.22	2010.11.12-2010.11.29
2	Lumber,Stedegen	2010.09.28	2010.10.22	2010.11.12-2010.11.29
3	Timlingen,Stedegen	2010.09.28	2010.10.22	2010.11.12-2010.11.29
4	Fiskåtangen,Utsatt	2010.09.28	2010.10.22	2010.11.12-2010.11.29
5	Lumber,Utsatt	2010.09.28	2010.10.22	2010.11.12-2010.11.29
6	Kjerkebåen,Utsatt	2010.09.28	2010.10.22	2010.11.12-2010.11.29

Prøvenr Analysevariabel Metode	Enhet	1	2	3	4	5	6
Indeno(1,2,3cd)pyren	µg/kg v.v. H 2-4	1,6	9,0	2,3	1,6	2,2	0,68
Dibenz(ac+ah)antrac.	µg/kg v.v. H 2-4	<0,5	2,3	<0,5	<0,5	0,59	<0,5
Benzo(ghi)perylen	µg/kg v.v. H 2-4	2,6	11	3,6	2,8	4,1	1,3
Sum PAH Beregnet	µg/kg v.v.	<57,1	<300,71	<63,6	<53,35	<78,13	<30,83
Sum PAH16 Beregnet	µg/kg v.v.	<48,7	<262,3	<54,5	<44,75	<65,43	<26,17
Sum KPAH Beregnet	µg/kg v.v.	<23,8	<161,8	<31	<18,1	<26,29	<9,47
Kalsium	µg/g v.v. E 8-3	450	590	450			

Norsk institutt for vannforskning

Karin Lang-Ree  
Laboratoriesekretær

Sedimenter (Stasjon KR3= KH03):

Side nr.1/1

Norsk Institutt for Vannforskning  
Gautadalléen 21  
0349 Oslo  
Tel: 22 18 51 00  
Fax: 22 18 52 00

## ANALYSE RAPPORT



Navn **ElkemSjø**  
Adresse

Deres referanse:	Vår referanse:	Dato
	Rekv.nr. 2010-2968 O.nr. O 10214	10.03.2011

Prøvene ble levert ved NIVAs laboratorium av oppdragsgiver, og merket slik som gjengitt i tabellen nedenfor. Prøvene ble analysert med følgende resultater (analyseusikkerhet kan fås ved henvendelse til laboratoriet):

Prøvenr	Prøve merket	Prøvetakings-dato	Mottatt NIVA	Analyseperiode
1	KR 3 I	2010.12.09	2010.12.16	2010.12.15-2011.02.14
2	KR 3 II	2010.12.09	2010.12.16	2010.12.15-2011.02.14
3	KR 3 III	2010.12.09	2010.12.16	2010.12.15-2011.02.14
4	KR 3 IV	2010.12.09	2010.12.16	2010.12.15-2011.02.14
5	KR 3 V	2010.12.09	2010.12.16	2010.12.15-2011.02.14

Analysevariabel	Enhet	Prøvenr Metode	1	2	3	4	5
Tørrstoff	%	B 3	47,4	44,7	43,6	40,1	43,6
Kornfordeling <63µm	% t.v.	Intern*	58	67	72	77	76
Karbon, org. total	µg C/mg TS	G 6	30,1	26,4	30,5	33,4	23,7
Aluminium	µg/g t.v.	E 9-5	9320	9760	10200	10400	9230
Arsen	µg/g t.v.	E 9-5	21	23	21	24	20
Kalsium	µg/g t.v.	E 9-5	7020	7330	7030	7070	6760
Kadmium	µg/g t.v.	E 9-5	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Kobolt	µg/g t.v.	E 9-5	14,8	14,9	16,0	16,4	12,8
Krom	µg/g t.v.	E 9-5	40,1	40,9	43,2	45,7	35,9
Kobber	µg/g t.v.	E 9-5	226	236	259	284	203
Jern	µg/g t.v.	E 9-5	17900	18300	18900	19500	17100
Kvikksølv	µg/g t.v.	E 4-3	0,21	0,22	0,25	0,28	0,22
Nikkel	µg/g t.v.	E 9-5	342	345	371	391	285
Bly	µg/g t.v.	E 9-5	62,5	64,5	68,1	71,5	54,1
Silisium	µg/g t.v.	E 9-5*	931	979	1030	997	923
Sink	µg/g t.v.	E 9-5	81,6	82,8	88,0	91,1	74,2
Naftalen i sediment	µg/kg t.v.	H 2-3	130	120	160	180	200
Acenafitylen	µg/kg t.v.	H 2-3	24	25	37	35	25
Acenaften	µg/kg t.v.	H 2-3	170	180	190	240	220
Fluoren	µg/kg t.v.	H 2-3	150	140	170	200	180
Dibenzotiofen	µg/kg t.v.	H 2-3	82	79	93	100	89
Fenantren	µg/kg t.v.	H 2-3	940	970	1100	1300	1100
Antracen	µg/kg t.v.	H 2-3	360	360	410	480	410
Fluoranten	µg/kg t.v.	H 2-3	1900	1900	2200	2600	2100
Pyren	µg/kg t.v.	H 2-3	1700	1700	1900	2300	1900
Benz(a)antracen	µg/kg t.v.	H 2-3	1100	1100	1300	1500	1300
Chrysen	µg/kg t.v.	H 2-3	980	1000	1500	1400	1200
Benzo(b+j)fluoranten	µg/kg t.v.	H 2-3	1700	1700	2000	2200	1900
Benzo(k)fluoranten	µg/kg t.v.	H 2-3	700	700	800	900	770
Benzo(e)pyren	µg/kg t.v.	H 2-3	860	850	980	1100	920

ANALYSE  
RAPPORT

Rekv.nr. 2010-2968

(fortsettelse av tabellen):

Prøvenr	Prøve merket	Prøvetakings- dato	Mottatt NIVA	Analyseperiode
1	KR 3 I	2010.12.09	2010.12.16	2010.12.15-2011.02.14
2	KR 3 II	2010.12.09	2010.12.16	2010.12.15-2011.02.14
3	KR 3 III	2010.12.09	2010.12.16	2010.12.15-2011.02.14
4	KR 3 IV	2010.12.09	2010.12.16	2010.12.15-2011.02.14
5	KR 3 V	2010.12.09	2010.12.16	2010.12.15-2011.02.14

Analysevariabel	Enhet	Prøvenr Metode	1	2	3	4	5
Benzo(a)pyren	µg/kg t.v.	H 2-3	1300	1400	1500	1700	1500
Perylen	µg/kg t.v.	H 2-3	330	350	410	450	380
Indeno(1,2,3cd)pyren	µg/kg t.v.	H 2-3	870	920	1100	1200	1000
Dibenz(ac+ah)antrac.	µg/kg t.v.	H 2-3	210	220	270	300	250
Benzo(ghi)perylene	µg/kg t.v.	H 2-3	900	940	1100	1200	1000
Sum PAH	µg/kg t.v.	Beregnet	14406	14654	17220	19385	16444
Sum PAH16	µg/kg t.v.	Beregnet	13134	13375	15737	17735	15055
Sum KPAH	µg/kg t.v.	Beregnet	6990	7160	8630	9380	8120

Norsk institutt for vannforskning

Karin Lang-Ree  
Laboratoriesekretær

Norsk  
Institutt  
for  
Vannforskning

Gaustadalléen 21  
0349 Oslo  
Tel: 22 18 51 00  
Fax: 22 18 52 00

## ANALYSE RAPPORT



Navn **ElkemSjø**  
Adresse

<b>Deres referanse:</b>	<b>Vår referanse:</b>	<b>Dato</b>
	Rekv.nr. 2010-2966	10.03.2011
	O.nr. O 10214	

Prøvene ble levert ved NIVAs laboratorium av oppdragsgiver, og merket slik som gjengitt i tabellen nedenfor. Prøvene ble analysert med følgende resultater (analyseusikkerhet kan fås ved henvendelse til laboratoriet):

Prøvenr	Prøve merket	Prøvetakings-dato	Mottatt NIVA	Analyseperiode
1	ES 1 I	2010.12.09	2010.12.14	2010.12.15-2011.02.16
2	ES 2 I	2010.12.09	2010.12.14	2010.12.15-2011.02.16
3	ES 3 I	2010.12.09	2010.12.14	2010.12.15-2011.02.16

Analysevariabel	Enhet	Prøvenr Metode	1	2	3
Tørrstoff	%	B 3	44,2	50,6	36,0
Kornfordeling <63µm	% t.v.	Intern*	34	27	52
Karbon, org. total	µg C/mg TS	G 6	70,2	51,3	125
Aluminium	µg/g t.v.	E 9-5	9850	8410	16400
Arsen	µg/g t.v.	E 9-5	75,0	56	60
Kalsium	µg/g t.v.	E 9-5	74600	27800	27500
Kadmium	µg/g t.v.	E 9-5	<0,2	<0,2	0,3
Kobolt	µg/g t.v.	E 9-5	38,6	33,7	31,0
Krom	µg/g t.v.	E 9-5	107	95,3	79,0
Kobber	µg/g t.v.	E 9-5	699	567	610
Jern	µg/g t.v.	E 9-5	23200	18700	25200
Kvikksølv	µg/g t.v.	E 4-3	0,41	0,37	0,48
Nikkel	µg/g t.v.	E 9-5	1100	952	643
Bly	µg/g t.v.	E 9-5	179	139	138
Silisium	µg/g t.v.	E 9-5*	943	945	2550
Sink	µg/g t.v.	E 9-5	124	113	197
Naftalen i sediment	µg/kg t.v.	H 2-3	6200	850	3000
Acenaftylen	µg/kg t.v.	H 2-3	1500	85	310
Acenaften	µg/kg t.v.	H 2-3	22000	830	4200
Fluoren	µg/kg t.v.	H 2-3	26000	690	3500
Dibenzotiofen	µg/kg t.v.	H 2-3	12000	340	1600
Fenantren	µg/kg t.v.	H 2-3	s120000	4900	26000
Antracen	µg/kg t.v.	H 2-3	s39000	1600	6400
Fluoranten	µg/kg t.v.	H 2-3	s100000	8900	47000
Pyren	µg/kg t.v.	H 2-3	s78000	7500	38000
Benz(a)antracen	µg/kg t.v.	H 2-3	s41000	4600	21000
Chrysen	µg/kg t.v.	H 2-3	s30000	3900	19000
Benzo(b+j)fluoranten	µg/kg t.v.	H 2-3	s36000	5600	26000
Benzo(k)fluoranten	µg/kg t.v.	H 2-3	19000	2700	13000
Benzo(e)pyren	µg/kg t.v.	H 2-3	s20000	3100	14000

s : Det er knyttet større usikkerhet enn normalt til kvantifiseringen.

ANALYSE  
RAPPORT

Rekv.nr. 2010-2966

(fortsettelse av tabellen):

Prøvenr	Prøve merket	Prøvetakings- dato	Mottatt NIVA	Analyseperiode
1	ES 1 I	2010.12.09	2010.12.14	2010.12.15-2011.02.16
2	ES 2 I	2010.12.09	2010.12.14	2010.12.15-2011.02.16
3	ES 3 I	2010.12.09	2010.12.14	2010.12.15-2011.02.16

Analysevariabel	Enhet	Prøvenr Metode	1	2	3
Benzo(a)pyren	µg/kg	t.v. H 2-3	s37000	5300	25000
Perylen	µg/kg	t.v. H 2-3	9100	1400	6300
Indeno(1,2,3cd)pyren	µg/kg	t.v. H 2-3	16000	2800	13000
Dibenz(ac+ah)antrac.	µg/kg	t.v. H 2-3	3900	620	2900
Benzo(ghi)perylene	µg/kg	t.v. H 2-3	17000	3000	14000
Sum PAH	µg/kg	t.v. Beregnet	s633700	58715	284210
Sum PAH16	µg/kg	t.v. Beregnet	s592600	53875	262310
Sum KPAH	µg/kg	t.v. Beregnet	s189100	26370	122900

s : Det er knyttet større usikkerhet enn normalt til kvantifiseringen.

Norsk institutt for vannforskning

Karin Lang-Ree  
Laboratoriesekretær

Norsk  
 Institutt  
 for  
 Vannforskning

Gaustadalléen 21  
 0349 Oslo  
 Tel: 22 18 51 00  
 Fax: 22 18 52 00

# ANALYSE RAPPORT



Navn **ElkemSjø**  
 Adresse

Deres referanse:	Vår referanse:	Dato
	Rekv.nr. 2010-2970	10.03.2011
	O.nr. O 10214	

Prøvene ble levert ved NIVAs laboratorium av oppdragsgiver, og merket slik som gjengitt i tabellen nedenfor. Prøvene ble analysert med følgende resultater (analyseusikkerhet kan fås ved henvendelse til laboratoriet):

Prøvenr	Prøve merket	Prøvetakings-dato	Mottatt NIVA	Analyseperiode
1	EC 1 I	2010.12.09	2010.12.15	2010.12.15-2011.02.14
2	EC 1 II	2010.12.09	2010.12.15	2010.12.15-2011.02.14
3	EC 1 III	2010.12.09	2010.12.15	2010.12.15-2011.02.14
4	EC 1 IV	2010.12.09	2010.12.15	2010.12.15-2011.02.14
5	EC 1 V	2010.12.09	2010.12.15	2010.12.15-2011.02.14

Analysevariabel	Enhet	Prøvenr Metode	1	2	3	4	5
Tørrstoff	%	B 3	34,7	29,4	33,1	33,8	34,0
Kornfordeling <63µm	% t.v.	Intern*	49	55	50	50	53
Karbon, org. total	µg C/mg TS	G 6	108	110	109	110	110
Aluminium	µg/g t.v.	E 9-5	12200	11800	12300	12300	12800
Arsen	µg/g t.v.	E 9-5	60	68,5	62	64,5	74,1
Kalsium	µg/g t.v.	E 9-5	8790	7970	8010	8970	8210
Kadmium	µg/g t.v.	E 9-5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5
Kobolt	µg/g t.v.	E 9-5	29,8	30,6	30,1	31,1	34,6
Krom	µg/g t.v.	E 9-5	79,0	64,6	66,8	71,6	85,6
Kobber	µg/g t.v.	E 9-5	633	656	650	621	743
Jern	µg/g t.v.	E 9-5	25700	25800	26500	28700	27100
Kvikksølv	µg/g t.v.	E 4-3	0,55	0,65	0,63	1,28	0,77
Nikkel	µg/g t.v.	E 9-5	690	631	645	663	838
Bly	µg/g t.v.	E 9-5	143	134	168	136	166
Silisium	µg/g t.v.	E 9-5*	930	846	947	912	991
Sink	µg/g t.v.	E 9-5	187	200	190	228	191
Naftalen i sediment	µg/kg t.v.	H 2-3	2000	1700	1800	2500	1500
Acenaftylen	µg/kg t.v.	H 2-3	170	140	320	160	150
Acenaften	µg/kg t.v.	H 2-3	3300	2500	3500	2600	2800
Fluoren	µg/kg t.v.	H 2-3	2900	2200	3100	2300	2300
Dibenzotiofen	µg/kg t.v.	H 2-3	1300	990	1500	1000	1000
Fenantren	µg/kg t.v.	H 2-3	15000	11000	17000	12000	13000
Antracen	µg/kg t.v.	H 2-3	5100	3800	6100	4000	4300
Fluoranten	µg/kg t.v.	H 2-3	25000	19000	30000	21000	23000
Pyren	µg/kg t.v.	H 2-3	24000	19000	28000	20000	22000
Benz(a)antracen	µg/kg t.v.	H 2-3	15000	11000	17000	12000	13000
Chrysen	µg/kg t.v.	H 2-3	14000	10000	16000	12000	12000
Benzo(b+j)fluoranten	µg/kg t.v.	H 2-3	25000	20000	28000	21000	22000
Benzo(k)fluoranten	µg/kg t.v.	H 2-3	10000	7800	11000	8400	8800
Benzo(e)pyren	µg/kg t.v.	H 2-3	13000	10000	14000	11000	11000



ANALYSE  
RAPPORT

Rekv.nr. 2010-2970

(fortsettelse av tabellen):

Prøvenr	Prøve merket	Prøvetakings- dato	Mottatt NIVA	Analyseperiode
1	EC 1 I	2010.12.09	2010.12.15	2010.12.15-2011.02.14
2	EC 1 II	2010.12.09	2010.12.15	2010.12.15-2011.02.14
3	EC 1 III	2010.12.09	2010.12.15	2010.12.15-2011.02.14
4	EC 1 IV	2010.12.09	2010.12.15	2010.12.15-2011.02.14
5	EC 1 V	2010.12.09	2010.12.15	2010.12.15-2011.02.14

Analysevariabel	Enhet	Prøvenr Metode	1	2	3	4	5
Benzo(a)pyren	µg/kg t.v.	H 2-3	21000	16000	23000	17000	18000
Perylen	µg/kg t.v.	H 2-3	4800	3600	5200	4000	4100
Indeno(1,2,3cd)pyren	µg/kg t.v.	H 2-3	12000	9600	13000	10000	10000
Dibenz(ac+ah)antrac.	µg/kg t.v.	H 2-3	2900	2300	3300	2400	2500
Benzo(ghi)perylene	µg/kg t.v.	H 2-3	13000	9800	13000	10000	11000
Sum PAH	µg/kg t.v.	Beregnet	209470	160430	234820	173360	182450
Sum PAH16	µg/kg t.v.	Beregnet	190370	145840	214120	157360	166350
Sum KPAH	µg/kg t.v.	Beregnet	101900	78400	113100	85300	87800

Norsk institutt for vannforskning

Karin Lang-Ree  
Laboratoriesekretær

Norsk  
Institutt  
for  
Vannforskning

Gaustadalléen 21  
0349 Oslo  
Tel: 22 18 51 00  
Fax: 22 18 52 00

# ANALYSE RAPPORT



Navn **Solar resipient**  
Adresse

Deres referanse:	Vår referanse:	Dato
	Rekv.nr. 2011-12	10.03.2011
	O.nr. O 10504	

Prøvene ble levert ved NIVAs laboratorium av oppdragsgiver, og merket slik som gjengitt i tabellen nedenfor. Prøvene ble analysert med følgende resultater (analyseusikkerhet kan fås ved henvendelse til laboratoriet):

Prøvenr	Prøve merket	Prøvetakings- dato	Mottatt NIVA	Analyseperiode
1	K 17 1	2010.12.16	2011.01.04	2011.01.04-2011.01.26

Analysevariabel	Enhet	Prøvenr Metode	1
Tørrestoff	%	B 3	33,3
Kornfordeling <63µm	% t.v.	Intern*	69
Karbon, org. total	µg C/mg TS	G 6	54,8
Aluminium	µg/g t.v.	E 9-5	15800
Arsen	µg/g t.v.	E 9-5	83
Kalsium	µg/g t.v.	E 9-5	11800
Kadmium	µg/g t.v.	E 9-5	<0,3
Kobolt	µg/g t.v.	E 9-5	35,6
Krom	µg/g t.v.	E 9-5	107
Kobber	µg/g t.v.	E 9-5	641
Jern	µg/g t.v.	E 9-5	32100
Kvikksølv	µg/g t.v.	E 4-3	0,42
Nikkel	µg/g t.v.	E 9-5	828
Bly	µg/g t.v.	E 9-5	169
Silisium	µg/g t.v.	E 9-5*	1350
Sink	µg/g t.v.	E 9-5	163

\* : Metoden er ikke akkreditert.

Norsk institutt for vannforskning

Karin Lang-Ree  
Laboratoriesekretær

Passive prøvetakere (SPMD):

Side nr.1/1

Norsk  
 Institutt  
 for  
 Vannforskning

Gaustadalléen 21  
 0349 Oslo  
 Tel: 22 18 51 00  
 Fax: 22 18 52 00

## ANALYSE RAPPORT

Navn **ElkemSjø**  
 Adresse

Deres referanse:	Vår referanse:	Dato
MSC.IAN	Rekv.nr. 2010-2258 O.nr. O 10214	10.03.2011

Prøvene ble levert ved NIVAs laboratorium av oppdragsgiver, og merket slik som gjengitt i tabellen nedenfor. Prøvene ble analysert med følgende resultater (analyseusikkerhet kan fås ved henvendelse til laboratoriet):

Prøvenr	Prøve merket	Prøvetakings-dato	Mottatt NIVA	Analyseperiode
1	Blank	2010.09.29	2010.10.01	2010.10.26-2010.10.27
2	Fiskåtangen	2010.09.29	2010.10.01	2010.10.26-2010.10.27
3	Timlingen	2010.09.29	2010.10.01	2010.10.26-2010.10.27
4	Mytodden	2010.09.29	2010.10.01	2010.10.26-2010.10.27

Analysevariabel	Enhet	Prøvenr Metode	Prøvenr			
			1	2	3	4
Naftalen	ng/SPMD	H 2-2*	97	14	12	<10
Acenaftylen	ng/SPMD	H 2-2*	<5	<5	<5	<5
Acenaften	ng/SPMD	H 2-2*	<5	33	34	18
Fluoren	ng/SPMD	H 2-2	9,8	45	48	30
Dibenzotiofen	ng/SPMD	H 2-2*	<5	18	17	11
Fenantren	ng/SPMD	H 2-2*	24	250	240	170
Antracene	ng/SPMD	H 2-2*	<5	22	16	9,9
Fluoranten	ng/SPMD	H 2-2*	<5	230	160	130
Pyren	ng/SPMD	H 2-2*	<5	170	110	81
Benz(a)antracene	ng/SPMD	H 2-2*	<5	67	35	21
Chrysen	ng/SPMD	H 2-2*	<5	66	36	24
Benzo(b+j)fluoranten	ng/SPMD	H 2-2*	<5	110	62	34
Benzo(k)fluoranten	ng/SPMD	H 2-2*	<5	41	24	12
Benzo(e)pyren	ng/SPMD	H 2-2*	<5	63	38	21
Benzo(a)pyren	ng/SPMD	H 2-2*	<5	45	21	11
Perylen	ng/SPMD	H 2-2*	<5	18	9,2	<5
Indeno(1,2,3cd)pyren	ng/SPMD	H 2-2*	<5	24	14	5,5
Dibenz(ac+ah)antrac.	ng/SPMD	H 2-2*	<5	8,4	5,2	<5
Benzo(ghi)perylene	ng/SPMD	H 2-2*	<5	28	18	9,3
Sum PAH	ng/SPMD	Beregnet	<210,8	<1257,4	<904,4	<612,7
Sum PAH16	ng/SPMD	Beregnet	<195,8	<1158,4	<840,2	<575,7
Sum KPAH	ng/SPMD	Beregnet	<132	375,4	209,2	<122,5
Acenaften-D10	ng/SPMD	H-2-2*	1700	110	99	36
Fluoren d10	ng/SPMD	H 2-2*	1600	210	210	87
Fenantren D10	ng/SPMD	H 2-2*	1800	720	720	410
Chrysen D12	ng/SPMD	H 2-2*	920	870	890	750
Benzo(e)pyren D12	ng/SPMD	H 2-2*	650	640	650	540

\* : 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)