

# Tiltaksplan for forurenset sjøbunn utenfor Elkem Carbon AS, Kristiansand



# RAPPORT

**Hovedkontor**

Gaustadalléen 21  
0349 Oslo  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 22 18 52 00

Internett: [www.niva.no](http://www.niva.no)

**NIVA Region Sør**

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

**NIVA Region Innlandet**

Sandvikaveien 59  
2312 Ottestad  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 62 57 66 53

**NIVA Region Vest**

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

**NIVA Danmark**

Ørestads Boulevard 73  
DK-2300 Copenhagen  
Telefon (45) 8896 9670

Tittel Tiltaksplan for forurenset sjøbunn utenfor Elkem Carbon AS, Kristiansand	Løpenummer 7276-2018	Dato 28.05.2018.
Forfatter(e) Marianne Olsen, Kristoffer Næs, Morten Schaanning, Sigurd Øxnevad, Jarle Håvardstun, Ian Allan, Stephen Sayfritz og Karina Petersen	Fagområde Forurensninger	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Kristiansand	Sider 113

Oppdragsgiver(e) Elkem Carbon AS	Oppdragsreferanse Bente Sundby-Håland
	Utgitt av NIVA Prosjektnummer O-17272

Sammendrag : Elkem Carbon AS har engasjert NIVA for å utarbeide en tiltaksplan for opprydding i forurenset sjøbunn utenfor bedriften i Kristiansand. Behovet for å vurdere tiltak henger sammen med at overvåkingsresultater og risikovurdering av forurenset sjøbunn viser at miljømålet om god kjemisk og økologisk tilstand i vannforekomsten utenfor Elkem Carbon ikke vil være mulig å oppnå med naturlig restitusjon innen 2027. Det forurensningsmessige hovedproblemet er knyttet til Elkem Carbon AS er PAH. Selv om bedriften har redusert sine utslipp betraktelig over de senere årene er det fremdeles for høye tilførsler til sjø og for høye konsentrasjoner i sedimentet til å oppnå akseptabel miljøtilstand. Denne rapporten har derfor følgende tiltaksanbefalinger: i) Kartlegging av aktive tilførsler med påfølgende utslippsbegrensende tiltak må gjennomføres før sedimenttiltak kan iverksettes, ii) Etter at utslippsreducerende tiltak er gjennomført og verifisert, anbefales det å gjøre tildekking i Eldebukta med sikte på å hindre erosjon og spredning av forurenset sediment ut av bukta. iii) I Fiskåbukta, hvor risikoen fra PAH er relativt liten og tilstanden for sedimentlevende dyr god, anbefales det overvåket naturlig restitusjon for å følge effekten av utslippsreduksjoner på sedimentkonsentrasjoner og økologisk risiko knyttet til PAH, spesielt de to komponentene fluoranten og benzo(a)pyren

Fire emneord	Four keywords
1. Forurensning	1. Contamination
2. Sediment	2. Sediment
3. Tiltak	3. Remediation
4. PAH	4. PAH

Denne rapporten er kvalitetssikret iht. NIVAs kvalitetssystem og godkjent av:

Prosjektleder

Marianne Olsen

ISBN 978-82-577-7011-2  
NIVA-rapport ISSN 1894-7948

Forskningsdirektør

Thorjörn Larssen

**Tiltaksplan for forurenset sjøbunn utenfor  
Elkem Carbon AS, Kristiansand**

## Forord

Rapporten presenterer en tiltaksvurdering og anbefaling om tiltaksløsning for forurenset sediment i Elkembukta og Fiskåbukta som følge av Elkem Carbons Asutslipp av PAH. Rapporten følger Miljødirektoratets krav til innhold av tiltaksplan for forurensete sedimenter (Fakta-ark ) og svarer på Miljødirektoratets pålegg til Elkem Carbon AS om å utarbeide en tiltaksplan for opprydding i forurenset sjøbunn utenfor bedriften i Kristiansand. Prosjektet er gjennomført på oppdrag for Elkem Carbon AS i perioden september 2017- mai 2018 og i tett dialog med bedriften. Det er gjennomført tre møter med en intern referansegruppe opprettet av bedriften i løpet av prosjektperioden. Prosjektet har sammenfattet eksisterende kunnskap samt ny kunnskap innhentet gjennom et hovedprosjekt og to delprosjekter. Marianne Olsen har vært prosjektleder for hovedprosjektet. Kristoffer Næs har vært prosjektleder for nye undersøkelser av miljøgifter i sediment, porevann og vann ved hjelp av sedimentfeller, grabb og passive prøvetakere og har i tillegg bidratt med koordinering av arbeidet, sammenfatning av rapporten og i møter med oppdragsgiver. Stephen Sayfritz har vært prosjektleder for undersøkelser av tilførsler til sjø via overvann. Jarle Håvardstun har bidratt med innsamling av data, administrering av kjemiske analyser, gjennomføring av risikovurdering og produksjon av tabeller, kart og figurer. Veronica Sæther Eftevåg har vært kontaktperson mot laboratoriene. Ian Allan har analysert og tolket resultater fra passive prøvetagere. Morten Schaanning har bidratt med sammenstilling av tilførsler og beregninger av betydningen av disse for effekt av tiltak. Sigurd Øxnevad har bidratt med sammenstilling av data og områdebeskrivelse. Karina Petersen har bistått i rapporteringen. Rapporten er kvalitetssikret av Forskningsdirektør Thorjørn Larssen.

Kontaktpersoner hos Elkem Carbon har vært Bente Sundby-Håland og Jens Christian Fjelldal.

Alle takkes for innsatsen!

Oslo, 29.05.2018

*Marianne Olsen*

---

# Innholdsfortegnelse

<b>Sammendrag .....</b>	<b>6</b>
<b>Summary .....</b>	<b>9</b>
<b>1 Innledning.....</b>	<b>10</b>
<b>2 Områdebeskrivelse .....</b>	<b>11</b>
2.1 Vannforekomst.....	11
2.2 Naturforhold.....	14
2.3 Bunnforhold.....	15
2.4 Strømforhold og vannmasser i området utenfor bedriften .....	17
2.5 Arealbruk og planer .....	17
2.6 Advarsler mot inntak av sjømat .....	18
<b>3 Utslipp, andre kilder og tilførsler .....</b>	<b>18</b>
3.1.1 Utslipp fra Elkem Carbon AS .....	18
3.1.2 Andre kilder og tilførsler .....	20
3.1.3 Overvann.....	20
<b>4 Forurensningstilstand.....</b>	<b>22</b>
4.1 Sjøbunn.....	24
4.1.1 Sedimenter.....	24
4.1.2 Løste konsentrasjoner målt i porevann .....	29
4.1.3 Tilstanden for dyrelivet på de bløte bunnene (bløtbunnsfauna) .....	32
4.1.4 Sedimenterende partikler .....	34
4.2 Blåskjell.....	35
4.2.1 Resultater for EUs prioriterte stoffer.....	35
4.2.2 Resultater for vannregionspesifikke stoffer.....	36
4.3 Løste konsentrasjoner i vann .....	38
4.4 Oppsummering av forurensningstilstanden.....	38
<b>5 Risikovurdering .....</b>	<b>42</b>
5.1 Trinn 1, risikovurdering av sedimenter .....	43
5.2 Risikovurdering Trinn 2A, risiko for spredning .....	48
5.3 Risikovurdering trinn 2B, risiko for human helse .....	53
5.4 Risikovurdering trinn 2C, risiko for skade på økosystemet .....	57
5.5 Oppsummering risikovurderinger .....	62
5.5.1 Elkembukta .....	62
5.5.2 Fiskåbukta .....	62
<b>6 Avgrensning av tiltaksområdet .....</b>	<b>63</b>
<b>7 Tiltaksvurdering .....</b>	<b>65</b>
7.1 Mudring og deponering.....	66

---

7.2	Isolerende tildekking .....	67
7.3	Behandling med aktive materialer .....	68
7.4	Overvåket naturlig restitusjon.....	70
7.5	Oppsummering av tiltaksvurderingen.....	72
7.6	Betydningen av tilførsler for rekontaminering etter tiltak.....	74
7.7	Anbefalt tiltaksløsning.....	81
<b>8</b>	<b>Tilpassede miljømål og tiltaksmål .....</b>	<b>82</b>
<b>9</b>	<b>Behov for videre undersøkelser og avklaringer.....</b>	<b>83</b>
9.1	Tiltaksrettede undersøkelser.....	83
9.2	Andre forhold som kan påvirke risiko for gjennomføring.....	84
<b>10</b>	<b>Plan for informasjon og medvirkning .....</b>	<b>84</b>
<b>11</b>	<b>Kontroll og overvåkning .....</b>	<b>85</b>
<b>12</b>	<b>Budsjett for tiltaket.....</b>	<b>85</b>
12.1	Kostnadsestimat.....	85
12.2	Finansieringsløsning og kostnadsfordeling .....	86
<b>13</b>	<b>Framdriftsplan .....</b>	<b>86</b>
<b>14</b>	<b>Referanser .....</b>	<b>88</b>
<b>Vedlegg</b>	<b>.....</b>	<b>91</b>
	Løste konsentrasjoner i sediment .....	91
	SPMD, PAH i passive prøvetakere.....	94
	Sedimentfeller .....	95
	Analyseutskifter sedimenter .....	99

---

## Sammendrag

Elkem Carbon har engasjert NIVA for å utarbeide en tiltaksplan for opprydding i forurenset sjøbunn utenfor bedriften i Kristiansand. Bakgrunn tiltaksplanen er at overvåkingsresultater og risikovurdering av forurenset sjøbunn viser at miljømålet om god kjemisk og økologisk tilstand i vannforekomsten utenfor Elkem Carbon ikke vil være mulig å oppnå med naturlig restitusjon innen 2027.

Elkem Carbon har foretatt omfattende målinger av miljøtilstanden i fjorden utenfor bedriften siden 80-tallet (1983). Kartlagte forurensninger av PAH henger i stor grad sammen med over 100 år med industriell virksomhet på området. Siden miljøkartleggingen startet er utslippene av PAH til sjø fra Elkem Carbon redusert med mer enn 90%. Det er også påvist en generell forbedring av miljøtilstanden i fjorden som sådan. Nyere overvåkingsdata viser imidlertid at det fremdeles er høye konsentrasjoner av forurensningskomponenter. Elkem Carbon har derfor engasjert NIVA for å utrede hensiktsmessige tiltak for å nå miljømål for Kristiansandsfjorden. Formålet med tiltaksplanen er å presentere en plan for gjennomføring av risikoreducerende tiltak med vekt på PAH slik at miljøtilstanden i de berørte vannforekomstene blir merkbart forbedret og ikke utgjør en risiko for helse og miljø, samt at de ikke er til hinder for at god kjemisk og økologisk tilstand i fjorden kan oppnås innen 2027.

Tiltaksplanen er utarbeidet i henhold til Miljødirektoratets fakta-ark om tiltaksplaner for opprydding i forurenset sjøbunn (M-325/2015), og veileder M-350/2015; "Håndtering av sedimenter". Basert på tidligere og nye undersøkelser, redegjør tiltaksplanen for størrelsen på dagens utslipp og tilførsler, andre mulige kilder til resipienten og forurensningstilstanden i resipienten. Det er også gjennomført modellering av hvilket utslippsnivå fremtidige PAH-utslipp kan ha uten at det er fare for rekontaminering av områder hvor det eventuelt har blitt utført tiltak.

I arbeidet med tiltaksplanen er Elkembukta avgrenset fra Fiskåbukta med en rett linje som følger 20 m dybdekoten. Elkembukta representerer dermed et areal på 47 000 m<sup>2</sup>. Fiskåbukta er adskilt fra Elkembukta ved 20 m dyp og innenfor en linje trukket fra Myrodden til Dybingen. Resten av arealet er beregnet dypere enn 10 m koten, og dette utgjør ett areal på anslagsvis 1 210 000 m<sup>2</sup>.

Elkem Carbon har i 2017 et rapportert utslipp av fra prosessvann på ca. 4 kg PAH<sub>16</sub> (EPA). Nylig gjennomførte målinger beregner diffuse tilførsler av PAH til ca. 40 kg/år. Bassert på nye og tidligere målinger er det beregnet et utslipp til sjø fra Elkem Carbon i de senere årene i størrelsesorden 50 kg PAH/år. Omregnet til f.eks. månedsbasis vil tilførslene kunne variere betydelig, ikke minst i perioder med mye nedbør hvor høye tilførsler er observert.

Forurensningstilstanden i Elkembukta er dårlig, særlig med hensyn på PAH. Det er også høye verdier av TBT, men lavere verdier av metaller. I Elkembukta var det overskridelser i forhold til konsentrasjonsmessige grenseverdier i sediment (risiko trinn 1) for samtlige PAH-forbindelser, metallene kobber, nikkell og sink, i tillegg til PCB<sub>7</sub> og TBT. Totalspredningen av PAH<sub>16</sub> fra sedimentene innenfor det definerte arealet ble beregnet til 1,27 kg/år. Spredningen av Cu og Ni ble beregnet til å utgjøre hhv 1,6 og 5 kg/år og spredning av TBT ble beregnet til 0,8 kg/år.

Faren for effekter på økosystemet vurderes ut fra overskridelser av grenseverdier i porevann (PNEC-verdier). For bunnlevende organismer er det i Elkembukta overskridelser for metallene As, Cu og Ni og seks PAH-forbindelser. Størst overskridelse er det for TBT. For vannlevende organismer er det overskridelser for to PAH-forbindelser i tillegg til TBT.

Grenseverdiene for human risiko ble overskredet for PCB<sub>7</sub> og TBT, og i noe mindre grad nikkel. Denne risikoen skyldes hovedsakelig transport i næringskjeden fra bunndyr til lokal sjømat. Beregningen av risiko for skade på human helse forutsetter i praksis at næringskjedetransporten skjer innenfor risikoområdet som innebærer at sjømaten tar all sin næring i området. For stedbundne organismer som f.eks blåskjell vil risikoen være reell, men for fisk som er mobil vil risikoen sannsynligvis være overestimert ettersom fisken vil kunne vandre og beite på andre områder også.

Det er også høye verdier av PAH i sedimentene i Fiskåbukta utenfor Elkembukta, det samme gjelder TBT, mens konsentrasjonene av metaller er høyere enn i Elkembukta. I Fiskåbukta var det overskridelser av konsentrasjonsmessige grenseverdier i sediment (risiko trinn 1) for samtlige PAH-forbindelser med unntak av acenaftylene. Det var også overskridelser for metallene arsen, kobber og nikkel, i tillegg til PCB<sub>7</sub> og TBT. Totalspredningen av PAH<sub>16</sub> fra sedimentene innenfor det definerte arealet ble beregnet til 5,2 kg/år. Spredningen av arsen, kobber og nikkel ble beregnet til å utgjøre hhv 53,6 kg/år, 110 kg/år og 460 kg/år og spredning av TBT ble beregnet til 77 kg/år.

For bunnlevende organismer er det i Fiskåbukta overskridelser for metallene As, Cu og Ni og to PAH-forbindelser og en betydelig overskridelse for TBT. For vannlevende organismer er det overskridelser for en PAH-forbindelse i tillegg til TBT.

Grenseverdiene for human risiko ble overskredet for bly og nikkel, PCB<sub>7</sub> og TBT. Denne risikoen skyldes hovedsakelig transport i næringskjeden fra bunndyr til lokal sjømat. Risikoen skyldes først og fremst sumPCB<sub>7</sub> og TBT, og i mindre grad bly.

Selv om konsentrasjonene av PAH i sedimentet er høye, er risikoen PAH representerer for økosystemet begrenset, særlig i området utenfor Elkembukta. Det skyldes at PAH-forbindelsene er sterkt bundet til partikler som medfører at de løste konsentrasjonene av PAH i porevann er relativt lave.

Det er gjort modelleringer for å beregne hvilke PAH-utslipp man kan ha hvis et eventuelt tiltak ikke skal rekontamineres, men ha varig virkning. Utgangspunkt for modelleringene er et årlig utslipp fra Elkem Carbon på 50 kg PAH og at en reduksjon i utslippene gir en tilsvarende prosentvis endring i konsentrasjoner i sedimentene. Hvis målet er å opprettholde PAH-konsentrasjoner i sedimentet svarende til tilstandsklasse III eller lavere i Elkembukta, må utslippene være lavere enn 0,5 kg PAH<sub>16</sub> pr. år. Hvis man skulle akseptere høyere konsentrasjoner i Elkembukta, men fremdeles det samme kravet i Fiskåbukta, må utslippene ned på 1,3 kg PAH<sub>16</sub>/år.

Det kan muligens synes vanskelig å redusere kildene tilstrekkelig til å oppnå målet om varig tilstand svarende til klasse III eller lavere i sedimentene. I følge risikoveilederen er økologisk risiko knyttet til konsentrasjoner i porevannet og konsentrasjonsmessige grenseverdier er fastsatt for å beskytte økosystemet. Dersom det antas proporsjonalitet mellom utslippsmengder og konsentrasjoner i porevannet, kan det beregnes hvor mye fremtidige utslipp må endres i forhold til dagens nivå. På grunn av PAH-forbindelsenes sterke binding til partikler og dermed lave porevannskonsentrasjoner, er det benzo(a)pyren og fluoranten som blir dimensjonerende i disse beregningene. Modelleringene viser at utslippene må reduseres til 1 % av dagens dersom alle forbindelser skal oppnå tilfredsstillende porevannskonsentrasjoner både i Elkembukta og Fiskåbukta. Beregningene viser samtidig at en noe mer moderat reduksjon til 20 % av dagens nivå vil kunne gi tilfredsstillende økologisk risiko for alle PAH-forbindelser i Fiskåbukta.

Basert på vurderingen gjort i arbeidet med tiltaksplanen, er følgende anbefalinger gitt:



Gjennomføring av sedimenttiltak forutsetter at aktive kilder er under kontroll. Tiltak rettet mot forurenset sjøbunn utenfor Elkem Carbon forutsetter kontroll på kilder og utslippsreduksjon er derfor det primære tiltaket for Elkem Carbon. Kartlegging av aktive tilførsler med påfølgende utslippsbegrensende tiltak må gjennomføres før sedimenttiltak kan iverksettes. Det er identifisert tiltaksrettede undersøkelser med sikte på å avklare betydningen av tilførsler via overvann og eventuelle episodiske tilførsler fra sedimentasjonsbasseng for prosessvann til Fiskåbekken.

Etter at utslippsreducerende tiltak er gjennomført og verifisert, anbefales det å gjøre tildekking i Elkembukta med sikte på å hindre erosjon og spredning av forurenset sediment ut av bukta. Det anbefales å gjøre tildekkingen i kombinasjon med aktivt kull-behandling for å redusere porevannskonsentrasjonen av PAH i sedimentet og dermed redusere økologisk risiko. Effekten av aktivt kull på PAH må imidlertid avklares.

I Fiskåbukta, hvor risikoen fra PAH er relativt liten og tilstanden for sedimentlevende dyr god, anbefales det overvåket naturlig restitusjon for å følge effekten av utslippsreduksjoner på sedimentkonsentrasjoner og økologisk risiko knyttet til PAH, spesielt de to komponentene fluoranten og benzo(a)pyren.

Forutsatt at verifisering av effekt av utslippsbegrensende tiltak viser forventet effekt, er det foreslått gjennomføring av tildekking i 2020/2021.

## Summary

Title: Remediation action plan for contaminated sediments outside Elkem Carbon AS, Kristiansand

Year: 2018

Authors: Marianne Olsen, Kristoffer Næs, Morten Schaanning, Sigurd Øxnevad, Jarle Håvardstun, Ian Allan, Stephen Sayfritz og Karina Petersen.

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN 978-82-577-7011-2

In a letter dated 16 August 2017, the Norwegian Environmental Agency has instructed Elkem Carbon AS to draw up an action plan for cleanup in contaminated seabed outside the company in Kristiansand. The Norwegian Environmental Agency justifies its order that monitoring results and risk assessment of contaminated seabed show that the environmental objective of good chemical and ecological conditions in the water source outside Elkem Carbon AS will not be possible to achieve with natural recovery by 2027. The pollutant main concern associated with Elkem Carbon AS is PAH. Although the company has reduced its emissions considerably over recent years, it is still too high discharges to sea and too high concentrations in the sediment to achieve acceptable environmental conditions. This report therefore has the following recommendations for action: i) Mapping of active inputs with subsequent emission control measures must be carried out before sediment measures can be implemented. ii) After emission reduction measures have been completed and verified, it is recommended to cap the Elkembukta with the aim of preventing erosion and spreading of contaminated sediment out of the bay. iii) In Fiskåbukta, where the risk of PAH is relatively low and the condition for sediment-living animals is good, monitored natural recovery is recommended to monitor the effect of emission reductions on sediment concentrations and ecological risk associated with PAH, especially the two components fluoranthene and benzo(a)pyrene

# 1 Innledning

Miljødirektoratet har i brev datert 16.8.2017 pålagt Elkem Carbon AS å utarbeide en tiltaksplan for opprydding i forurenset sjøbunn utenfor bedriften i Kristiansand. I pålegget er det henvist til

- Elkem Carbon utslippstillatelse av 22. februar 2005
- Oppdatert risikovurdering av sedimenter og overvåking med vekt på PAH av det nære sjøområdet til Elkem i Kristiansand i 2013, datert 9. april 2014 (NIVA-rapport 6664)
- Rapporter fra tiltaksrettet overvåking i henhold til vannforskriften i 2015 (NIVA-rapport 7006) og 2016 (NIVA-rapport 7123), datert henholdsvis 26. februar 2016 og 27. februar 2017
- Elkem Carbons kommentarer til Miljødirektoratets varsel om utarbeidelse av tiltaksplan oversendt 23. juni 2017.

Miljødirektoratet begrunner sitt pålegg med at overvåkingsresultater og risikovurdering av forurenset sjøbunn viser at miljømålet om god kjemisk og økologisk tilstand i vannforekomsten utenfor Elkem Carbon ikke vil være mulig å oppnå med naturlig restitusjon innen 2027. Miljødirektoratet mener derfor at det er nødvendig å utrede tiltak for at miljømålene skal nås.

Elkem Carbon har foretatt omfattende målinger av miljøtilstanden i fjorden utenfor bedriften siden 80-tallet (1983). Kartlagte forurensninger, i hovedsak PAH, henger i stor grad sammen med over 100 år med industriell virksomhet på området. Siden miljøkartleggingen startet er utslippene av PAH til sjø fra Elkem Carbon redusert kraftig (med mer enn 90%) og det har vært en gjennomgående forbedring av miljøtilstanden i fjorden. Nyeste overvåkingsdata viser at det fremdeles er høye konsentrasjoner av forurensningskomponenter. Elkem Carbon har derfor engasjert NIVA for å utrede hensiktsmessige tiltak for å nå miljømål for Kristiansandsfjorden. Formålet med tiltaksplanen å presentere en plan for gjennomføring av risikoreducerende tiltak med vekt på PAH slik at miljøtilstanden i de berørte vannforekomstene blir merkbart forbedret og ikke utgjør en risiko for helse og miljø, samt at de ikke er til hinder for at god kjemisk og økologisk tilstand i fjorden kan oppnås innen 2027.

Tiltaksplanen er utarbeidet i henhold til Miljødirektoratets fakta-ark om tiltaksplaner for opprydding i forurenset sjøbunn (M-325/2015), og veileder M-350/2015; "Håndtering av sedimenter". Basert på tidligere og nye undersøkelser redegjør tiltaksplanen for størrelsen på dagens utslipp og tilførsler, andre mulige kilder til resipienten og forurensningstilstanden i resipienten. Risikovurderingen (NIVA-rapport 6664) er oppdatert med nye undersøkelser av sediment og porevann. Basert på risikovurderingen er påvirkningssonen til bedriften vurdert, og avgrensning av delområder er foreslått. Ulike tiltaksløsninger er presentert og deres egnethet i forhold til de forskjellige delområdene og mulighet for oppnåelse av miljømål er vurdert. Basert på kriteriene *Effekt* (primæreffekter av tiltak), *Konsekvens* (sekundæreffekter av tiltak), *Kostnad* og *Nytte* (måloppnåelse) er det gitt en anbefaling om tiltaksløsning for de enkelte delområdene. Videre er det foreslått en framdriftsplan for gjennomføring av tiltak, inkludert tiltaksrettede undersøkelser og nødvendige utredninger og avklaringer.

Det er også gjennomført modellering av hvilket utslippsnivå som kan tillates av fremtidige PAH-utslipp uten at det er fare for rekontaminering av områder hvor det ev. har blitt utført tiltak.

Følgende undersøkelser og utredninger er gjennomført for å forbedre kunnskapsgrunnlaget for tiltaksplanen:

- Kjemiske analyser av materiale fra 3 sedimentfeller som angir konsentrasjoner på sedimenterende partikler. Undersøkelsen er gjort for to perioder.

- Kjemiske analyser av sediment og av ekstrahert porevann fra stasjoner i Elkem- og Fiskåbukta.
- Analyse av passive prøvetagere fra 8 stasjoner i Elkem- og Fiskåbukta, som gir konsentrasjon av den sanne løste fraksjonen av PAH i vannmassene.
- Sonar-kartlegging av bunnforholdene i Elkembukta

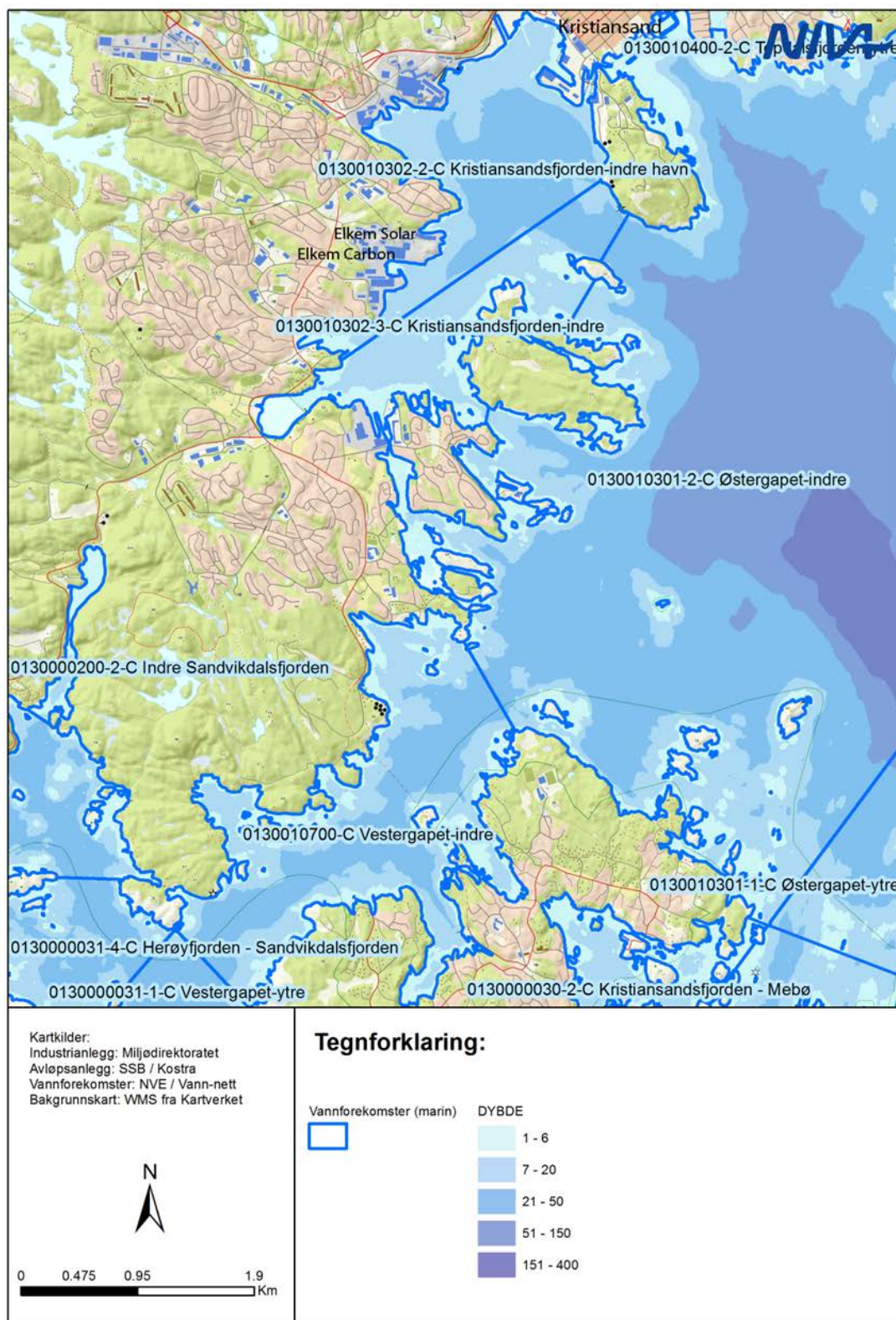
Relevante norske og internasjonale standarder er benyttet i prøvetaking og analyse.

## 2 Områdebeskrivelse

### 2.1 Vannforekomst

Elkembukta er del av Fiskåbukta/Vesterhavnområdet som igjen står i forbindelse med selve Kristiansandsfjorden. Fjorden har ikke utpregde terskler, men dybden øker jevnt sydoover til ca. 260 m der Kristiansandsfjorden møter Skagerrak.

Kristiansandsfjorden er en del av vannområdet Otra, underlagt vannregion Agder i økoregion Skagerrak. Fjorden er inndelt i flere vannforekomster (**Figur 1**). Elkembukta og Fiskåbukta er ikke registrert som egne vannforekomster i Vann-nett og er heller ikke spesifikt avgrenset i Fjordkatalogen. Elkembukta inngår i vannforekomsten 'Kristiansandsfjorden-indre havn' (0130010302-2-C) og er resipient for direkte utslipp fra Elkem Carbon. Vanntypen er i Vann-Nett karakterisert som beskyttet kyst/fjord med vanntypen: CS3723221. Vannforekomsten er vurdert til å være i «antatt moderat» økologisk tilstand og kjemisk tilstand er klassifisert til «ikke god» ([www.vann-nett.no](http://www.vann-nett.no)). Det er ingen naturlig barriere mot nabovannforekomsten 'Kristiansandsfjorden-indre' (0130010302-3-C). Fiskåbukta ligger delvis i vannforekomsten 'Kristiansandsfjorden-indre havn' og delvis i 'Kristiansandsfjorden-indre'.



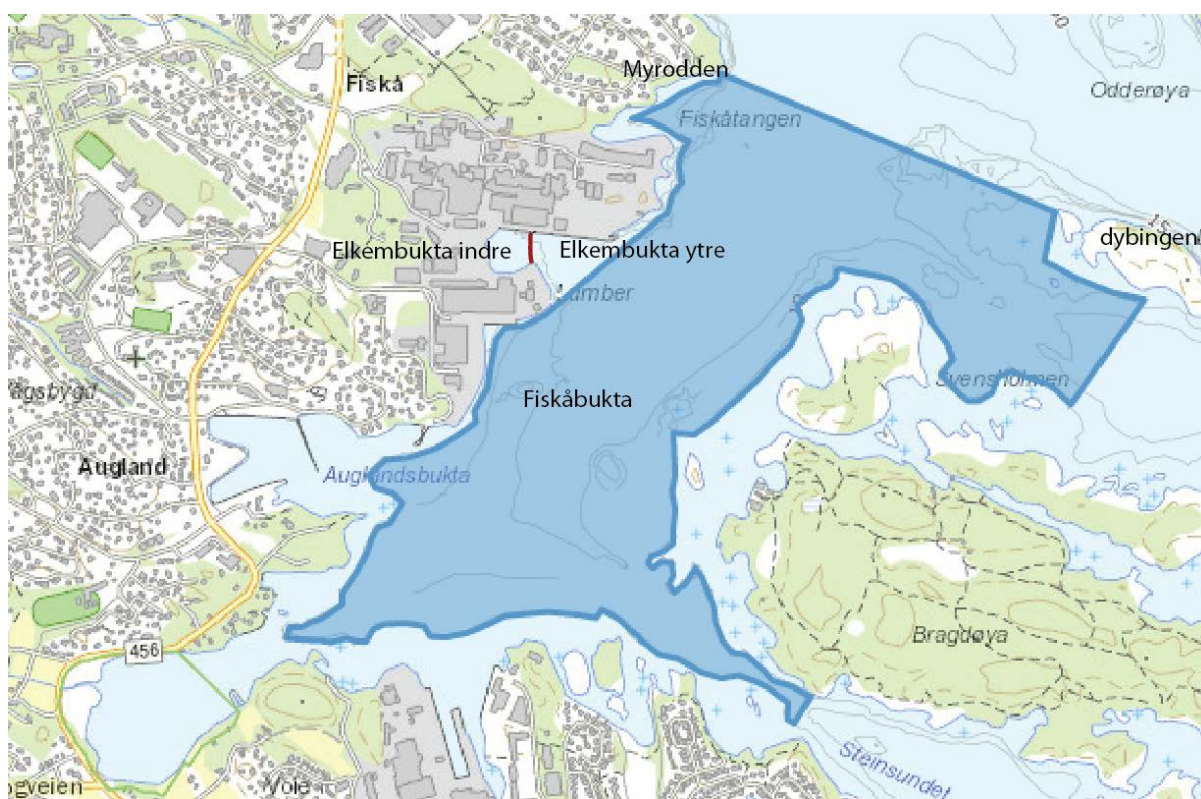
**Figur 1.** Oversiktskart som viser vannforekomstene i Kristiansandsfjorden slik de er definert i Vann-nett, avgrenset av blå heltrukne linjer. Plasseringen til Elkem Carbon AS og søsterbedriften Elkem Solar AS er vist i kartet. Resipient for direkte utslipp fra Elkem Carbon er vannforekomsten 'Kristiansandsfjorden-indre havn' (0130010302-2-C).

Avgrensningen av Elkembukta og Fiskåbukta slik det er lagt til grunn i arbeidet med tiltaksplanen er vist i **Figur 2**. Elkembukta er avgrenset fra Fiskåbukta med en rett linje som følger 25 m dybdekoten.



Elkembukta er videre delt i et indre (15 000 m<sup>2</sup>) og et ytre (32 000 m<sup>2</sup>) område. Begrunnelsen for dette er diskutert i senere kapitler. Merk at en avgrensning internt i Elkembukta (indre/ytre) ikke gjelder i tiltakssammenheng.

Fiskåbukta er adskilt fra Elkembukta ved 25 m dyp og innenfor en linje trukket fra Myrodden til Dybingen. Resten av arealet er beregnet dypere enn 10 m koten, og dette utgjør ett areal på anslagsvis 1 210 000 m<sup>2</sup>. Avgrensning til innenfor 10 m kote i Fiskåbukta er begrunnet i at materiale med påvirkning fra Elkems utslipp og Elkembukta med stor sannsynlighet sedimenterer i de dypere områdene av Fiskåbukta. Dette kommer fram av sedimentprøver presentert senere i rapporten. Det avgrensede området har i hovedsak samme påvirkningskilder, mens buktene som utelukkes fra planområdet har varierende lokale påvirkningskilder. Det er ikke rimelig å anta at de undersøkte stasjonene innenfor det avgrensede planområdet i Fiskåbukta er representative for buktene som ligger utenfor 10 m koten. I Auglandsbukta er det tidligere gjennomført tiltak.

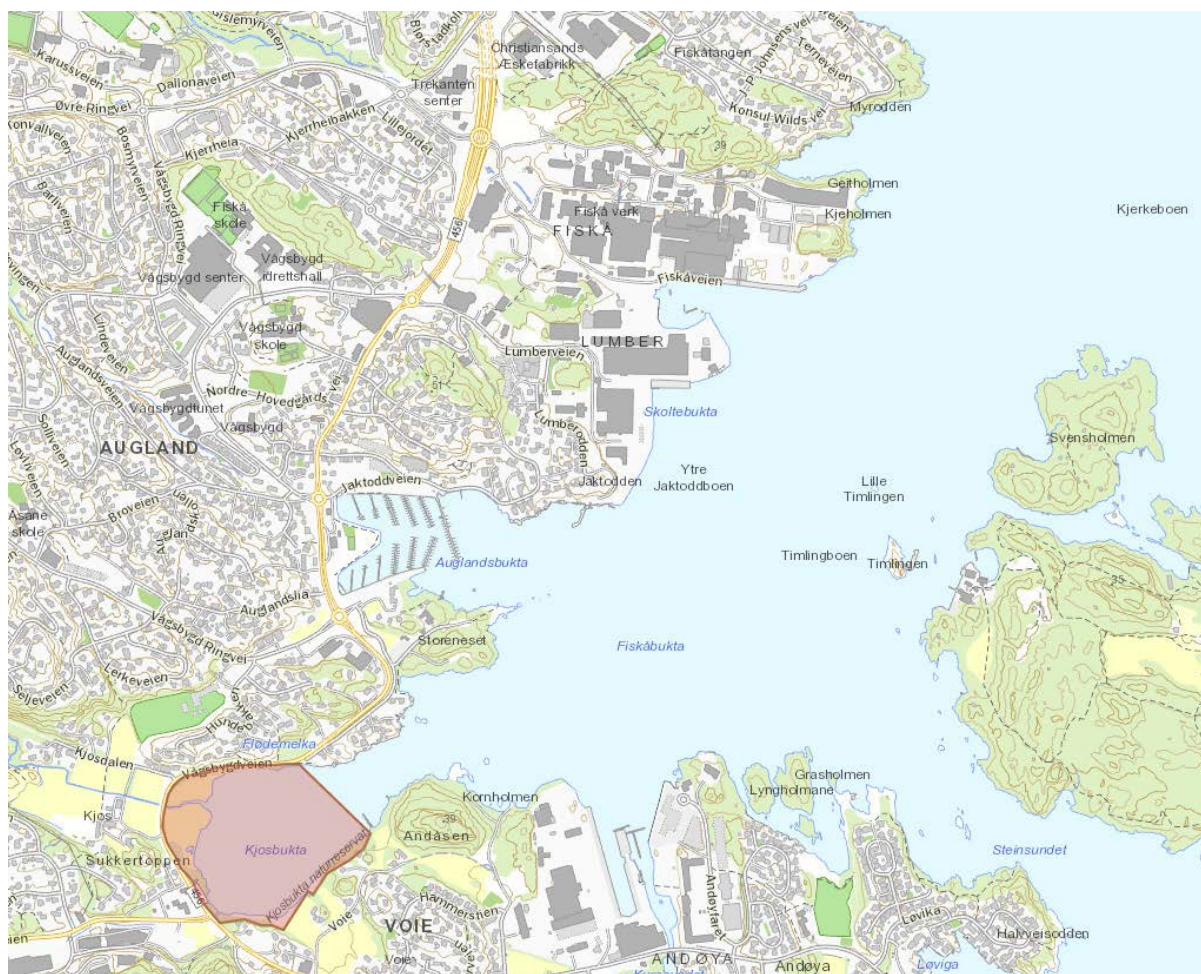


**Figur 2.** Avgrensning av Elkembukta (indre og ytre) og Fiskåbukta (mørk skravering 10 m kote).

Fiskåbekken renner ut innerst i Elkembukta. Nedbørfeltet til Fiskåbekken har ett samlet areal på 6,9 km<sup>2</sup> og ett tilsig på 5,4 mill m<sup>3</sup>/år. Nedbørfeltet er vist på kart i **Figur 3**.





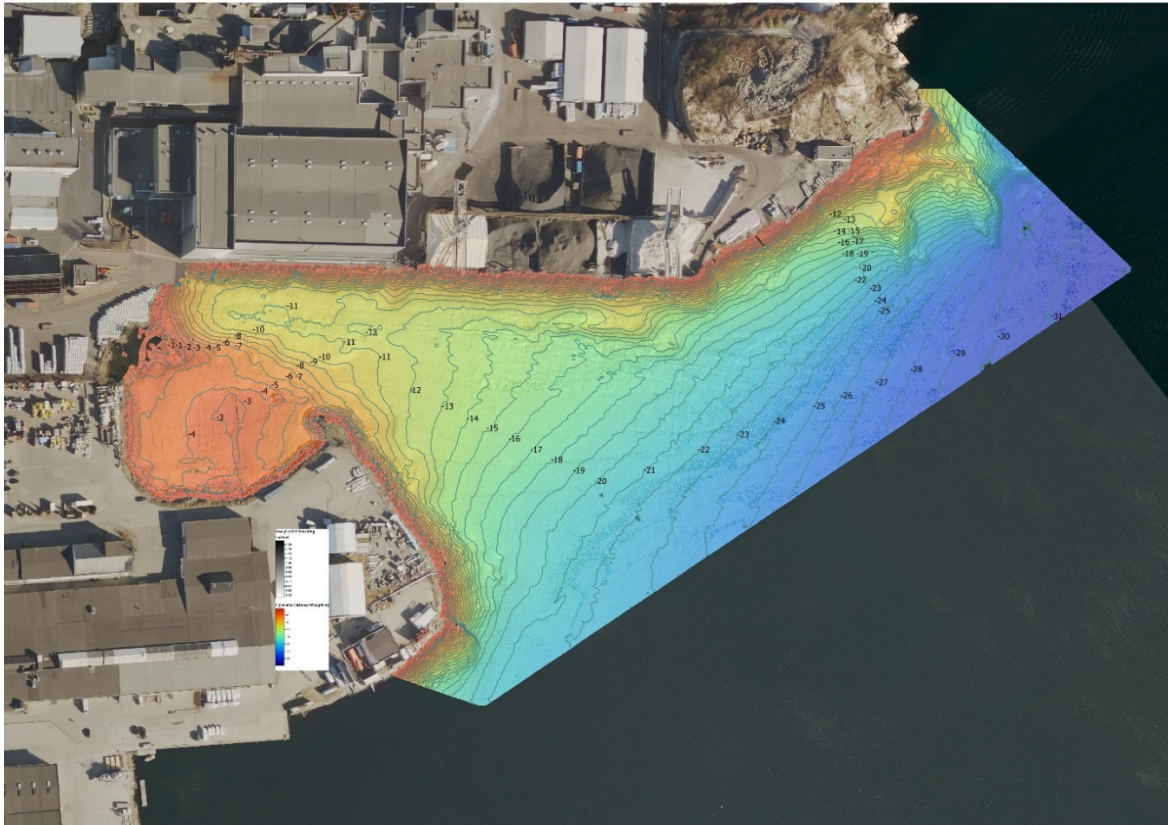


**Figur 4.** Kart som viser avgrensningen av naturreservatet i Kjosbukta (rød skravering). Dette ligger i Vannforekomsten «Kristiansandsfjorden indre». Kilde: Naturbase.no

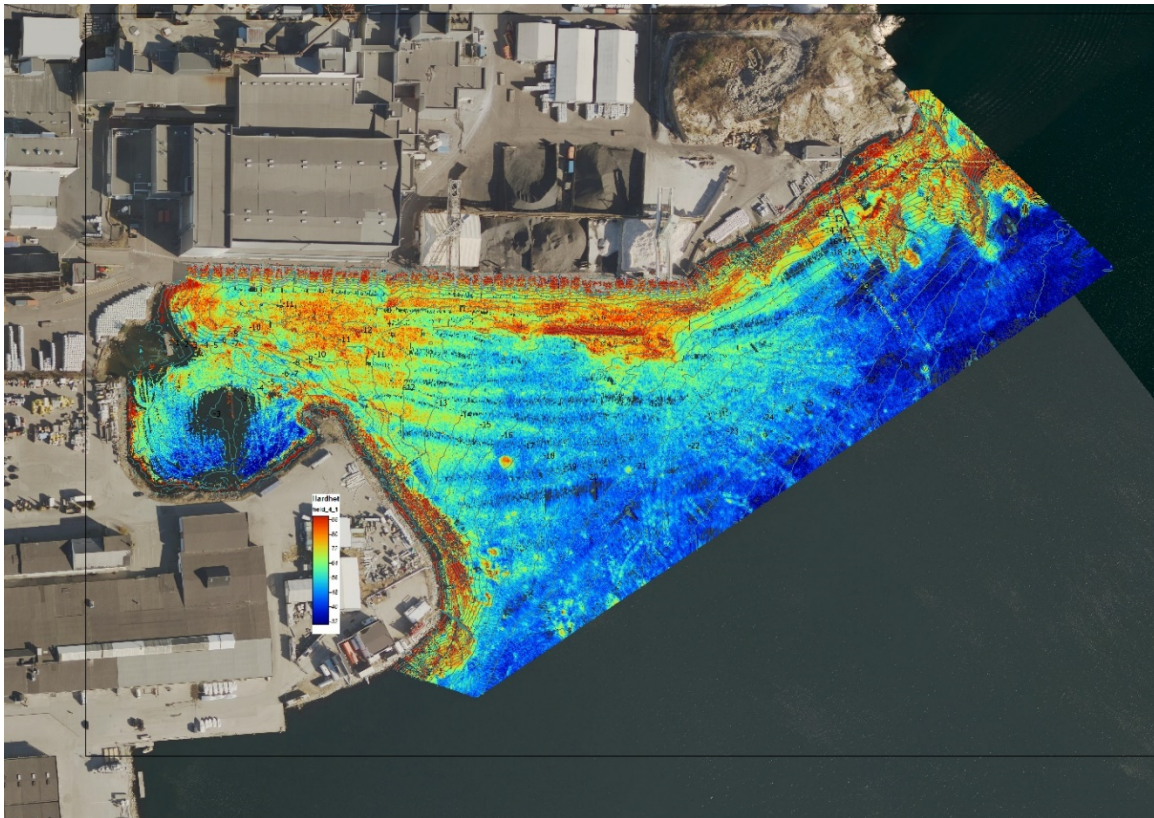
## 2.3 Bunnforhold

Dybdeforhold og sedimentenes hardhet i Elkembukta ble kartlagt ved bruk av sonar i februar 2018. Dette arbeidet ble utført av Agder Marine. Dokumentasjonen (**Figur 5** og **Figur 6**) viser dybder fra et par meter innerst i bukta der Fiskåbekken munner ut, til 20-25 meter i overgangen mellom Elkembukta og Fiskåbukta, og et grunnområde på 3-4 m med løse sedimenter sør for Fiskåbekken. Langs kaiene til Elkem Carbon er sedimentene harde, bestående av grus og stein.





Figur 5. Dybdeforhold i Elkembukta



Figur 6. Hardhet (%) av sedimentene i Elkembukta. Mørk rødt angir harde sedimenter hvor 100 % representerer grus. Blå farge angir løse sedimenter, jo mørkere blå, jo løsere sedimenter.

## 2.4 Strømforhold og vannmasser i området utenfor bedriften

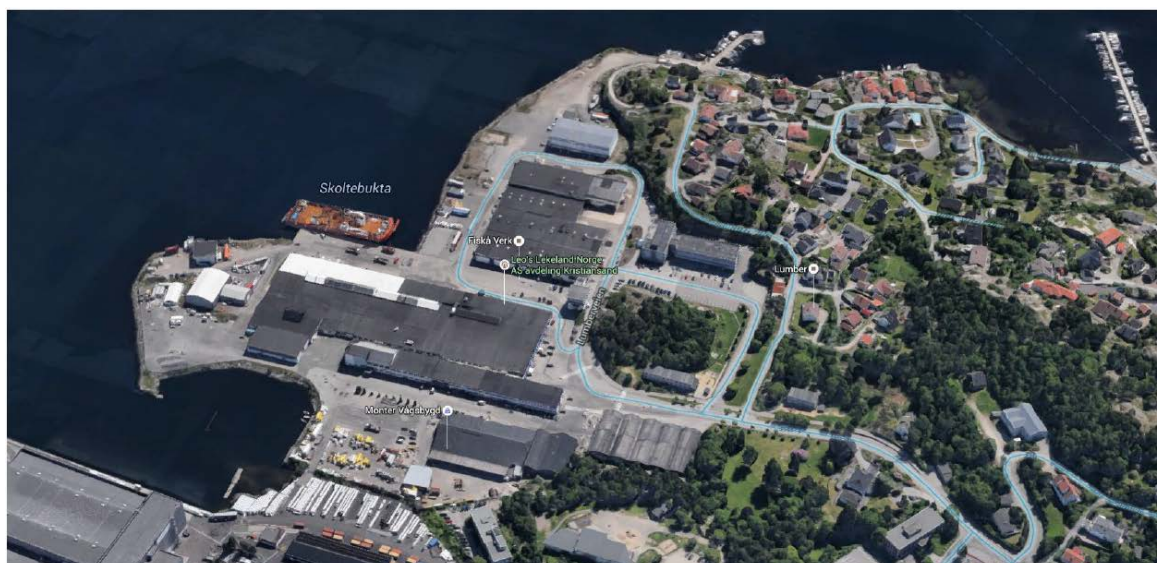
Det ble gjennomført strømmålinger i Elkembukta i 2005 (Ruus m.fl., 2005). Målingene viste at ferskvannstilførselen fra Fiskåbekken i perioder danner et overflatelag på 0,5-1 meter med relativ lav saltholdighet, og et underliggende sjøvannslag. Sjiktning endres når det er liten ferskvannstilførsel eller påvirkning av vind og bølger. Strømhastigheten ved bunnen var vanligvis lav, og typisk 1-3 cm/sek. Nær skipsbevegelser ble det målt kortvarige strømhastigheter på 15-40 cm/s, noe som antas å være høyt nok til å virvle opp løst slam på bunnen som kan spres både internt i Elkembukta og til områdene utenfor. Det er derfor ikke usannsynlig at harde sedimenter bestående av grus og stein langs kaia (**Figur 6**) kan skyldes propellerrosjon. Det ble konkludert med at strømretningen hovedsakelig går i nordlig retning.

Fra tidligere undersøkelser er det kjent at Fiskåbukta/Vesterhavn har et relativt ferskt overflatelag på 2-3 meters tykkelse (Molvær m.fl. 1986), med en typisk oppholdstid for 0-5 meterslaget på 1-2 døgn. Dypvannet i Fiskåbukta har nær kontakt med dypvannet i Kristiansandsfjorden og har en typisk oppholdstid på 1-2 uker.

## 2.5 Arealbruk og planer

Elkem opplyser at det ikke foreligger planer om aktiviteter knyttet til kaianlegget eller bunnforhold i Elkembukta, det være seg mudring, vedlikeholdsmudring eller utfyllinger.

På området Lumber som grenser til Elkem i syd, er det planlagt en betydelig utbygging som omfatter over 300 boenheter, i tillegg også næringsbygg (**Figur 7**). Det skal også anlegges en småbåthavn. Utbyggingen medfører store utfyllinger i sjø og Fylkesmannen har gitt tillatelse til utfylling av 150 000 m<sup>3</sup> stein på en pute av sand. Utfyllingen gjennomføres av Agder Marine. Det anvendes et siltskjørt for å begrense partikkelspredningen under utfyllingen som også overvåkes av en turbiditetsmåler umiddelbart utenfor siltskjørtet. Agder Marine ved Christian Aas opplyser at det ikke er observert høye partikkelkonsentrasjoner utenfor siltskjørtet, men vi har ikke konkret informasjon om utfyllingen kan ha medført spredning av forurensede sedimenter fra ytre deler av Elkembukta.



**Figur 7.** Bildet av planområdet sett fra nord (hentet fra Detaljreguleringsplan for Lumber. Planbeskrivelse. Plan nr. 1296. 29.12.16)



## 2.6 Advarsler mot inntak av sjømat

Mattilsynet advarer mot å spise selvfanger fisk og skalldyr fra rundt 30 forurensede fjorder, havner og innsjøer i Norge. Det foreligger også advarsler for deler av Kristiansandsfjorden, inkludert Elkembukta og Fiskåbukta (miljostatus.no). Advarselen for Kristiansandfjorden ble sist oppdatert i 2015 og gjelder for blåskjell og krabbe som vist i **Tabell 1**. Denne oppdateringen innebar at advarsel mot å spise selvfanger fisk ble opphevet. Bakgrunnen for kostholdsrådene er primært dioksiner og dioksinlignende PCB, og i noen grad bly og PAH. Det er ikke grunn til å anta at Elkem har vært kilde til dioksiner, dioksinlignende PCBer eller bly.

**Tabell 1.** Mattilsynets advarsler for Kristiansandsfjorden, sist vurdert i 2015. Kilde: Miljostatus.no.

<p><i>Publisert 10.05.2017 av Mattilsynet</i></p> <p><b>Forurensning:</b> Dioksiner og dioksinlignende PCB, PCB6 og i noen grad bly og PAH</p> <p><b>Advarsel:</b> Ikke spis blåskjell fra området innenfor yttersiden av Odderøya-Dybdingen-Bragdøya og Andøya. Ikke spis brunmat fra taskekrabber fra Kristiansandsfjorden.</p> <p><b>Sist vurdert:</b> 2015</p>
--

## 3 Utslipp, andre kilder og tilførsler

### 3.1.1 Utslipp fra Elkem Carbon AS

Elkem Carbon AS har utslippstillatelse for utslipp av PAH EPA 16 til sjø via prosessvann og overvann på henholdsvis 10 kg og 50 kg. Det foreligger i tillegg føringer for videre nedtrapping av utslippsnivået. Bedriften er også regulert for utslipp av PAH til luft.

Luftsonekart for Kristiansand kommune viser forhøyede konsentrasjoner av støv (PM<sub>10</sub>) i lufta over Fiskåbukta utenfor Elkem (Cowi, 2016), men eventuelt nedfall på vannoverflaten av PAH bundet til støvpartikler er foreløpig ikke kvantifisert lokalt. Det gjøres for tiden også en kartlegging av diffuse utslipp. Dette er omhandlet i et senere kapittel i denne rapporten. Bedriftenes rapporterte utslipp til vann er gitt i **Tabell 2**.

**Tabell 2.** Bedriftens utslippskomponenter til vann. Utdrag av årlige rapporterte utslippstall til vann for Elkem Carbon AS i perioden 2009 til 2016 i kg pr. år. Kilde: [www.norskeutslipp.no](http://www.norskeutslipp.no).

Rapporterte årlige utslipp av PAH fra prosessvannet		
År	PAH 16 NS	PAH EPA 16
2017	4,7	4,1
2016	1,8	1,6
2015	8,1	6,9
2014	11,1	8,6
2013	12,7	11,3
2012	3,9	3,3
2011	5,1	4,5
2010	6,6	5,3
2009	4,9	4,3

I tillegg forekommer diffuse utslipp av PAH til sjø fra overflatevann (tak, veier etc) fra bedriftsområdet. Utslipp av PAH gjennom overflatevann er angitt i ulike utredninger tilbake til 2007 med variasjoner i området 30 – 60 kg pr år .

Bedriften har utslippspunkt til sjø som vist på kart i **Figur 8**. Utslipp fra OVP1 drenerer hovedsakelig fra taknedløp fra bedriftsområdet. OVP4 drenerer overflateavrenning og går til sjø via Fiskåbekken. I tillegg kan det også være overflateavrenning fra bedriftsområdet til Elkembukta fra kaianleggene som ikke drenerer til OVP1 eller OVP4. Til kjøling av kalsineringsovner brukes ferskvann fra Fiskåvann. Vannet går i egne kjølesløyfer og det er bygget eget rør for retur av kjølevann frem til innløp i Fiskåbekken. Fiskåbekken som har utløp innerst ved kaianleggene mottar også tilførsler fra prosessvann (PVP1). I tillegg drenerer Fiskåbekken nedbørsområdet som vist på kart i **Figur 2**. I nedbørsområdet er det. I tillegg til Elkem sine utslipp av PAH er det også andre kilder til PAH-forurensning. E-39 går gjennom nedbørfeltet til Fiskåbekken og utslipp fra forbrenning av diesel og bensin fra biler er en kilde. I vinterhalvåret kan det også være signifikante bidrag fra ufullstendig forbrenning i forbindelse med vedfyring. Veitrafikk kan også være en betydelig kilde til metallforurensninger (Hindar m.fl. 2017).



**Figur 8.** Utslipp fra overvannsledning fra bedriftsområdet til Elkem Carbon AS er vist med grønn sirkel. Målepunkter for PAH-forbindelser i vann fra overflateutslipp er merket OVP1 og OVP4. I

Fiskåbekken blir det målt ved punkt FB1. Utløpet av Fiskåbekken er vist med gul sirkel. Vann fra OVP1 renner ut ved kaien vist med grønn sirkel og PVP1 er utslippspunkt for prosessvann fra produksjonshallen (Kilde: Bente Sundby Håland, Elkem Carbon AS). Utslippspunkt for kjølevann fra Elkem Solar AS er vist med rød sirkel.

### 3.1.2 Andre kilder og tilførsler

Elkem solar AS har utslipp av metallene kobber (Cu), krom (Cr), nikkel (Ni) og arsen (As) i tillegg til suspendert stoff (SS) til Elkembukta. Ifølge data fra Miljødirektoratet ([www.norskeutslipp.no](http://www.norskeutslipp.no)) supplert med bedriftens egne målinger (Næs m.fl., 2017), har utslippene fra Elkem Solar AS i perioden 2014-2016 variert relativt lite med årlige utslipp på 10-20 kg Cu, 24-32 kg Ni, 2-4 kg As, ca 1,5 kg Cr og 54-61 tonn suspendert stoff.

Andre viktige kilder til forurensning i Kristiansandsfjorden er utslipp av prosessvann fra bedriften Glencore Nikkelverk AS, avløpsvann fra Kristiansand kommunes renseanlegg (Odderøya renseanlegg, Bredalsholmen renseanlegg), avløpsvann fra industri og fyllplass på Vennesla som føres i ledning til Østerhavn, og tilførsler fra elva Otra. Kristiansand by har et aktivt havneområde med mange anløp av passasjerferger, andre større fartøyer, fiskefartøyer og utstrakt trafikk med fritidsbåter. For PAH-utslipp til luft fra båt og fergeanløp er det gjort noen beregninger av dette i rapporten «Overvannsavrenning av miljøgifter i Kristiansand by og elementer i et forurensningsregnskap for Østre havn» (Hindar m.fl. 2017). Det er i samme rapport også gjort beregninger av PAH i overvannsutslipp og fra diffuse kilder. I indre del av Fiskåbukta er det skipsmekanisk industri og en større småbåthavn. Omkring Kristiansandsfjorden er det omfattende bebyggelse. Det må påregnes avrenning og tilførsler av diffus forurensning fra bebyggelse og trafikkområder omkring fjorden som både dreinerer via Fiskåbekken og via andre tilførselsveier.

Bedriften Glencore Nikkelverk AS har utslipp av metaller og dioksiner til Hanneviksbukta i Vesterhavn. Det kommunale renseanlegget på Odderøya (ca. 45 000 pe) har sitt utslipp til 55 meters dyp i ytre del av Vesterhavn. Avløpsvannet innlagres dypere enn 20 m (Kroglund og Oug 2011). I Fiskåbukta ble sedimentene i småbåthavnen i Auglandsbukta mudret i 2007, noe som bedret sedimenforholdene lokalt.

### 3.1.3 Overvann

Overvannsavrenningen er styrt av nedbør og vil derfor variere sterkt. Stor utvasking av partikkelbundne miljøgifter, slik som PAH, skjer typisk i nedbørepisoder. En sensorbasert overvåking med høy målefrekvens vil derfor gi et langt bedre grunnlag for å estimere PAH-transport enn stikkprøver, forutsatt at det finnes en tilstrekkelig god sammenheng mellom PAH og en proxy-parameter, f.eks. turbiditet. Proxy-parameteren kan måles med hjelp av en «in-situ» sensor og må være en parameter som har et fast forhold til miljøgiften og til andre parametere av interesse, som f.eks. suspendert stoff (SS).

For å måle PAH i overvannsavrenning fra Elkems område ble en sonde med sensor for måling av turbiditet, konduktivitet og temperatur hvert minutt utplassert i OVP-1. Vannstand i OVP-1 ble målt hvert minutt ved hjelp av en trykceller. V-profiloverløp i OPV-1 ble brukt til vannmengde-beregningen. En automatisk nedbørmåler samt en værstasjon (vindretning og styrke) ble installert på bedriftens område og målte nedbørmengde hvert minutt. Måle-enheten målte i perioden 20.11.2017 - 30.01.2018.

Forholdet mellom proxy-parameteren (turbiditet) og konsentrasjonen av PAH16-EPA og suspendert stoff i overvannsutslipp ble etablert på grunnlag av totalt 20 stikkprøver tatt under to forholdsvis kraftige nedbørepisoder. Sammenheng mellom kontinuerlig online turbiditetsmålinger og PAH16-EPA var meget bra og ga grunnlaget for å beregne PAH basert på turbiditet.

I måleperioden var det 272 mm nedbør og total vannmengde i OVP-1 var 2888 m<sup>3</sup>. **Tabell 3** viser beregnet årsutslipp fra OVP1 og for hele bedriftsområdet. Tallet for hele bedriftsområdet er en linear ekstrapolering som tar ikke høyde for at andre deler av bedriften (for eksempel råvarelager) kan har ulike bidrag.

**Tabell 3.** Estimert årsutslipp av PAH16 og suspendert stoff (SS) fra OVP1 og for hele bedriftsområdet (runde 1). \*Areal nedbørsfelt på 10.634 m<sup>2</sup> er beregnet ut fra målt nedbør og avrenning. Målt areal av av Elkem er 8.700 m<sup>2</sup>.

	PAH <sub>16</sub> (kg)	SS (kg)
Total - OVP1 (*10.634 m <sup>2</sup> )	23,9	864
Total hele bedriftsområdet (17.600 m <sup>2</sup> )	39,5	1429

Basert på dette datagrunnlag gjennomførte bedriften en undersøkelse av overvannsystemet. Undersøkelsen avdekket et punkt i overvannsystemet hvor, under kraftig nedbør, overvann kunne dra med seg prosessvann. Etter forbedringstiltak ble en ny runde med målinger av PAH i overvannsavrenning gjennomført i perioden 03.04.2017 - 11.05.2018 (38 dager).

Forholdet mellom proxy-parameteren (turbiditet) og konsentrasjonen av PAH16-EPA og suspendert stoff i overvannsutslipp ble etablert på nytt fordi man forventet en betydelig forandring i mengde PAH-16EPA. Totalt 18 stikkprøver ble tatt under tre forholdsvis kraftige nedbørepisoder. Sammenheng mellom kontinuerlig online turbiditetsmålinger og PAH16-EPA var meget bra og ga igjen grunnlaget for å beregne PAH basert på turbiditet. I denne andre måleperioden var total vannmengde i OVP-1 695 m<sup>3</sup>. Stikkprøvene og data fra turbiditet målt med sonde viste at det var mindre PAH16-EPA per både STS- og turbiditetenhet. **Tabell 4.** Estimert årsutslipp av PAH16 og suspendert stoff (SS) fra OVP1 og for hele bedriftsområdet (runde 2 etter tiltak). \***Tabell 4** viser beregnet årsutslipp fra OVP1 og for hele bedriftsområdet basert på andre målingsrunde etter tiltak i overvannsystemet. Dette er nå situasjonen i OVP1.

**Tabell 4.** Estimert årsutslipp av PAH16 og suspendert stoff (SS) fra OVP1 og for hele bedriftsområdet (runde 2 etter tiltak). \* Areal nedbørsfelt på 10.634 m<sup>2</sup> er beregnet ut fra målt nedbør og avrenning. Målt areal av av Elkem er 8.700 m<sup>2</sup>.

	PAH <sub>16</sub> (kg)	SS (kg)
Total - OVP1 (*10.634 m <sup>2</sup> )	3,1	191
Total hele bedriftsområdet (17.600 m <sup>2</sup> )	5,1	316

Denne undersøkelsen er detaljert beskrevet i en separat rapport under utarbeidelse (Sayfritz et al).

## 4 Forurensningstilstand

Over årene har det vært stor overvåkingsaktivitet i det sjønære området til Elkem i Kristiansand. Det foreligger et betydelig antall rapporter med informasjon om miljøgifter i Kristiansandsfjorden. I

**Tabell 5** er de siste og mest relevante rapportene oppsummert. Listen er ikke fullstendig.

I forbindelse med utarbeidelse av tiltaksplanen er særlig undersøkelser gjennomført i 2013, 2015 og 2017 viktige. Disse undersøkelsene inkluderer sedimentmålinger (både partikulær fase og porevann), tilstanden til dyrelivet på bløtbunn, konsentrasjoner i blåskjell, målinger av sedimentasjon og bruk av passive prøvetakere (SPMD) for kartlegging av kildepåvirkning. Sedimentmålingene (partikulær fase og porevann) er brukt i risikoberegningene. De nyeste målingene er ikke rapportert i egne rapporter men inngår i denne tiltaksplanen. I kapitlene under er målingene oppsummert.

**Tabell 5.** Utvalg av rapporter fra Kristiansandsfjorden som er utgitt siden 2011. Listen er ikke fullstendig.

Tittel	Referanse
Overvannsavrenning av miljøgifter i Kristiansand by og elementer i et forurensningsregnskap for Østre havn.	NIVA rapport: 7173-2017
Tiltaksrettet overvåking i henhold til vannforskriften for Elkem Carbon AS og Elkem Solar AS i Kristiansandsfjorden 2016.	NIVA rapport: 7123-2017
Overvåking utenfor Glencore Nikkelverk AS i Kristiansandsfjorden i 2016. Undersøkelse av sedimenterende materiale i Hanneviksbukta ved hjelp av sedimentfeller.	NIVA rapport: 7118-2017
Tiltaksrettet overvåking i henhold til vannforskriften for Glencore Nikkelverk AS. Undersøkelse av blåskjell i 2016 - fase 2.	NIVA rapport: 7146-2017
Tiltaksrettet overvåking i henhold til vannforskriften for Glencore Nikkelverk AS i Kristiansandsfjorden i 2014/2015. Undersøkelse av blåskjell og sedimenter.	NIVA rapport: 6977-2016
Contaminants in coastal waters of Norway 2015. Miljøgifter i norske kystområder 2015.	NIVA rapport: 7087-2016
Tiltaksrettet overvåking i henhold til vannforskriften for Elkem Carbon AS og Elkem Solar AS i Kristiansandsfjorden 2015.	NIVA rapport: 7006-2016
Overvåking av det nære sjøområdet til Elkem Carbon AS i Kristiansand i 2014. PAH i blåskjell og vann.	NIVA rapport: 6863-2015
Overvåking av det nære sjøområdet til Elkem Solar AS i Kristiansand i 2014. Metaller i blåskjell og vann.	NIVA rapport: 6862-2015
Overvåking av miljøgifter i Kristiansandsfjorden i 2012. Undersøkelse av blåskjell, torsk taskekrabbe, sedimenter og bløtbunnsfauna.	NIVA rapport: 6540-2013
Oppdatert risikovurdering av sedimenter og overvåking med vekt på PAH av det nære sjøområdet til Elkem i Kristiansand i 2013.	NIVA rapport: 6664-2014
Overvåking av det nære sjø-området til Elkem i Kristiansand i 2012. Undersøkelse av konsentrasjoner av metaller og PAH i vann, blåskjell og sedimenter samt sammensetningen av dyrelivet på bløtbunn.	NIVA rapport: 6548-2013
Revidert miljørisikovurdering av metaller i utslipp av rensset avløpsvann til sjø fra Elkem Solar Kristiansand.	NIVA rapport: 6440-2012
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.	NIVA rapport: 6145-2011
Revidert tiltaksplan for forurensede sedimenter – Kristiansandsfjorden.	Rapportnr.: 2011-0216/DNV Referansenr.: 134YWO9-2

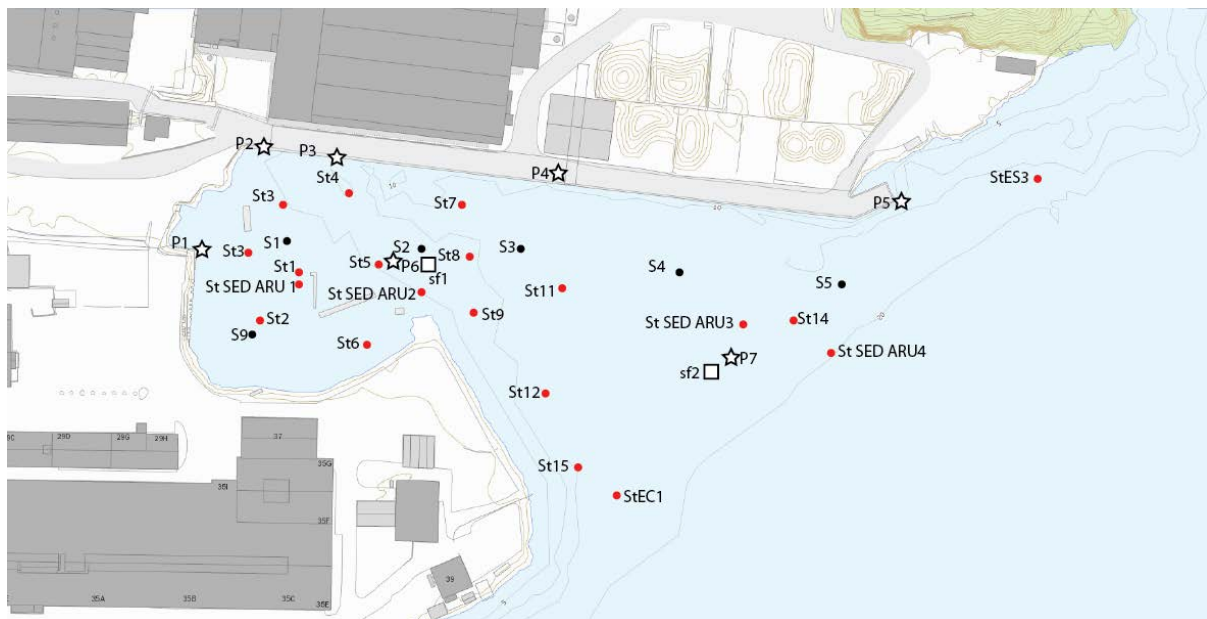


## 4.1 Sjøbunn

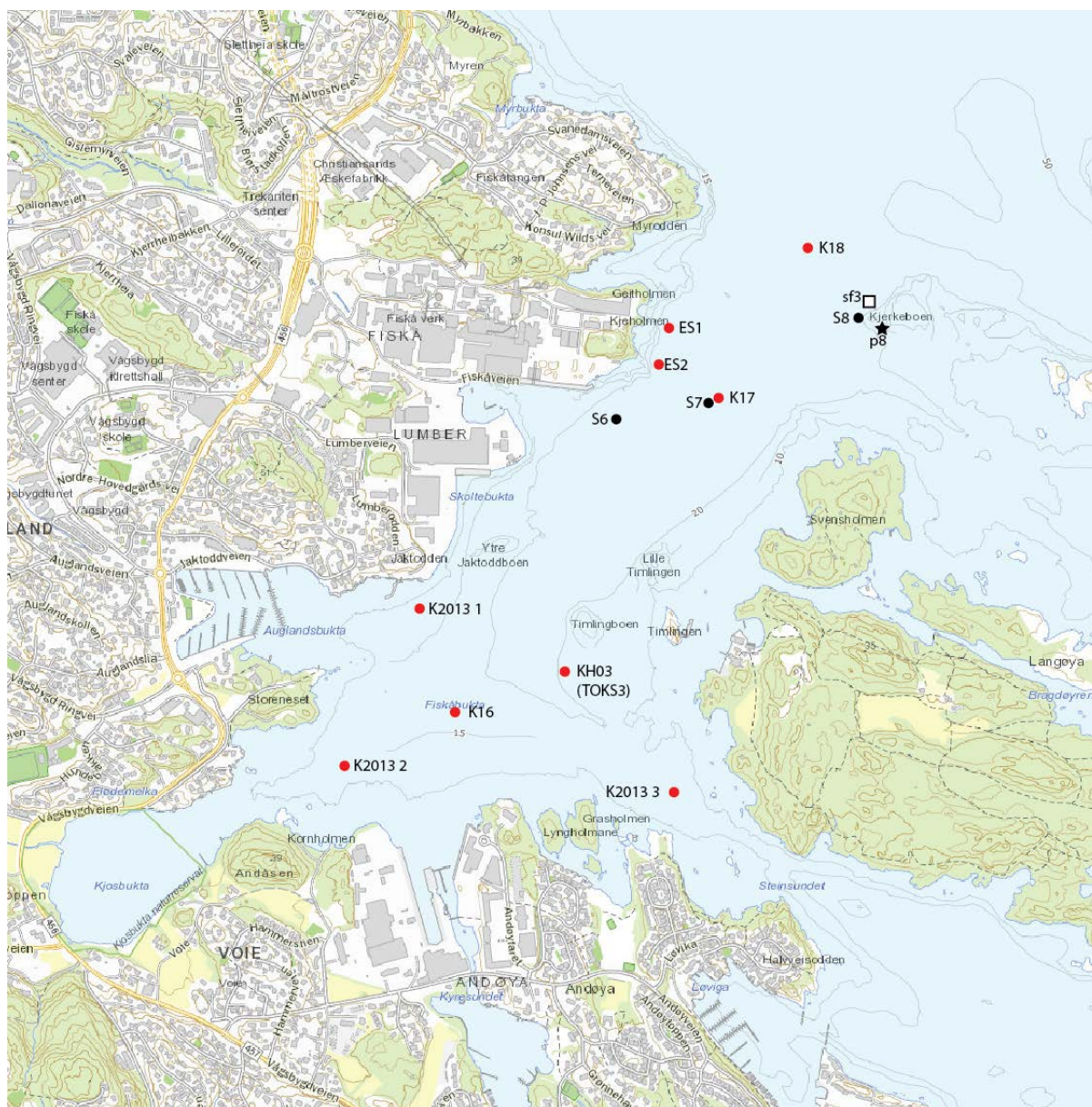
### 4.1.1 Sedimenter

I Fiskåbukta ble det i 2013 analysert for klorerte forbindelser, dioksiner og HCB fra stasjon K17 (Schøyen m.fl. 2013). Resultatene viste «Tilstandsklasse IV, Dårlig», både for dioksiner og HCB, i tillegg ble sum PCB-7 klassifisert til «Tilstandsklasse, III Moderat». I 2013 ble det også gjort analyser av sedimentprøver prøvetatt i Elkembukta.

Nye sedimentprøver er samlet inn i november 2017 og i mars 2018 i forbindelse med utarbeidelse av tiltaksplanen. Stasjonene prøvetatt i 2017-2018 er i stor grad overlappende med stasjoner fra 2013. Stasjonene for sedimentprøvetaking er vist i **Figur 9** og **Figur 10**.



**Figur 9.** Stasjoner i Elkembukta hvor det ble tatt sedimentprøver i 2013, 2017 og 2018. Svarte sirkler er sedimentprøvestasjoner i 2017 eller 2018. Røde sirkler er sedimentstasjoner som er prøvetatt i 2013. Firkant er stasjoner for sedimentfeller og stjerne er stasjoner for passive prøvetakere.



**Figur 10.** Stasjoner i Fiskåbukta hvor det ble tatt sedimentprøver i 2013, 2017 og 2018. Svarte sirkler er sedimentprøvestasjoner i 2017. Røde sirkler er sedimentstasjoner som er prøvetatt i 2013.

I **Tabell 6**, **Tabell 7** og **Tabell 8** vises konsentrasjoner av utvalgte miljøgifter i sedimentprøver fra Elkembukta og Fiskåbukta fra prøvetaking i 2013 og 2017. Sedimentprøvene fra Elkembukta hadde generelt høye konsentrasjoner av PAH-forbindelser. Nesten alle stasjonene var i tilstandsklasse V, «svært dårlig» for PAH-forbindelsene i henhold til Miljødirektoratets veileder M-608. De fleste sedimentprøvene hadde høye konsentrasjoner av kobber; disse var i klasse IV og klasse V. Det var også enkelte med stasjoner med høye konsentrasjoner av bly (klasse IV) samt mange med høye konsentrasjoner av nikkel (klasse IV), særlig i ytre del av Elkembukta mot Fiskåbukta. TBT var i hovedsak i klasse IV og klasse V.

**Tabell 6.** Konsentrasjoner av metaller, PAH-forbindelser, PCB, og TBT i sedimentprøver fra Elkembukta i 2013. Tabellen er hentet fra NIVA-rapport 6664-2014. Resultatene er klassifisert i henhold til grenseverdier gitt i veileder M-608. Fargekodene angir tilstandsklassene: Blått =Tilstandsklasse I, Grønt=Tilstandsklasse II, Gult= Tilstandsklasse III, Oransje=Tilstandsklasse IV og Rødt= Tilstandsklasse V.

	Antall prøver	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	St. 6	St. 7	St. 8	St. 9	St. 10	St. 11	St. 12	St. 14	St. 15	EC1 (I,II,III,IV,V)	ES3	Toks 1	Toks 2
Arsen	16	9	8	2	14	8	11	10	15	11	8	8	17	22	31	25	12	i.a.	i.a.
Bly	16	79	75	35	130	60	88	24	71	41	75	49	110	95	150	82	48	i.a.	i.a.
Kadmium	16	0,32	0,37	0,10	0,30	0,27	0,35	0,12	0,22	0,15	0,10	0,07	0,15	0,05	0,17	0,03	0,04	i.a.	i.a.
Kobber	16	59	79	14	220	67	110	51	120	79	55	65	160	140	210	236	100	i.a.	i.a.
Krom totalt (III + VI)	16	21	26	8	25	23	28	21	24	16	13	16	29	26	34	47	29	i.a.	i.a.
Kvikksølv	16	0,06	0,24	0,03	0,25	0,07	0,37	0,04	0,16	0,16	0,10	0,11	0,29	0,42	0,43	0,30	0,19	i.a.	i.a.
Nikkel	16	48	51	17	120	45	69	50	72	52	39	50	130	210	180	408	200	i.a.	i.a.
Sink	16	170	170	68	180	140	190	230	170	120	120	83	130	78	130	132	100	i.a.	i.a.
Naftalen	18	0,58	0,28	0,19	5,60	0,78	0,75	6,20	3,00	1,10	1,20	1,80	2,10	1,60	0,97	0,69	1,20	0,53	0,80
Acenaftalen	18	0,03	0,02	0,01	0,04	0,02	0,02	0,01	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,24	0,05	0,02	0,03	0,02
Acenaften	18	4,8	1,4	2,6	12,0	3,2	2,7	8,7	4,9	2,6	1,3	2,1	3,6	2,2	2,8	1,7	2,5	3,10	1,70
Fluoren	18	3,20	1,20	2,10	7,90	2,60	2,00	7,90	3,70	2,10	1,10	1,80	3,00	1,70	2,70	1,34	2,00	2,70	1,40
Fenantren	18	16,0	7,3	10,0	50,0	19,0	15,0	52,0	28,0	16,0	8,5	12,0	21,0	10,0	11,0	10,5	15,0	18,0	9,4
Antracen	18	4,2	2,2	1,8	12,0	3,9	3,6	11,0	6,4	4,1	2,2	3,1	5,4	2,7	2,7	2,7	4,0	5,4	2,7
Fluoranten	18	46,0	29,0	17,0	83,0	45,0	50,0	57,0	64,0	42,0	23,0	23,0	45,0	16,0	19,0	17,8	22,0	47	15,0
Pyren	18	35,0	23,0	14,0	71,0	35,0	41,0	44,0	53,0	36,0	20,0	20,0	39,0	13,0	16,0	15,6	19,0	39	13,0
Benzo(a)antracen	18	24,0	16,0	8,4	38,0	22,0	28,0	25,0	32,0	24,0	13,0	13,0	26,0	20,0	10,0	9,8	12,0	54	10,0
Krysen	18	24,0	15,0	8,3	39,0	22,0	29,0	25,0	33,0	24,0	14,0	12,0	25,0	19,0	10,0	9,8	12,0	50	10,0
Benzo(b)fluoranten	18	16,0	13,0	5,2	27,0	16,0	23,0	16,0	21,0	18,0	10,0	9,1	19,0	8,5	7,8	8,9	10,0	23	6,8
Benzo(k)fluoranten	18	12,0	10,0	4,2	21,0	12,0	16,0	14,0	17,0	14,0	8,5	7,3	16,0	6,4	6,6	7,3	8,2	25,0	7,2
Benzo(a)pyren	18	13,0	11,0	4,7	26,0	14,0	19,0	15,0	18,0	15,0	8,8	7,9	17,0	6,6	6,7	8,5	10,0	8,3	2,8
Indeno(1,2,3-cd)pyren	18	6,6	5,9	2,5	12,0	6,6	9,8	8,0	9,0	7,3	4,7	4,4	7,7	2,5	3,6	4,2	4,7	1,6	0,7
Dibenzo(a,h)antracen	18	1,20	0,97	0,43	2,10	1,40	1,60	1,50	1,60	1,30	0,86	0,77	1,40	0,63	0,57	1,04	1,20	7,30	2,50
Benzo(ghi)perylene	18	5,5	5,0	1,9	9,4	5,4	7,6	6,1	7,0	5,7	3,5	3,3	6,2	2,0	2,8	4,5	4,7	35	8,0
Sum PAH16	18	212	141	83	416	209	249	297	302	213	121	122	237	113	103	104	129	320	92
PCB 28	14	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0005	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
PCB 52	14	0,0003	0,0003	0,0003	0,0062	0,0035	0,0036	0,0028	0,0039	0,0032	0,0028	0,0022	0,0035	0,0027	0,0038	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
PCB 101	14	0,0009	0,0009	0,0003	0,0071	0,0037	0,0019	0,0023	0,0046	0,0030	0,0081	0,0033	0,0068	0,0053	0,0092	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
PCB 118	14	0,0010	0,0006	0,0003	0,0055	0,0023	0,0024	0,0025	0,0042	0,0032	0,0078	0,0037	0,0046	0,0037	0,0073	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
PCB 138	14	0,0007	0,0011	0,0003	0,0110	0,0110	0,0053	0,0048	0,0084	0,0087	0,0160	0,0084	0,0160	0,0240	0,041	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
PCB 153	14	0,0018	0,0018	0,0003	0,0120	0,0100	0,0062	0,0039	0,0100	0,0075	0,0140	0,0093	0,0170	0,0280	0,055	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
PCB 180	14	0,0008	0,0008	0,0003	0,0075	0,0068	0,0033	0,0026	0,0050	0,0045	0,0057	0,0050	0,0110	0,0210	0,042	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
Sum PCB7	14	0,006	0,006	0,002	0,050	0,038	0,023	0,019	0,037	0,030	0,055	0,032	0,059	0,085	0,159	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
Tributyltinn (TBT-ion)	14	0,02	0,02	0,00	0,12	0,05	0,10	0,32	0,11	0,09	0,09	0,06	0,17	0,16	0,18	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
TOC µgC/mg TS	16	81,2	87,3	32,1	164	113	134	165	221	168	137	95,5	202	66,7	126	14,0	14,1		
korn<63µ (% finstoff)	16	36	48	9	48	43	46	10	49	50	35	55	56	72	61	64	58		
TOC % av TS	18	8,1	8,7	3,2	16,4	11,3	13,4	16,5	22,1	16,8	13,7	9,6	20,2	6,7	12,6	1,4	1,4	11,8	7,5

**Tabell 7.** Konsentrasjon (mg/kg tørrvekt for metaller, mg/kg v.v. for organiske forbindelser) av utvalgte miljøgifter i sedimentprøver fra Fiskåbukta brukt i risikovurderingen. Tabellen er hentet fra NIVA-rapport 6664-2014. Røde tall markerer at halve deteksjonsgrensen for analysen er benyttet. Farge tilsvarende tilstandsklasse gitt i Veileder M-608. Fargekodene angir tilstandsklassene: Blått =Tilstandsklasse I, Grønt=Tilstandsklasse II, Gult=Tilstandsklasse III, Oransje=Tilstandsklasse IV og Rødt=Tilstandsklasse V.

	Antall prøver	K2013 1	K2013 2	K2013 3	K16 (I,II,III)	KH03 (I,II,III,IV,V)	K17 (I,II,III,IV,V)	ES1	ES2	K18 (I,II,III,IV,V)	Toks 3
Arsen	9	23	18	22	26	10	81	22	19	68	i.a.
Bly	9	160	90	93	113	46	137	99	56	89	i.a.
Kadmium	9	0,18	0,10	0,03	0,09	0,03	0,10	0,04	0,03	0,10	i.a.
Kobber	9	320	150	150	207	102	566	210	150	273	i.a.
Krom totalt (III + VI)	9	47	34	31	42	29	100	63	46	86	i.a.
Kvikksølv	9	0,56	0,17	0,23	0,29	0,20	0,47	0,03	0,22	0,27	i.a.
Nikkel	9	370	120	240	220	284	797	600	420	407	i.a.
Sink	9	120	110	75	130	72	138	78	67	86	i.a.
Naftalen	10	0,19	0,04	0,08	0,06	0,10	0,45	0,42	0,75	0,77	0,08
Acenaftilen	10	0,02	0,01	0,01	0,01	0,03	0,07	0,02	0,02	0,03	0,01
Acenaften	10	0,3	0,1	0,1	0,1	0,2	0,6	0,6	1,3	0,3	0,21
Fluoren	10	0,30	0,07	0,11	0,09	0,13	0,46	0,46	1,11	0,25	0,18
Fenantren	10	2,4	0,5	0,8	0,7	0,9	3,4	3,5	8,0	1,6	1,50
Antracen	10	0,7	0,1	0,2	0,2	0,3	1,0	1,0	1,8	0,5	0,48
Fluoranten	10	5,2	1,3	1,6	1,6	1,8	6,5	5,9	9,3	2,3	2,90
Pyren	10	4,3	1,2	1,2	1,2	1,6	5,4	5,1	7,7	2,0	2,40
Benzo(a)antracen	10	7,1	2,3	2,7	2,6	1,3	3,4	3,0	4,2	1,2	1,90
Krysen	10	6,5	2,1	2,5	2,5	1,2	3,2	3,0	4,1	1,2	1,80
Benzo(b)fluoranten	10	3,8	1,3	1,3	1,5	1,2	4,3	2,8	3,4	1,5	1,30
Benzo(k)fluoranten	10	2,5	0,8	1,0	1,0	1,0	2,0	2,3	2,8	0,7	1,30
Benzo(a)pyren	10	2,5	0,8	1,0	1,0	1,1	3,6	2,8	3,5	1,3	0,62
Indeno(1,2,3-cd)pyren	10	1,5	0,4	0,5	0,6	0,5	2,2	1,0	1,5	0,7	0,13
Dibenzo(a,h)antracen	10	0,26	0,09	0,12	0,12	0,15	0,56	0,33	0,35	0,19	0,57
Benzo(ghi)perylene	10	1,0	0,4	0,4	0,4	0,6	2,8	1,2	1,6	0,9	1,50
Sum PAH16	10	39	12	14	14	12	40	33	51	16	17
PCB 28	6	0,0005	0,0005	0,0003	0,0005	i.a.	0,0006	i.a.	i.a.	0,00037	i.a.
PCB 52	6	0,0033	0,0005	0,0009	0,0012	i.a.	0,0009	i.a.	i.a.	0,00041	i.a.
PCB 101	6	0,0055	0,0015	0,0016	0,0015	i.a.	0,0029	i.a.	i.a.	0,00125	i.a.
PCB 118	6	0,0048	0,0018	0,0020	0,0019	i.a.	0,0022	i.a.	i.a.	0,00095	i.a.
PCB 138	6	0,0170	0,0041	0,0055	0,0054	i.a.	0,0050	i.a.	i.a.	0,00225	i.a.
PCB 153	6	0,0180	0,0043	0,0052	0,0058	i.a.	0,0064	i.a.	i.a.	0,00281	i.a.
PCB 180	6	0,0061	0,0021	0,0016	0,0024	i.a.	0,0037	i.a.	i.a.	0,00132	i.a.
Sum PCB7	6	0,055	0,015	0,017	0,019	i.a.	0,022	i.a.	i.a.	0,00936	i.a.
Tributyltinn (TBT-ion)	6	0,28	0,37	0,13	0,53	i.a.	0,21	i.a.	i.a.	0,04	i.a.
TOC µgC/mg TS	9	120	51,0	31,3	48,9	3,4	51	247	56	21,9	
korn<63µ (% finstoff)	9	65	78	59	76	77	75	42	39	66	
TOC % av TS	9	12,0	5,1	3,1	4,9	0,3	5,1	24,7	5,6	2,2	
korn<63µ (andel finstoff)	9	0,65	0,78	0,59	0,76	0,77	0,75	0,42	0,39	0,66	
Normalisert TOC mot finstoff	9	18,3	9,1	10,5	9,2	4,5	9,6	35,1	16,6	8,3	

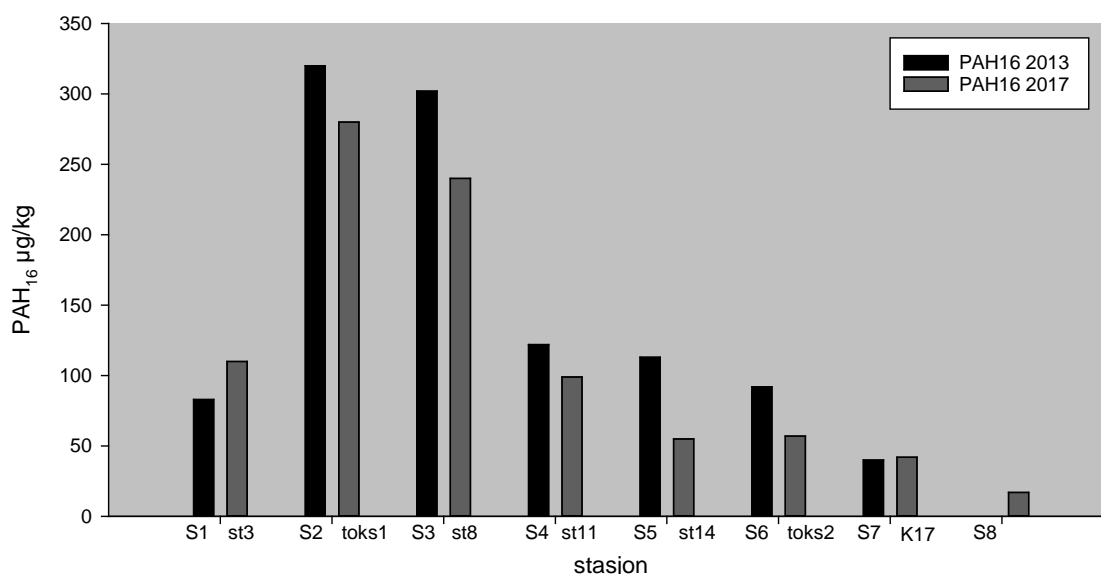


**Tabell 8.** Konsentrasjoner av metaller, PAH-forbindelser, PCB, og TBT i sedimentprøver fra 2017 og 2018. Resultatene er klassifisert i henhold til grenseverdier gitt i veileder M-608. Fargekodene angir tilstandsklassene: Blått =Tilstandsklasse I, Grønt=Tilstandsklasse II, Gult= Tilstandsklasse III, Oransje=Tilstandsklasse IV og Rødt= Tilstandsklasse V.

	Prøve 1 2017	Prøve 2 2017	Prøve 3 2017	Prøve 4 2017	Prøve 5 2017	Prøve 6 2017	Prøve 7 2017	Prøve 8 2017	St 2 2018
Arsen	31	15	22	5	57	95	79	44	8
Bly	120	52	80	20	92	250	200	110	41
Kadmium	0,84	0,35	0,34	0,25	0,50	0,31	0,26	0,16	0,53
Kobber	430	130	260	43	300	850	710	310	94
Krom totalt (III + VI)	50	27	31	15	57	120	120	64	22
Kvikksølv	1,89	0,05	0,16	0,05	0,07	0,07	0,07	0,03	0,08
Nikkel	390	81	200	37	410	1200	1100	540	58
Sink	250	170	150	81	130	190	170	110	180
Naftalen µg/kg	1000	2700	1500	730	470	790	350	120	550
Acenaftalen µg/kg	72	95	110	38	29	39	33	23	90
Acenaften µg/kg	1700	3900	3900	1500	950	1700	770	230	2500
Fluoren µg/kg	1300	3050	3000	1300	730	1300	550	180	2000
Fenantren µg/kg	10000	23000	24000	8600	5400	6000	4000	1400	13000
Antracen µg/kg	2600	7200	5700	2700	1500	1700	1200	420	3800
Fluoranten µg/kg	21000	55000	48000	19000	9700	9800	7000	2700	47000
Pyren µg/kg	18000	48000	40000	16000	7800	8300	5900	2400	37000
Benzo(a)antracen µg/kg	11000	28000	22000	9500	4900	4800	3400	1400	25000
Krysen µg/kg	9100	23000	18000	8100	3900	4400	2800	1100	20000
Benzo(b)fluoranten µg/kg	14000	30000	29000	11000	6300	5800	4700	2000	30000
Benzo(k)fluoranten µg/kg	5100	9600	8700	4200	1900	2000	1800	690	**
Benzo(a)pyren µg/kg	9100	20000	19000	7400	5000	4100	4000	1600	21000
Indeno(1,2,3-cd)pyren µg/kg	3400	11000	6700	4100	3000	2300	2500	1100	14000
Dibenzo(a,h)antracen µg/kg	810	3500	1600	1200	1000	1300	740	310	2700
Benzo(ghi)perylene µg/kg	3000	11000	6400	3900	2900	2200	2400	1100	12000
sum PAH16 µg/kg	111182	279045	237610	99268	55479	56529	42143	16773	230645
PCB 28 µg/kg	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,25000
PCB 52 µg/kg	2,0	3,0	1,6	<0,5	0,6	2,7	1,9	0,8	2,10000
PCB 101 µg/kg	6,3	7,7	5,0	1,2	2,7	5,9	4,2	2,5	2,00000
PCB 118 µg/kg	3,7	5,2	4,1	1,2	1,2	5,2	3,7	1,7	1,90000
PCB 138 µg/kg	13,0	9,5	7,8	2,3	7,6	19,0	12,0	5,3	2,60000
PCB 153 µg/kg	13,0	7,1	8,7	2,0	11,0	18,0	10,0	5,6	2,70000
PCB 180 µg/kg	8,8	38,0	5,9	1,3	7,2	9,5	7,0	4,8	1,80000
sum PCB 7 µg/kg	46,8	70,5	33,1	8,0	30,3	60,3	38,8	20,7	13,4
Tributyltinn <sup>1</sup> (TBT-ion) µg/kg	1700	100	110	18	78	150	*	39	14,00
TOC %	11	28	25	5,8	6,7	6,7	5,3	2,6	3,2
Kornford % <63µ	53,12	48,24	52,07	43,78	53,93	65,97	65,94	66,89	46,1
Kornford % <2µ	3,03	2,41	2,95	1,74	2,53	4,58	4,82	5,04	2
Ts %	47,1	42,3	51,6	53,7	39,1	45,4	42	54,2	98,4
<sup>1</sup> forvaltningsmessig grenseverdi									
* usikkert analyseresultat pga prøvens beskaffenhet.									
** usikkert analyseresultat									

I **Figur 11** er innholdet av PAH<sub>16</sub> i sedimentprøver fra 2017 og tilnærmet sammenfallende stasjoner i 2013 vist. Figuren kan indikere noe lavere konsentrasjoner i 2017 enn i 2013 bortsett fra innerst i Elkembukta (S1/st3) og i Fiskåbukta (S7/K17). Man skal imidlertid være forsiktig med denne

sammenligningen idet 0-2 cm snittet ble analysert i 2013, mens 0-10 cm snittet ble analysert i 2017. Det kan dog bety at reduksjonen er reell.



**Figur 11.** Innholdet av PAH<sub>16</sub> i sedimentprøver fra Elkembukta i 2013 og 2017.

#### 4.1.2 Løste konsentrasjoner målt i porevann

Løste konsentrasjoner i porevann er en essensiell parameter i risikosammenheng. Disse konsentrasjonene kan enten bestemmes fra de partikulære sedimentkonsentrasjonene via en generisk fordelingskoeffisient (Trinn 2 i Risikoveilederen) eller via direkte kvantifisering av den stedsspesifikke verdien basert på målinger (Trinn 3 i Risikoveilederen). For å gjøre dette anvendes passiv prøvetaking hvor sedimentprøven tilsettes en polymer (her silicon) som adsorberer den løste forbindelsen. Tilsvarende ble også gjort på sedimenter samlet fra Elkem-området i 2013 (Næs et al., 2013). Løste konsentrasjoner av PAH og klorerte forbindelser og beregning av fordelingskoeffisient mellom sediment og vann for disse er gitt i **Tabell 9-11**.

**Tabell 9.** Løste konsentrasjoner,  $C_{free}$  (ng L<sup>-1</sup>) av PAHer i 8 sedimentprøver fra 2017.

PAH	Stasjon							
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
Naphthalene	145	<95	185	183	<90	<92	<91	<97
Acenaphthylene	61	103	136	110	45	60	37	44
Acenaphthene	376	520	947	1512	124	179	102	80
Fluorene	103	86	155	217	32	52	33	27
Dibenzothiophene	65	65	112	151	19	30	18	15
Phenanthrene	224	354	534	823	79	100	51	57
Anthracene	66	78	117	142	32	37	21	19
Fluoranthene	119	408	386	816	38	36	22	21
Pyrene	133	399	390	707	39	50	29	25
Benzo[a]anthracene	6,9	19	18	39	2,1	2,0	1,2	1,2
Chrysene	4,6	18	17	37	1,6	1,2	0,9	0,7
Benzo[b,j]fluoranthene	5,5	11	12	14	1,7	2,4	1,6	1,1
Benzo[k]fluoranthene	1,9	3,8	4,6	4,9	0,5	0,8	0,6	0,4
Benzo[e]pyrene	2,5	5,6	5,7	6,8	0,8	1,2	0,8	0,7
Benzo[a]pyrene	3,1	6,5	6,9	8,7	0,8	1,2	0,7	0,5
Perylene	0,48	1,3	1,1	1,8	0,071	0,046	<0,036	<0,039
Indeno[123cd]pyrene	0,67	1,3	1,4	1,4	0,22	0,29	0,18	0,16
Dibenzo[ah]anthracene	0,15	0,28	0,33	0,29	0,038	0,075	0,036	0,026
Benzo[ghi]perylene	0,49	1,1	0,88	0,87	0,17	0,15	0,10	0,10

**Tabell 10.** Løste konsentrasjoner,  $C_{free}$  (ng L<sup>-1</sup>) av klorerte organiske miljøgifter i 8 sedimentprøver fra 2017.

Forbindelse	Stasjon							
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
PeCB	0,63	0,06	0,48	0,06	0,69	1,8	1,6	2,5
HCB	1,0	0,12	0,76	0,073	1,5	2,8	2,5	3,8
PCB31+28	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
CB52	0,034	0,0088	0,020	0,014	0,013	0,021	0,016	0,015
CB101	0,021	0,0054	0,015	0,0083	0,019	0,022	0,018	0,016
CB118	0,0066	0,0016	0,0041	0,0028	0,0044	0,0075	0,0069	0,0059
CB153	0,035	0,0065	0,018	0,0064	0,044	0,049	0,032	0,031
CB138	0,013	0,0023	0,0070	0,0031	0,016	0,018	0,015	0,012
CB180	0,0070	0,00074	0,0028	0,00054	0,0076	0,0063	0,0043	0,0036

**Tabell 11.** Fordelingskoeffisienter for sediment-vann,  $\log K_{POC}$  ( $L\ kg^{-1}$ , normalisert for organisk karbon) for PAHer i 8 sedimentprøver fra 2017.

PAH	Stasjon							
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
Naphthalene	4,80		4,51	4,84				
Acenaphthylene	4,03	3,52	3,51	3,78	3,99	3,99	4,23	4,30
Acenaphthene	4,61	4,43	4,22	4,23	5,06	5,15	5,15	5,04
Fluorene	5,06	5,16	4,89	5,02	5,54	5,57	5,50	5,40
Phenanthrene	5,61	5,37	5,25	5,26	6,01	5,95	6,17	5,98
Anthracene	5,55	5,52	5,29	5,52	5,84	5,84	6,02	5,92
Fluoranthene	6,21	5,68	5,70	5,60	6,58	6,61	6,77	6,70
Pyrene	6,09	5,63	5,61	5,59	6,48	6,39	6,58	6,57
Benzo[a]anthracene	7,16	6,72	6,69	6,63	7,54	7,56	7,71	7,65
Chrysene	7,26	6,66	6,62	6,58	7,57	7,73	7,76	7,77
Benzo[b,j]fluoranthene	7,37	6,98	7,00	7,12	7,75	7,56	7,75	7,83
Benzo[k]fluoranthene	7,40	6,96	6,88	7,17	7,73	7,55	7,79	7,85
Benzo[a]pyrene	7,43	7,04	7,04	7,17	7,95	7,71	8,01	8,12
Indeno[123cd]pyrene	7,67	7,48	7,27	7,70	8,31	8,07	8,41	8,43
Dibenzo[ah]anthracene	7,69	7,65	7,29	7,85	8,59	8,41	8,59	8,67
Benzo[ghi]perylene	7,74	7,57	7,47	7,89	8,41	8,33	8,64	8,61

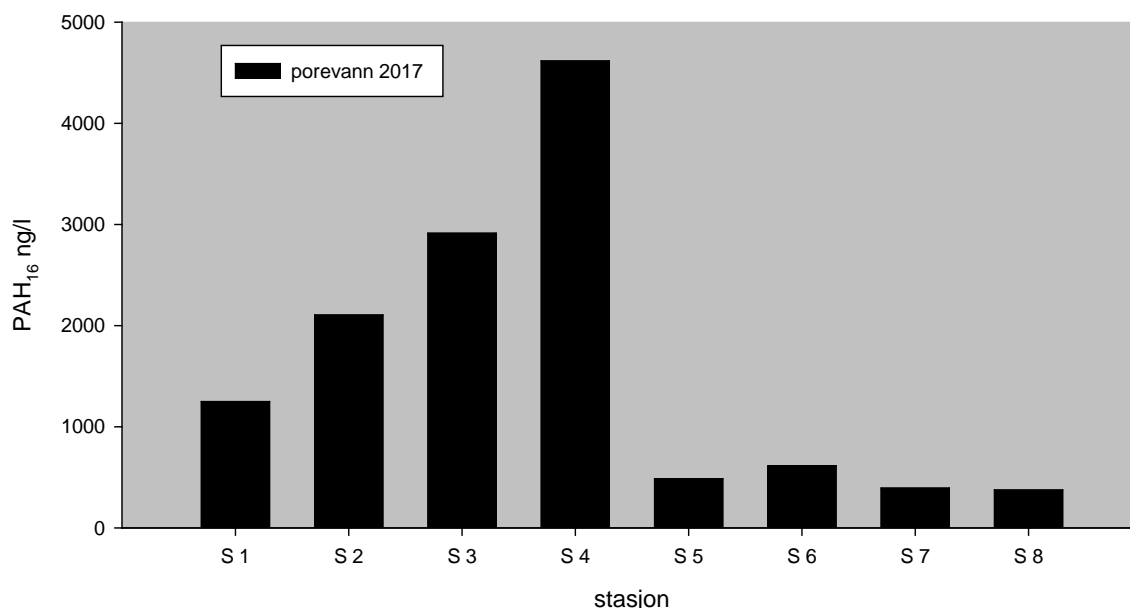
**Tabell 12.** Fordelingskoeffisienter for sediment-vann,  $\log K_{POC}$  ( $L\ kg^{-1}$ , normalisert for organisk karbon) for klorerte organiske miljøgifter i 8 sedimentprøver fra 2017.

Forbindelse	Stasjon							
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
CB52	5,72	6,08	5,50		5,82	6,28	6,34	6,27
CB101	6,43	6,70	6,11	6,40	6,34	6,60	6,65	6,79
CB118	6,70	7,07	6,60	6,87	6,61	7,01	7,01	7,04
CB153	6,53	6,59	6,28	6,73	6,58	6,74	6,77	6,84
CB138	6,96	7,18	6,65	7,11	6,86	7,20	7,19	7,25
CB180	7,06	7,40	6,93	7,62	7,15	7,35	7,49	7,71

I **Figur 12** er konsentrasjonen av PAH<sub>16</sub> i porevann i sedimentprøvene fra 2017 vist. Figuren viser en betydelig nedgang i konsentrasjoner fra stasjon 4 til stasjon 5. Dette tilsvarer overgangen fra Elkembukta til Fiskåbukta ved ca 20-meters dybdekote.

Figuren viser også at det er en øking i porevannskonsentrasjonen fra stasjon 1 til stasjon 4, i motsetning til de partikulære konsentrasjonene målt i sedimentprøvene.





**Figur 12.** Innholdet av PAH<sub>16</sub> i porevannsprøvene fra Elkembukta i 2017.

#### 4.1.3 Tilstanden for dyrelivet på de bløte bunnene (bløtbunnsfauna)

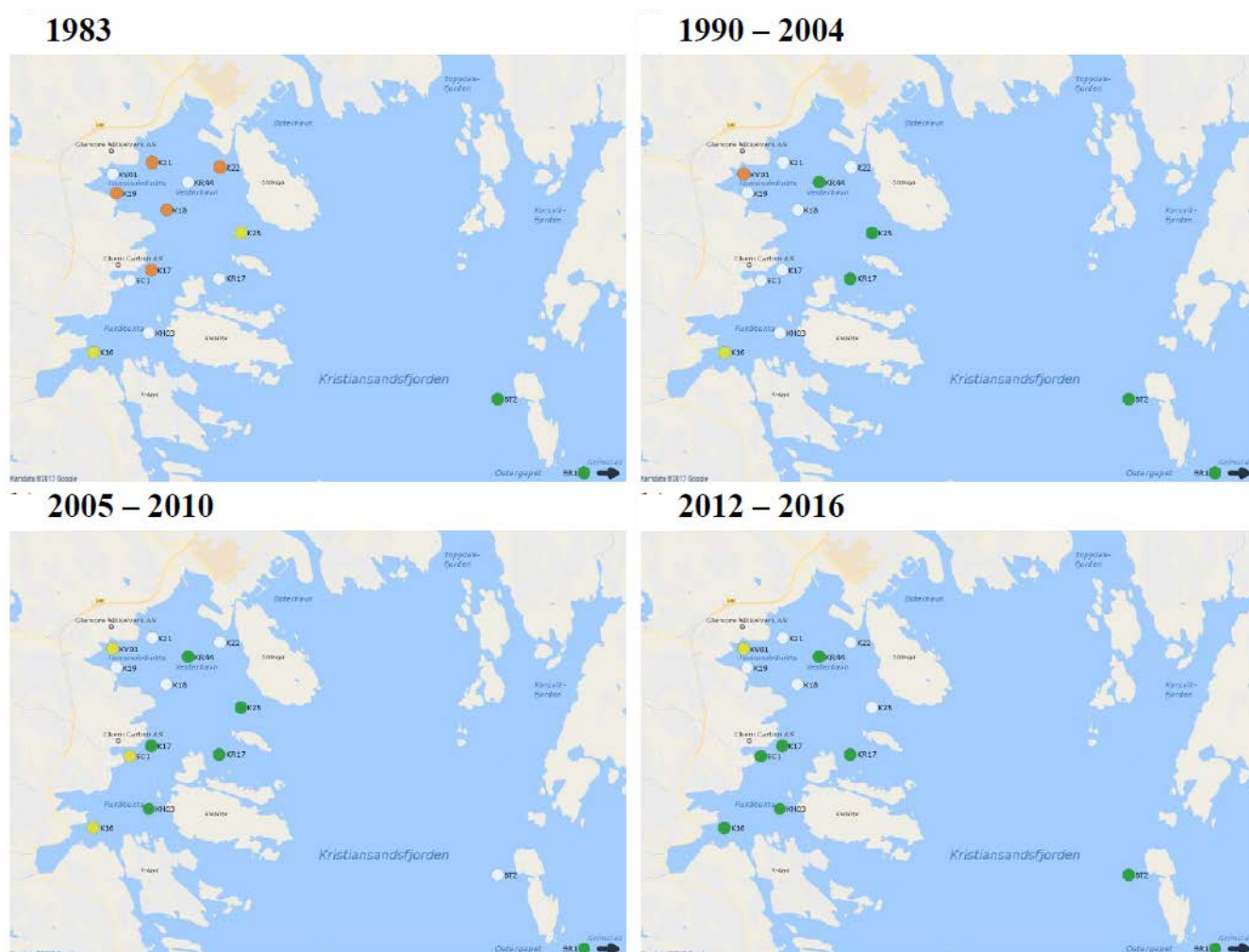
Bunnfauna har vært undersøkt i Fiskåbukta med ujevne mellomrom siden overvåkingen av Kristiansandsfjorden startet i 1983. I **Tabell 13** er det gitt en kort oppsummering av utvikling målt ved indeksen NQI1 på stasjoner i Elkem Carbons program (EC1, K17, KH03) og på en stasjon (K16) i indre Fiskåbukta. Stasjonene EC1 og K17 ligger i vannforekomsten 'Kristiansandsfjorden-indre havn', mens KH03 og K16 ligger i vannforekomsten 'Kristiansandsfjorden-indre'.

Ved undersøkelsen i Kristiansandsfjorden i 1983 var tilstanden generelt dårlig i store deler av fjorden, inkludert Fiskåbukta (Rygg 1985). Ved oppfølgende undersøkelser i 2006-08 var tilstanden betydelig forbedret for stasjon K17 nær Elkems anlegg. Tilstanden var også vesentlig bedre i indre Fiskåbukta (stasjon K16), men ble med indeksen NQI1 fortsatt klassifisert som 'moderat'. Etter igangsetting av Elkems overvåkingsprogram i 2010, med regelmessig prøvetaking på tre stasjoner, har tilstanden generelt vært god. Stasjonen nærmest Elkems anlegg (EC1) ble klassifisert som 'moderat' i 2012, men det må kunne forventes at en lokalitet så nær bedriften kan variere i tilstand over tid. Ved endelig klassifisering av økologisk tilstand inngår konsentrasjon av de vannregionspesifikke stoffene som en støtteparameter, og ved overskridelse av grenseverdier for disse stoffene vil økologisk tilstand ikke kunne settes høyere enn 'moderat', uavhengig av tilstand for de biologiske kvalitetselementene (f.eks NQI1).

**Tabell 13.** Utviklingen av tilstand for bunnfauna målt ved indeksen NQ1 på stasjoner i Fiskåbukta siden første undersøkelse i 1983. Oransje farge = Dårlig tilstand; Gul farge = Moderat tilstand; Grønn farge = God tilstand. NB! Dette angir ikke endelig klassifisering av økologisk tilstand etter vannforskriften.

	Vannforekomst	1983	2006-08	2010	2012-13	2016
K17	Kristiansandsfjorden- indre havn	0,42	0,70	0,75	0,70	0,68
EC 1				0,69	0,61	0,76
KH03				0,73	0,71	0,68
K16	Kristiansandsfjorden- indre	0,53	0,61		0,64	

I **Figur 13** er utviklingen av tilstanden for bløtbunnsfaunaen i Kristiansandsfjorden vist for perioden 1983-2016.



**Figur 13.** Tidsutvikling av tilstand for bunnfauna på stasjonene i Kristiansandsfjorden. Fargen i punktene illustrerer hvilken tilstandsklasse prøvene er plassert i: God tilstand (grønt), Moderat tilstand (gult), Dårlig tilstand (oransje). Tilstandsklassen er beregnet ut fra ett gjennomsnitt av de ulike indeksene, inkludert NQ1. Figuren er hentet fra masteroppgaven til Rita Næss (2017).

#### 4.1.4 Sedimenterende partikler

Sedimentene i Elkem- og Fiskåbukta dannes av partikler som både tilføres og produseres i vannmassene. For å få et mål for sedimentasjonen og konsentrasjonen på dagens sedimenterende partikler ble det utplassert sedimentfeller på 3 stasjoner. Målinger ble utført i periodene 26.09-29.11.2017 og 29.11.2017-20.03.2018. To av stasjonene var i Elkembukta (Sf1, Sf2), mens den tredje var i Fiskåbukta (Sf3) **Figur 10**. Oppsummerte resultater er vist i **Tabell 14**. I den første perioden hvor det og forekom ekstremnedbør var det meget høye konsentrasjoner og flukser (tilførsler), betydelig høyere enn hva som er målt tidligere. Disse avtok med en størrelsesorden fra stasjon 1 til 2 og tilsvarende fra stasjon 2 til 3. I den andre perioden hvor det var normale meteorologiske forhold var konsentrasjoner og sedimentasjon betydelig lavere og godt sammenstemte med tidligere målinger, jfr. kapittel 4.4 og **Tabell 17**. Målingene sannsynliggjør en viss generell utslippmengde sammenstemte med tidligere målinger, men at man i enkelte perioder kan ha kortvarige tilførsler av betydelig størrelse.

**Tabell 14.** Konsentrasjon og sedimentasjon av partikler i periodene 26.09.-29.11.2017 OG 29.11.2017-20.03.2018.

<b>Periode: 26.09-29.11.2017</b>				
		<b>St.1</b>	<b>St.2</b>	<b>St.3</b>
Totalt tørrstoff i felle	g	29,4	6,2	3,7
<b>Konsentrasjon:</b>				
TOC	µg/mg	121	63	50
PAH-16	µg/kg	622730	60923	7653
Benzo(a)pyren	µg/kg	57000	6500	840
<b>Sedimentasjon:</b>				
Totalt tørrstoff	g/m <sup>2</sup> /d	59	12	7
TOC	g/m <sup>2</sup> /d	7,1	0,004	0,003
PAH-16	mg/m <sup>2</sup> /d	36,4	3,6	0,4
Benzo(a)pyren	mg/m <sup>2</sup> /d	3,3	0,4	0,05
<b>Periode: 29.11.2017-20.03.2018</b>				
		<b>St.1</b>	<b>St.2</b>	<b>St.3</b>
Totalt tørrstoff i felle	g	14,95	5,09	4,17
<b>Konsentrasjon:</b>				
TOC	µg/mg	194	65	49
PAH-16	µg/kg	374390	63455	4514
Benzo(a)pyren	µg/kg	35000	6900	490
<b>Sedimentasjon:</b>				
Totalt tørrstoff	g/m <sup>2</sup> /d	17	6	5
TOC	g/m <sup>2</sup> /d	11,4	0,004	0,003
PAH-16	mg/m <sup>2</sup> /d	6,4	1,1	0,1
Benzo(a)pyren	mg/m <sup>2</sup> /d	0,6	0,1	0,01

## 4.2 Blåskjell

Blåskjell har over en lang periode blitt brukt som en overvåkingsorganisme for PAH-påvirkning av vannmassene fra Elkem Carbon AS. Foruten analyse av PAH, har skjellene også blitt analysert for utvalgte metaller. Sistnevnte gir informasjon om metallbelastning som ikke er direkte relatert til Elkem Carbon AS, men som kan stamme fra andre kilder. Overvåkingen har vært konsentrert om fire stasjoner i det nære sjøområdet til Elkem; stasjonene Lumber, Fiskå, Timlingen og Svensholmen. I tillegg har en referansestasjon i Flekkerøygapet blitt prøvetatt.

### 4.2.1 Resultater for EUs prioriterte stoffer

Konsentrasjonen av EUs prioriterte stoffer i blåskjell innsamlet i 2017 er presentert i **Tabell 15**. Klassifiseringen av kjemisk tilstand etter Vannforskriften er foretatt etter Miljødirektoratets veileder M-608. Benzo(a)pyren betraktes som en markør for andre PAHer, men det er i tillegg gitt grenseverdier (Environmental Quality Standards =EQS) for naftalen, antracenen og fluoranten. For metaller er det kun utarbeidet EQS-verdier for kvikksølv, som ikke inngår i analyseparametrene for blåskjell. For metallene Ni, Pb og Cd er det vist en klassifisering i henhold til Molvær mfl. (1997) for å indikere grad av påvirkning, men disse metallene inngår ikke i grunnlaget for fastsetting av kjemisk tilstand etter Vannforskriften.

**Tabell 15.** Kjemisk tilstand for EUs prioriterte miljøgifter i blåskjell for 2017. Klassifiseringen er gjort på gjennomsnitt av vår og høstprøver etter EQS-verdier i Veileder M-608. «Det verste styrer»-prinsippet ligger til grunn for tilstandsvurderingen: Blå=God tilstand; Rød=Ikke god tilstand. For metaller er det vist en klassifisering etter Molvær mfl. (1997): blå farge markerer verdier under øvre grense for tilstandsklasse II «moderat forurenset». Merk ulike enheter; våtvekt i µg/kg for PAH-forbindelser og tørrvekt i mg/kg for metaller.

Parameter	Enhet	EQS (M-608)		Lumber	Fiskå	Timlingen	Svensholmen	Flekkerøygapet
				St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5
				Kristiansandsfjorden-indre havn			Kristiansandsfjord-indre	
Benzo(a)pyren*	µg/kg v.v.	5		33	3,3	0,8	2,4	<0,5
Naftalen	µg/kg v.v.	2400		0,9	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Antracenen	µg/kg v.v.	2400		4,0	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Fluoroanten	µg/kg v.v.	30		87	11	2,8	5,6	1,6
<b>Klassifisering</b>				<b>Ikke god</b>	<b>god</b>	<b>god</b>	<b>god</b>	<b>god</b>
			<b>Øvre grense Klasse II (Molvær mfl. 97)</b>					
Ni	mg/kg t.v.		20	7,7	8,9	4,5	5,1	1,3
Pb	mg/kg t.v.		15	9,1	3,6	3,5	3,9	1,8
Cd	mg/kg t.v.		5	2,7	1,2	1,5	1,3	0,8

\* betraktes som markør for benzo(b)fluoranten, benzo(k)fluoranten, benzo(ghi)perylene, indeno(1,2,3-cd)pyren

For stasjonen Lumber ble EQS-verdien overskredet for benzo(a)pyren og fluoranten, denne stasjonen blir derfor klassifisert til «ikke god» tilstand. På stasjonene Timlingen, Svensholmen, Fiskå og

Flekkerøygapet var det ingen overskridelse av EQS-verdien for benzo(a)pyren eller de andre PAH-forbindelsene og disse stasjonene blir klassifisert til «god tilstand».

For metallene Ni, Pb og Cd var konsentrasjonene under øvre grense for tilstandsklasse II 'moderat forurenset' (dvs. kl I eller kl II) etter Molvær m.fl. 1997.

#### 4.2.2 Resultater for vannregionspesifikke stoffer

Resultater for vannregionspesifikke stoffer i blåskjell er vist i **Tabell 16**. I veileder M-608 er det oppgitt EQS-verdi for forbindelsen benzo(a)antracen og denne er benyttet i klassifiseringen. I henhold til tiltaksorientert overvåking og e-post fra Miljødirektoratet (nov 2016) for industrier som slipper ut PAH-forbindelser, skal det overvåkes for PAH<sub>16</sub>. PAH<sub>16</sub> består både av PAH-forbindelser som er EU-prioriterte, og forbindelser som regnes som vannregionspesifikke. Vi har valgt å sammenligne PAH<sub>16</sub> med verdiene gitt i Molvær mfl. (1997) hvor det er oppgitt tilstandsklasse for sum PAH.

Metallene As, Cu, Cr og Zn er også analysert, men det er ikke oppgitt EQS-verdier for disse metallene i biota. Øvre grense for tilstandsklasse II etter Molvær mfl. (1997) er derfor oppgitt i tabellen for disse metallene. I tillegg er det analysert for Ca og Si. Disse er tatt med for å kunne følge en eventuell utvikling fra tidligere overvåkingsprogrammer.

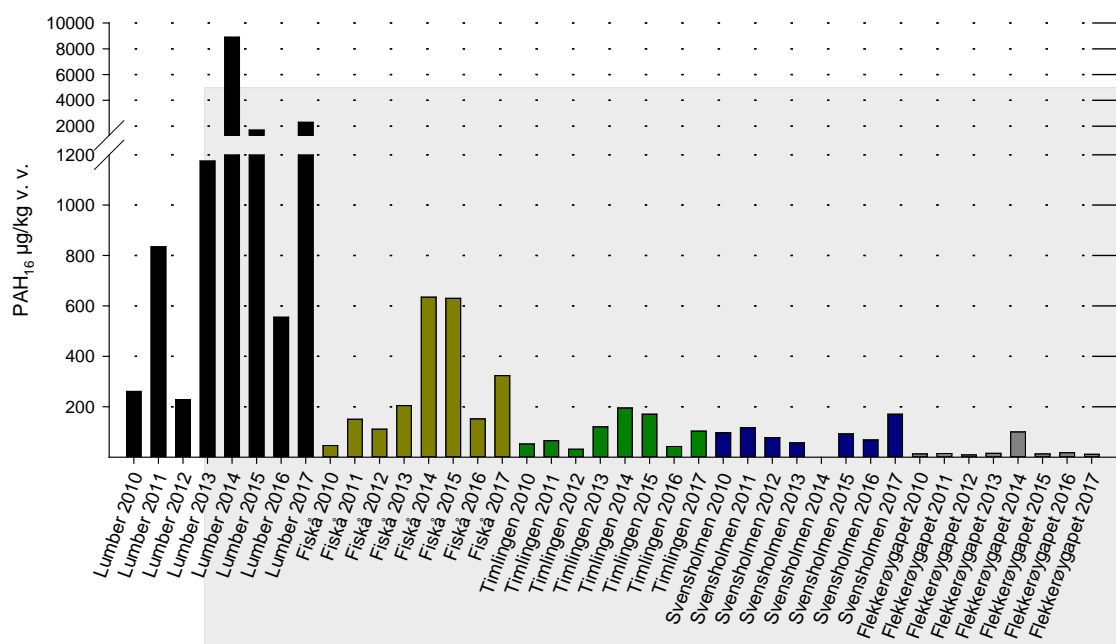
**Tabell 16.** Konsentrasjoner av vannregionspesifikke stoffer og andre stoffer i blåskjell for 2017 ved de ulike stasjonene. Klassifiseringen er gjort på gjennomsnitt av vår og høstprøver etter EQS-verdier i Veileder M-608. Verdier i parentes tilsvarer konsentrasjon for hhv vår og høsttinsamling. Øvre grenseverdi for tilstandsklasse II «moderat forurenset» fra eldre klassifiseringssystem (Molvær mfl. 1997) er vist i tabellen for metaller og PAH<sub>16</sub>, ettersom disse ikke har EQS-verdi. Stoffer som overskrider grenseverdiene angis med sort celle med hvit skrift. Merk ulike enheter; tørrvekt i mg/kg for metaller og våtvekt i µg/kg for PAH-forbindelser.

Parameter	EQS (M-608)	Lumber	Fiskå	Timlingen	Svensholmen	Flekkerøy Gapet	
		St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	
		Kristiansandsfjorden-indre havn		Kristiansandsfjord-indre		Vestergapet-indre	
Benzo(a)antracen (µg/kg v.v.)	304	63	17	2,2	3,7	<0,5	
<b>Klassifisering</b>		<b>god</b>	<b>god</b>	<b>god</b>	<b>god</b>	<b>god</b>	
		<b>Øvre grense Klasse II (Molvær mfl. 1997)</b>					
As (mg/kg t.v.)		30	13,6	14,5	13,6	13,6	11,3
Cu (mg/kg t.v.)		30	10,9	7,7	7,5	6,8	6,9
Cr (mg/kg t.v.)		10	4,2	1,0	0,9	0,9	0,7
Zn (mg/kg t.v.)		400	145	118	127	127	88
*PAH <sub>16</sub> (µg/kg v.v.)		200*	475	72	17	32	6
Si (mg/kg t.v.)			64	55	36	36	44
Ca (mg/kg t.v.)			3545	3818	4364	3636	3000

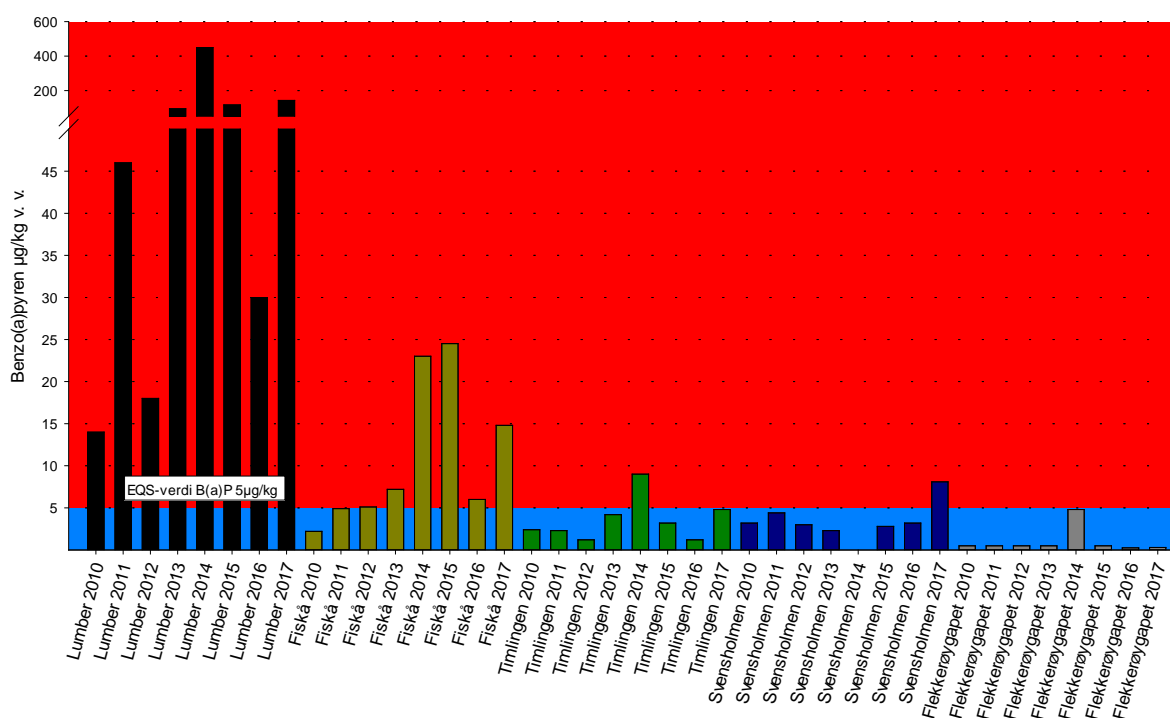
\*PAH<sub>16</sub> inngår ikke i klassifiseringen iht. Veileder M-608/2016. I eldre veileder (Molvær mfl. 1997) er sum PAH oppgitt, ikke sum PAH<sub>16</sub>. PAH<sub>16</sub> omfatter både prioriterte miljøgifter og vannregionspesifikke stoffer.

Konsentrasjonene for PAH-forbindelsen benzo(a)antracen var lavere enn EQS-verdien på alle stasjonene og de blir derfor klassifisert til «god tilstand». For metaller var det ingen overskridelser av grenseverdien for tilstandsklasse II etter Molvær mfl. (1997). For PAH16 var det overskridelse av grenseverdien for tilstandsklasse II (sum PAH i Molvær mfl. 1997) på stasjonen Lumber, mens de andre stasjonene var under grenseverdien.

En sammenstilling av innholdet av PAH16 og benzo(a)pyren i blåskjell i perioden fra 2010-2017 er vist i **Figur 14** og **Figur 15**.



**Figur 14.** Innholdet av PAH16 i blåskjell fra overvåkingsstasjonene for perioden 2010-2017.



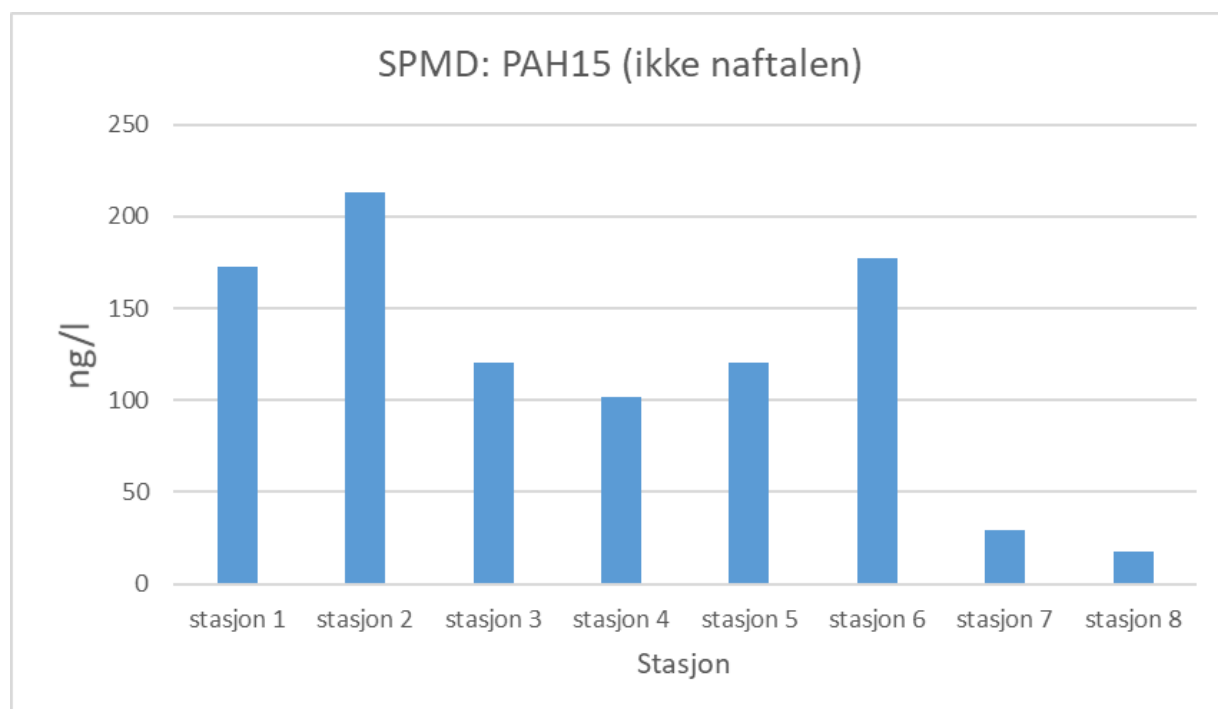
**Figur 15.** Innholdet av benzo(a)pyren i blåskjell fra overvåkingsstasjonene for perioden 2010-2017.

Resultatene viser at det var høyere konsentrasjoner av PAH<sub>16</sub> og benzo(a)pyren i blåskjellene på alle stasjonene i Kristiansandsfjorden i 2017 enn i 2016. På referansestasjonen i Flekkerøygapet var det tilnærmet like verdier i 2017 sammenlignet med 2016

### 4.3 Løste konsentrasjoner i vann

Som del av en kildekartlegging av PAH ble det utplassert såkalte passive prøvetakere (SPMD) på totalt 8 stasjoner; 4 langs kaiene til Elkem Carbon (P2-P5) og 4 i en gradient fra innerst i Elkembukta og ut i Fiskåbukta (P1, P6-P8) **Figur 10**. De passive prøvetakerne estimerer den løste konsentrasjonen av PAH i vannmassene. Prøvetakerne stod utplassert i perioden 26.09.-29.11.2017 og representerer dermed et gjennomsnitt for denne 64-dagers perioden.

De høyeste konsentrasjonene av PAH var særlig ved de innerste stasjonene P1, P2 og P6, og med en fallende tendens utover mot Fiskåbukta. Konsentrasjonen på stasjon P8 i Fiskåbukta var 17 ng/l og dermed en størrelsesorden lavere enn innerst i Elkembukta. Det er vanskelig å være presis på hva en bakgrunnskonsentrasjon kan være i et område som Fiskåbukta/Vesterhavn, men til sammenligning er en verdi på 5 ng/l nylig målt i sentrale deler av Vefsnfjorden. Resultatene tyder på at hovedområdet for tilførsler av PAH i måleperioden har vært til den innerste delen av Elkembukta, i området ved Fiskåbekken og OVP1.



**Figur 16.** Konsentrasjon av sum av løst PAH i vannmassene i Elkembukta og i Fiskåbukta målt med passive prøvetakere (SPMD). Naftalen er utelatt på grunn av høye bakgrunnsverdier.

### 4.4 Oppsummering av forurensningstilstanden

I dette avsnittet oppsummeres målinger for partikkelbundet PAH<sub>16</sub> utført med sedimentfeller og <sup>210</sup>Pb daterte kjerner. Fluksene (tilførsler av sedimenterende materiale) sammenholdes med

**konsentrasjoner i sedimentene. Høy sedimentasjon av PAH og suspendert stoff innerst i Elkembukta skyldes mest sannsynlig tilførsler via Fiskåbekken og overvann fra bedriftsområdet, til sammen anslagsvis 50 kg PAH år<sup>-1</sup>. Flokkulering utløst når ferskvann blandes med saltere sjøvann kan være en medvirkende årsak til at så mye som 80-95% av tilførslene ser ut til å sedimentere i den innerste delen av bukta. Ekstraordinære værforhold antas å være årsaken til uvanlig høy sedimentasjon av både suspendert materiale og PAH høsten 2017. Resuspensjon og horisontal transport mot dypere områder av PAH-anrikede finfraksjoner, kan muligens forklare hvorfor konsentrasjonen av PAH i sedimentet helt innerst i Elkembukta er lavere enn i det sedimenterende materialet samme sted, mens forholdet lenger ut i Fiskåbukta er motsatt.**

Elkem Carbon har en utslippstillatelse for PAH16 EPA til vann på 10 kg pr år via prosessvannet og 50 kg pr år via overflatevann fra bedriftsområdet. De rapporterte utslippene av PAH16 via prosessvannet avtok fra 11,3 kg år<sup>-1</sup> i 2013 til 4,1 kg år<sup>-1</sup> i 2017. Iflg Næs m.fl., 2017, har imidlertid stikkprøver innsamlet i 2016 ved målepunktene OVP1 og OVP4 indikert flukser i overvann i størrelsesorden 10-20 kg PAH16 i tillegg til 2-6 kg i Fiskåbekken ved FB1. Sommert viser dette utslipp i størrelsesorden opp mot 50 kg pr år. Iflg. Næs m.fl., 2017 hefter det, pga store vannmengder og mange målinger under deteksjonsgrensen, stor usikkerhet ved disse tallene. For 2017 er det beregnet tilførsler via overvann på 39,5 kg som er i overenstemmelse med anslaget på totalt ca 50 kg år<sup>-1</sup>.

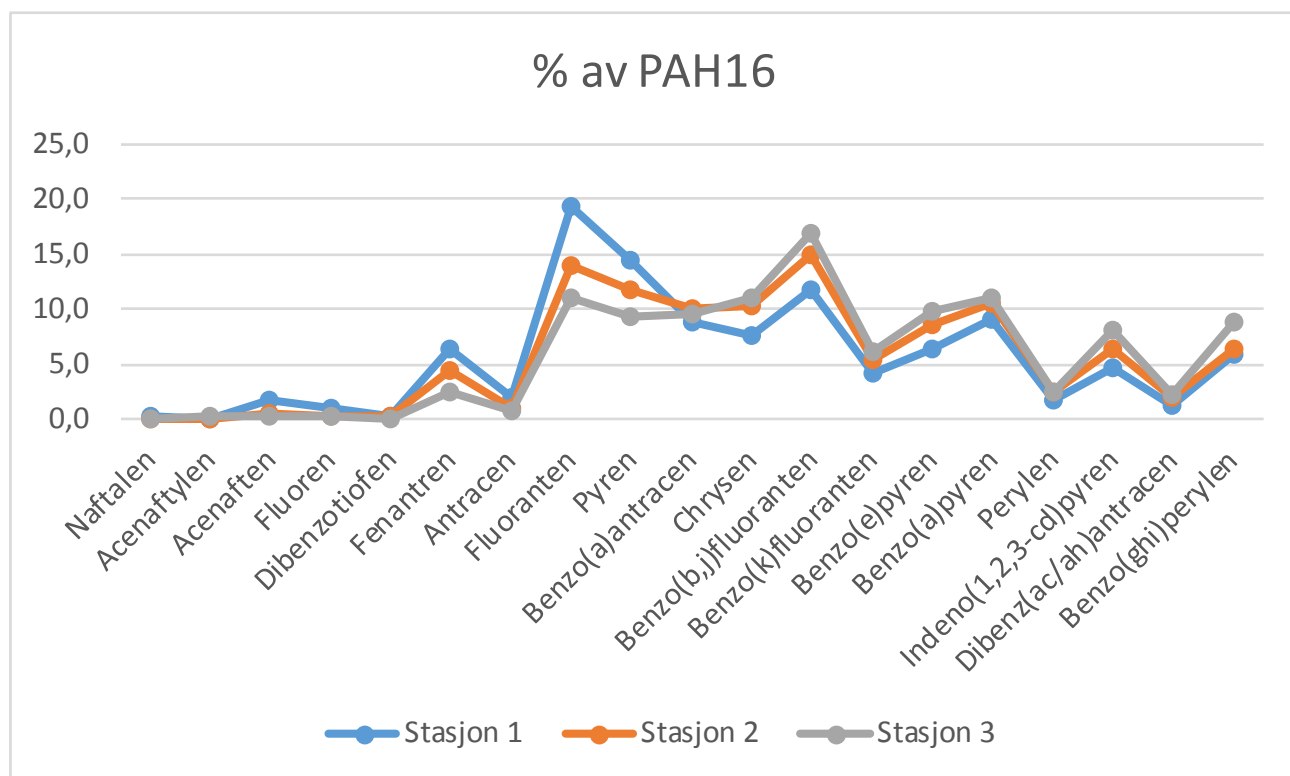
Sedimentfellene utplassert 1,5 m over bunnen (5-20 m dyp) i periodene 26.09.-29.11. (2017) og 29.11.-20.03. (2018) viste at konsentrasjonen av PAH16 i materialet i fellene innerst i Elkembukta (Sf1) var noe lavere enn det som ble målt på tilsvarende stasjoner i 2005, men 2-3x høyere enn konsentrasjonene målt i sedimentene i det samme området (**Tabell 17**). Sf1-fellene var plassert i nærheten av bekkeosen i et område der ferskvann blander seg med sjøvannet. Typisk for slike områder er at kolloider fra bekkevannet flokkulerer når saltholdigheten øker. Slike prosesser har vært rapportert å inntreffe ved saltholdighet rundt 5 PSU og vil kunne gi ekstraordinær høy sedimentasjon av PAH i dette området. I tillegg vil bidrag fra overvannsavrenning kunne bidra til høye konsentrasjonene i felle materialet på Sf1. Eventuell oppvirvling fra skipspropeller er vurdert lite sannsynlig pga manøvreringsmønsteret i området og fordi konsentrasjonen i sedimentene er lavere enn konsentrasjonen i fellene, ville et slikt bidrag virke i retning av lavere konsentrasjoner av PAH i fellene. Konsentrasjonene målt i sedimentene på stasjonene i indre del av bukta var 83-416 mg kg<sup>-1</sup> (**Tabell 8**), mens konsentrasjonen i fellene var 374-712 mg kg<sup>-1</sup> (**Tabell 17**).

Både fellene og sedimentene viser raskt avtagende konsentrasjoner utover i bukta, men forholdet mellom gjennomsnittlig konsentrasjon i fellene og gjennomsnittlig konsentrasjon i sedimentene avtok fra 2,6 i innerste del av Elkembukta til 0,5 i ytre del av bukta og 0,3 i Fiskåbukta (**Tabell 17**). Konsentrasjonen i sedimentene kan være lavere eller høyere enn konsentrasjonen i fellene som følge av henholdsvis økende eller avtagende tilførsler, men det er vanskelig å forklare samtidig økende tilførsler innerst i Elkembukta og avtagende tilførsler lenger ut. En alternativ forklaring kan være en omfordeling slik at konsentrasjonen innerst i Elkembukta avtar etter at partiklene er sedimentert. Dette kan skyldes flere prosesser som for eksempel nedbrytning, desorpsjon og utlekking eller fraksjonering ved at de letteste partiklene transporteres lengre gjennom vannmassen enn de tyngre partiklene.

Nedbrytning av PAH er langsomme prosesser i dette miljøet (lav temperatur, lite lys) og vil først og fremst kunne redusere konsentrasjonen av de letteste forbindelsene. **Figur 17** viser at de letteste forbindelsene utgjør en svært liten andel av summen av de 16 PAH-komponentene i felle materialet. Figuren viser imidlertid at noen av de tyngre forbindelsene (chrysen, benzo(b,j)fluoranten m.fl.) øker fra det indre (Sf1) mot det ytre (Sf2) området på bekostning av noen av de lettere forbindelsene



(fenantren, fluoranten og pyren). Dette skyldes mest sannsynlig preferensiell desorpsjon av disse forbindelsene. Det er tidligere vist at de to forbindelsene fluoranten og pyren kan utgjøre opp til 85% av total utlekking av PAH16 fra forurensede havnesedimenter (Schaanning m.fl., 2006). Nedbrytning og desorpsjon av PAH er imidlertid langsomme prosesser og det er lite sannsynlig at disse kan forklare en halvering av konsentrasjonene etter sedimentasjon slik dataene viser for indre del av Elkembukta.



**Figur 17.** Relativ fordeling av PAH-forbindelser i sedimentfelle materialet innsamlet i 2017.

En annen prosess som potensielt er bedre egnet til å forklare den store endringen observert her er resuspensjon. Resuspensjon kan forårsakes av biologisk aktivitet, friksjon/vanndrag, eller annen mekanisk påvirkning som fører til oppvirvling av sedimenterte partikler som deretter kan transporteres et lite stykke horisontalt før de sedimenterer igjen. Gjentakelse av denne prosessen vil over tid medføre at de fineste fraksjonene transporteres fra grunnere mot dypere områder. Fordi PAH er forurensning adsorbent på partikkeloverflater vil finfraksjonene med stor partikkeloverflate være anriket med PAH og resuspensjon vil derfor på sikt kunne bidra til avtagende konsentrasjoner i sedimentene i de grunnere og mest forurensede områdene og økende konsentrasjoner i de dypere områdene. Dersom dette er en prosess som hovedsakelig foregår noen få cm over bunnen, i overgangssonen mellom sediment og vann, vil de resuspenderte partiklene ikke fanges opp i sedimentfeller med åpningen 1-2 m over bunnen. En slik prosess, som er en form for fraksjonering, vil derfor kunne forklare hvorfor konsentrasjonen i de dypere liggende sedimentene ytterst i Elkembukta og Fiskåbukta er høyere enn konsentrasjonen i det materialet som fanges opp i sedimentfellene i de samme områdene og omvendt innerst i Elkembukta.

Konsentrasjonene i sedimentene er lite endret fra 2012 til 2017 og selv om en eventuell reduksjon i tilførselene kunne være maskert av økt prøvetykkelse fra 0-2 cm til 0-10 cm, gir ikke dataene grunnlag

for å tro at det har skjedd noen endring i de årlige tilførslene. De svært høye fluksene målt med fellene høsten 2017 skyldes derfor mest sannsynlig en spesifikk flomsituasjon (i starten av oktober 2017 ) med flomtransporterte tilførsler og utvaskning og sedimentering av tidligere avsatte masser på og omkring bedriftsområdet.

Aldersdaterte kjerner har tidligere vist akkumulasjonsrater på 300 g SS år<sup>-1</sup> sentralt i Fiskåbukta (Næs, 1992) og 1000 g SS år<sup>-1</sup> i nærområdet til Elkems hovedkai (Næs m.fl., 2003). Multiplisert med konsentrasjonene av PAH i sedimentene, gir dette tilførsler på 4 kg PAH16 år<sup>-1</sup> i ytre del av Elkembukta og 3 kg PAH16 år<sup>-1</sup> i Fiskåbukta. Dette er i god overenstemmelse med tilførslene målt med sedimentfellene i 2005, men vesentlig lavere enn tilførslene målt med sedimentfeller i 2017. Det kan derfor se ut som om tilførslene målt med sedimentfeller høsten 2017 ikke er representative for tilførsler midlet over lengre perioder, men skyldes de uvanlige værforholdene med ekstraordinært mye nedbør og avrenning i perioden da fellene stod ute.

**Tabell 17.** Sammenstilling av konsentrasjoner og flukser av PAH16 og suspendert stoff i Fiskåbukta og indre og ytre deler av Elkembukta. Stasjoner benyttet innenfor hvert delområde er angitt i første rad for sedimentfeller og siste rad for sedimenter.

			<b>Sf1 Elkem indre</b>	<b>Sf2(3-2) Elkem ytre</b>	<b>Sf3(4) Fiskåbukta</b>
Feller 2005-kons.	PAH 16	mg kg <sup>-1</sup>	712	86 - 28	19
Feller 2017-kons	PAH 16	mg kg <sup>-1</sup>	623	61	7,6
Feller 2018-kons.	PAH16	mg kg <sup>-1</sup>	374	63	4,5
Sediment 2012/13, 0-2	PAH 16	mg kg <sup>-1</sup>	244 ± 95	128 ± 46	25 ± 15
Sediment 2017, 0-10	PAH 16	mg kg <sup>-1</sup>	195 ± 119	130 ± 95	38 ± 20
Felle:Sediment gj.sn.	PAH 16	-	2,6	0,5	0,3
Feller 2005-fluks	PAH 16	mg m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	8,0	0,3 - 0,2	0,1
Feller 2017-fluks	PAH 16	mg m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	36,4	3,6	0,4
Feller 2018-fluks	PAH 16	mg m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	6,4	1,1	0,1
Feller 2005-fluks	SS	g m <sup>-2</sup> år <sup>-1</sup>	4 100	1 400-2 100	1 700
Feller 2017-fluks	SS	g m <sup>-2</sup> år <sup>-1</sup>	21 300	4 500	2 700
Feller 2018-fluks	SS	g m <sup>-2</sup> år <sup>-1</sup>	6 200	2 200	1 800
<sup>210</sup> Pb-fluks	SS	g m <sup>-2</sup> år <sup>-1</sup>	-	1 000	300
Arealer*	-	m <sup>2</sup>	15 000	32 000	1 210 000
Feller 2005-områdefluks	PAH 16	kg år <sup>-1</sup>	44	3	38
Feller 2017-områdefluks	PAH 16	kg år <sup>-1</sup>	200	43	199
Feller 2018-områdefluks	PAH 16	kg år <sup>-1</sup>	35	13	35
<sup>210</sup> Pb-områdefluks	PAH 16	kg år <sup>-1</sup>	-	4	9
Sedimentstasjoner 2012-13			St1-9, Toks1	St11-15, EC1, ES3, Toks2	K1-3,16,17,18, KH03,ES1,ES2

## 5 Risikovurdering

I Elkembukta har det vært gjennomført risikovurderinger av forurenset sediment i 2005 (Ruus m.fl 2005) og i 2013 (Næs m.fl 2014). I 2017 ble det innhentet til sammen åtte nye sedimentprøver, fem fra Elkembukta og tre fra Fiskåbukta for å sammenligne med tidligere undersøkelser. Resultatene fra disse sedimentprøvene samt de fra 2013 er benyttet i de reviderte risikovurderingene som er gjennomført for utviklingen av tiltaksplanen og presentert i denne rapporten. De nye sedimentprøvene fortetter det tidligere stasjonsnettet og styrker grunnlaget for å kunne avgrense de mest forurensete områdene innerst i Elkembukta mot de mindre belastede områdene i Fiskåbukta.

**Figur 10** viser alle stasjoner som inngår i risikovurderingene både for Elkembukta og Fiskåbukta. Avgrensning av tiltaksområdet er vis på kart i **Figur 2**. Til risikovurderingen i 2013 ble regneverktøyet TA-2802 /2011 «Risikovurdering av forurenset sediment» benyttet. Miljødirektoratets risikoveileder er siden revidert med nye grenseverdier for flere av forbindelsene som inngår i beregningene. Det oppdaterte regneverktøyet heter nå M-409.xls, og er tilgjengelig for nedlasting fra Miljødirektoratets hjemmesider. Denne risikovurderingen er utført på siste versjon av Risikoveileder M-409. Antall stasjoner som er lagt til grunn for risikovurderingen tilfredsstillter veilederens krav innenfor Elkembukta, selv om hver stasjon ikke er basert på 4 replikater. I Fiskåbukta er antallet stasjoner lavere enn risikoveilederen foreslår. Det er imidlertid vår vurdering av stasjonene gir et representativt bilde av forurensningssituasjonen.

## 5.1 Trinn 1, risikovurdering av sedimenter

Trinn 1 består av en forenklet risikovurdering hvor miljøgiftkonsentrasjonene i et sediment sammenlignes mot grenseverdier for akseptabel økologisk miljørisiko. Grenseverdiene som benyttes i trinn 1 er satt ut fra konservative antagelser om eksponeringsveier, biotilgjengelighet og sannsynlighet for spredning til andre deler av økosystemet. Trinn 1 omfatter dessuten toksisitetstester med eksponering av bunnlevende organismer for sedimentet.

Det ble ikke gjennomført nye toksisitetstester på organismer eksponert for porevann i 2017. Det ble imidlertid i 2013 gjennomført toksisitetstester av porevann fra 2 stasjoner i Elkembukta og 1 stasjon i Fiskåbukta (Næs mfl 2014). Resultatene viste en toksisk effekt på Tisbe battagliai på alle stasjonene, men kun på stasjonen innerst i Elkembukta for Skeletonema pseudocostatum.

I 2017 det målt porevannskonsentrasjoner for PAH-forbindelsene på samtlige av de nye åtte sedimentstasjonene. Disse porevannskonsentrasjonene er benyttet i regneverktøyet og det er utarbeidet stedsspesifikke Kd-verdier for hver av de åtte stasjonene. I tillegg er en sedimentprøve fra innerst i Elkembukta prøvetatt i 2018 inkludert i beregningene (St2). I 2013 ble det kun analysert på porevann fra stasjonene St Toks 1, St Toks 2 og St Toks 3. For å kunne beregne stedsspesifikke Kd-verdier for de andre stasjonene er det gjort en tilnærming ved at porevannskonsentrasjone for St Toks 1 er benyttet for de innerste stasjonene i Elkembukta (S1-6 og St2) porevannsverdier for St Toks2 er benyttet for de ytterste stasjonene i Elkembukta (7, 8, 9, 11, 12, 14, 15, EC1, ES3: 2012 prøver). For Fiskåbukta er porevannskonsentrasjonene for St Toks 3 benyttet (ES1, ES2, K18, K17, K2013 1, K2013 2, K2013 3, K16, KH03: 2012 prøver) til å beregne stedsspesifikke kd-verdier.

Beregningene er utført på to arealer: Areal 1 som er Elkembukta og Areal 2 som består av Fiskåbukta slik den er avgrenset i denne tiltaksplanen. Stasjonsplassering av sedimentprøver innhentet i 2017 er vist på kart i **Figur 10** og kart som viser avgrensingen av de to delområdene er vist i **Figur 2**.

Som grunnlag for beregningene er det også lagt inn stedsspesifikke data for arealer, kornfordeling, innhold av totalt organisk karbon (TOC) og andre parametre. Oversikt over disse opplysningene er gitt i Vedlegg A. I **Tabell 18** og **Tabell 19** er både de stedsspesifikke parametrene og sjablongverdier som er benyttet i beregningene vist for risikovurderingen av hhv Elkembukta og Fiskåbukta. Det er lagt inn sjablongverdier i regneverktøyet for de fleste parametrene, men i kolonnen «anvendt verdi» kan disse endres til stedsspesifikke verdier. Det er gjort for bla innhold av TOC, kornfordeling og porevannskonsentrasjoner. Verdiene som er benyttet og begrunnelsene for dette er oppgitt i tabellene.

Tabell 18. Stedsspesifikke data anvendt for Elkembukta.

Grunnleggende sedimentparametere	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse		
TOC	1	12,2	snitt av fem prøver 2017 1 i 2018 og 15 prøver 2013		
Bulkdensitet til sedimentet, $\rho_{sed}$ [kg/l]	0,8	0,8			
Porøsitet, $\epsilon$	0,7	0,7			
Korreksjonsfaktor	315576000	315576000	For å ende opp med mg/m <sup>2</sup> /år for spredning ved biodiffusjon		
Generelle områdeparametere	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse		
Sedimentareal i bassenget, $A_{sed}$ [m <sup>2</sup> ]	ingen standard	47000	areal fra norgeskart.no		
Vannvolumet over sedimentet, $V_{sed}$ [m <sup>3</sup> ]	ingen standard	488140	10m gj.snittdyb		
Oppholdstid til vannet i bassenget, $t$ [år]	ingen standard	0,01923077	anslått en ukes oppholdstid		
<b>SPREDNING</b>					
Parametere for transport via biodiffusjon, $F_{diff}$	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse		
Tortuositet, $\tau$	3	3			
Faktor for diffusionshastighet pga bioturbasjon, $a$	10	10			
Diffusjonslengde, $\Delta x$ [cm]	1	1			
Parametere for oppvirvling fra skip, $F_{skip}$	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse		
Antall skipsanløp per år, $N_{skip}$	ingen standard	104	Elkem opplyst 2013		
Trasélengde for skipsanløp i sedimentareal påvirket av oppvirvling, $T$ [m]	120	250	Lengste innsailingstrasé i sedimentareal påvirket av oppvirvling, dvs. i sedimentareal < 20 m dypt		
Mengde oppvirvlet sediment per anløp, $m_{sed}$ [kg]	ingen standard	208,33	Sett inn verdi fra faktaboks 6 i veileder		
Sedimentareal påvirket av oppvirvling, $A_{skip}$ [m <sup>2</sup> ]	ingen standard	22250	Settes lik 0 dersom uaktuell spredningsvei		
Fraksjon suspendert $f_{susp}$ = sedimentfraksjon < 2µm	ingen standard	0,012	Tas fra siktekurve (dersom 5 % er mindre enn 2 µm, er $f = 0,05$ )		
Parametere for transport via organismer, $F_{org}$	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse		
Mengde organisk karbon i bunntauna biomasse $OC_{cbio}$ [g/g]	0,25	0,25			
Organisk karbon tilførsel til sedimentet utenfra, $OC_{sed}$ [g/m <sup>2</sup> /år]	200	200			
Fraksjon av organisk karbon som ikke omsettes, $d$ [g/g]	0,47	0,47			
Organisk karbon omsatt (respirt) i sedimentet, $OC_{resp}$ [g/m <sup>2</sup> /år]	31	31			
Konverteringsfaktor fra våtvekt til tørrvekt for $C_{bio}$	5	5	Faktor for å konvertere $BCF_{bio}$ som er på våtvektsbasis til $C_{bio}$ på tørrvektsbasis. Tørrvekt av biologisk materiale er typisk 1/5 av våtvekt.		
Parametere for å beregne tømning av stofflageret i det bioaktive laget, $t_{tom}$	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse		
Mektighet av bioturbasjonsdyp, $d_{sed}$ (mm/m <sup>2</sup> )	100	100			
Tetthet av vått sediment, $\rho_w$ (kg/l)	1,3	1,3			
Fraksjon tørrvekt av vått sediment	0,35	0,35			
<b>HUMAN HELSE</b>					
Generelle parametere (gjelder for både barn og voksen)	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse		
Absorpsjonsfaktor, $af$	1	1			
Matriksfaktor, $mf$	0,15	0,15			
Innhold partikulært materiale i vann [kg/l]	0,00003	0,00003			
Kontaminert fraksjon, $KF_r$	0,5	0,5			
Generelle parametere (ulike for barn og voksen)	Sjablong-verdi voksen	Sjablong-verdi barn	Anvendt verdi voksen	Anvendt verdi barn	Begrunnelse
Kroppsvekt, $KV$ [kg]	70	15	70	15	
Parametere for oralt inntak av sediment, $DE_{sed}$	Sjablong-verdi voksen	Sjablong-verdi barn	Anvendt verdi voksen	Anvendt verdi barn	Begrunnelse
Fraksjon eksponeringstid, $f_{exp,sed}$ [d/d]	8,22E-02	8,22E-02	8,22E-02	8,22E-02	
Inntak av sediment, $Di_{sed}$ [kg/d]	0,00035	0,001	0,00035	0,001	
Parametere for inntak av overflatevann, $DE_{sv}$	Sjablong-verdi voksen	Sjablong-verdi barn	Anvendt verdi voksen	Anvendt verdi barn	Begrunnelse
Fraksjon eksponeringstid, $f_{exp,sv}$ [d/d]	8,22E-02	8,22E-02	8,22E-02	8,22E-02	
Inntak av sjøvann, $Di_{sv}$ [l/d]	0,05	0,05	0,05	0,05	
Parametere for inntak av partikulært materiale, $DE_{pm}$	Sjablong-verdi voksen	Sjablong-verdi barn	Anvendt verdi voksen	Anvendt verdi barn	Begrunnelse
Fraksjon eksponeringstid, $f_{exp,pm}$ [d/d]	8,22E-02	8,22E-02	8,22E-02	8,22E-02	
Inntak av sjøvann, $Di_{sv}$ [l/d]	Se inntak av overflatevann.				
Parametere for hudkontakt med sediment, $DE_{hsed}$	Sjablong-verdi voksen	Sjablong-verdi barn	Anvendt verdi voksen	Anvendt verdi barn	Begrunnelse
Fraksjon eksponeringstid, $f_{exp,hsed}$ [d/d]	8,22E-02	8,22E-02	8,22E-02	8,22E-02	
Hudareal for eksponering med sediment, $HA_{sed}$ [m <sup>2</sup> ]	0,28	0,17	0,28	0,17	
Hudhefterate for sediment, $HAD_{sed}$ [kg/m <sup>2</sup> ]	0,0375	0,0051	0,0375	0,0051	
Hudabsorpsjonsrate for sediment $HAB_{sed}$ [1/timer]	0,005	0,010	0,005	0,01	
Eksponeringstid hud med sediment, $ET_{sed}$ [timer/d]	8	8	8	8	
Parametere for hudkontakt med vann, $DE_{hv}$	Sjablong-verdi voksen	Sjablong-verdi barn	Anvendt verdi voksen	Anvendt verdi barn	Begrunnelse
Fraksjon eksponeringstid, $f_{exp,hv}$ [d/d]	8,22E-02	8,22E-02	8,22E-02	8,22E-02	
Hudareal for eksponering med sediment, $HA_{sv}$ [m <sup>2</sup> ]	1,80	0,95	1,8	0,95	
Eksponeringstid hud med sjøvann, $ET_{sv}$ [timer/d]	1	2	1	2	
Parametere for eksponering via inntak av fisk/skalldyr, $IEI_f$	Sjablong-verdi voksen	Sjablong-verdi barn	Anvendt verdi voksen	Anvendt verdi barn	Begrunnelse
Daglig inntak av fisk og skalldyr, $DI_f$ [kg v.v/d]	0,138	0,028	0,138	0,028	

Tabell 19. Stedsspesifikke data anvendt for Fiskåbukta.

Grunnleggende sedimentparametere	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse		
TOC	1	5,02	Snitt av 2013 og 2017 prøvene		
Bulkdensitet til sedimentet, $\rho_{sed}$ [kg/l]	0,8	0,8			
Porøsitet, $\epsilon$	0,7	0,7			
Korreksjonsfaktor	315576000	315576000	For å ende opp med mg/m <sup>2</sup> /år for spredning ved biodiffusjon		
Generelle områdeparametere	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse		
Sedimentareal i bassenget, $A_{sed}$ [m <sup>2</sup> ]	ingen standard	1210000	fra norgeskart.no		
Vannvolumet over sedimentet, $V_{sed}$ [m <sup>3</sup> ]	ingen standard	30635145	15m som snittdyp		
Oppholdstid til vannet i bassenget, $t$ [år]	ingen standard	0,01923077	en uke anslått verdi		
<b>SPREDNING</b>					
Parametere for transport via biodiffusjon, $F_{diff}$	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse		
Tortuositet, $\tau$	3	3			
Faktor for diffusionshastighet pga bioturbasjon, $a$	10	10			
Diffusjonslengde, $\Delta x$ [cm]	1	1			
Parametere for oppvirvling fra skip, $F_{skip}$	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse		
Antall skipsanløp per år, $N_{skip}$	ingen standard	29	Hentes fra havnemyndigheter		
Trasélengde for skipsanløp i sedimentareal påvirket av oppvirvling, $T$ [m]	120	1000	Lengste innseilingstrasé i sedimentareal påvirket av oppvirvling, dvs. i sedimentareal < 20 m dypt		
Mengde oppvirvlet sediment per anløp, $m_{sed}$ [kg]	ingen standard	833,33	Sett inn verdi fra faktaboks 6 i veileder		
Sedimentareal påvirket av oppvirvling, $A_{skip}$ [m <sup>2</sup> ]	ingen standard	519879	Settes lik 0 dersom uaktuell spredningsvei		
Fraksjon suspendert $f_{susp}$ = sedimentfraksjon < 2µm	ingen standard	0,18	Tas fra siktekurve (dersom 5 % er mindre enn 2 µm, er $f = 0,05$ )		
Parametere for transport via organismer, $F_{org}$	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse		
Mengde organisk karbon i bunntauna biomasse $OC_{cbio}$ [g/g]	0,25	0,25			
Organisk karbon tilførsel til sedimentet utenfra, $OC_{sed}$ [g/m <sup>2</sup> /år]	200	200			
Fraksjon av organisk karbon som ikke omsettes, $d$ [g/g]	0,47	0,47			
Organisk karbon omsatt (respirt) i sedimentet, $OC_{resp}$ [g/m <sup>2</sup> /år]	31	31			
Konverteringsfaktor fra våtvekt til tørrvekt for $C_{bio}$	5	5	Faktor for å konvertere $BCF_{bio}$ som er på våtvektsbasis til $C_{bio}$ på tørrvektsbasis. Tørrvekt av biologisk materiale er typisk 1/5 av våtvekt.		
Parametere for å beregne tømning av stofflageret i det bioaktive laget, $t_{tom}$	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse		
Mektighet av bioturbasjonsdyp, $d_{sed}$ (mm/m <sup>2</sup> )	100	100			
Tetthet av vått sediment, $\rho_w$ (kg/l)	1,3	1,3			
Fraksjon tørrvekt av vått sediment	0,35	0,35			
<b>HUMAN HELSE</b>					
Generelle parametere (gjelder for både barn og voksen)	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse		
Absorpsjonsfaktor, $af$	1	1			
Matriksfaktor, $mf$	0,15	0,15			
Innhold partikulært materiale i vann [kg/l]	0,00003	0,00003			
Kontaminert fraksjon, $KF_r$	0,5	0,5			
Generelle parametere (ulike for barn og voksen)	Sjablong-verdi voksen	Sjablong-verdi barn	Anvendt verdi voksen	Anvendt verdi barn	Begrunnelse
Kroppsvekt, $KV$ [kg]	70	15	70	15	
Parametere for oralt inntak av sediment, $DE_{sed}$	Sjablong-verdi voksen	Sjablong-verdi barn	Anvendt verdi voksen	Anvendt verdi barn	Begrunnelse
Fraksjon eksponeringstid, $f_{exp,sed}$ [d/d]	8,22E-02	8,22E-02	8,22E-02	8,22E-02	
Inntak av sediment, $Di_{sed}$ [kg/d]	0,00035	0,001	0,00035	0,001	
Parametere for inntak av overflatevann, $DE_{sv}$	Sjablong-verdi voksen	Sjablong-verdi barn	Anvendt verdi voksen	Anvendt verdi barn	Begrunnelse
Fraksjon eksponeringstid, $f_{exp,sv}$ [d/d]	8,22E-02	8,22E-02	8,22E-02	8,22E-02	
Inntak av sjøvann, $Di_{sv}$ [l/d]	0,05	0,05	0,05	0,05	
Parametere for inntak av partikulært materiale, $DE_{pm}$	Sjablong-verdi voksen	Sjablong-verdi barn	Anvendt verdi voksen	Anvendt verdi barn	Begrunnelse
Fraksjon eksponeringstid, $f_{exp,pm}$ [d/d]	8,22E-02	8,22E-02	8,22E-02	8,22E-02	
Inntak av sjøvann, $Di_{sv}$ [l/d]	Se inntak av overflatevann.				
Parametere for hudkontakt med sediment, $DE_{hsed}$	Sjablong-verdi voksen	Sjablong-verdi barn	Anvendt verdi voksen	Anvendt verdi barn	Begrunnelse
Fraksjon eksponeringstid, $f_{exp,hsed}$ [d/d]	8,22E-02	8,22E-02	8,22E-02	8,22E-02	
Hudareal for eksponering med sediment, $HA_{sed}$ [m <sup>2</sup> ]	0,28	0,17	0,28	0,17	
Hudhefterate for sediment, $HAD_{sed}$ [kg/m <sup>2</sup> ]	0,0375	0,0051	0,0375	0,0051	
Hudabsorpsjonsrate for sediment $HAB_{sed}$ [1/timer]	0,005	0,010	0,005	0,01	
Eksponeringstid hud med sediment, $ET_{sed}$ [timer/d]	8	8	8	8	
Parametere for hudkontakt med vann, $DE_{hv}$	Sjablong-verdi voksen	Sjablong-verdi barn	Anvendt verdi voksen	Anvendt verdi barn	Begrunnelse
Fraksjon eksponeringstid, $f_{exp,hv}$ [d/d]	8,22E-02	8,22E-02	8,22E-02	8,22E-02	
Hudareal for eksponering med sediment, $HA_{sv}$ [m <sup>2</sup> ]	1,80	0,95	1,8	0,95	
Eksponeringstid hud med sjøvann, $ET_{sv}$ [timer/d]	1	2	1	2	
Parametere for eksponering via inntak av fisk/skalldyr, $IEI_f$	Sjablong-verdi voksen	Sjablong-verdi barn	Anvendt verdi voksen	Anvendt verdi barn	Begrunnelse
Daglig inntak av fisk og skalldyr, $DI_f$ [kg v.v/d]	0,138	0,028	0,138	0,028	



I **Tabell 20** er resultatene for overskridelse av Trinn 1 grenseverdier vist for Elkembukta. I **Tabell 21** er resultatene for Fiskåbukta vist.

**Tabell 20.** Målt sedimentkonsentrasjon sammenlignet med trinn 1 grenseverdier for Elkembukta. I beregningene inngår sedimenter prøvetatt både i 2013, 2017 og 2018. Antall ganger grenseverdien overskrides er vist med røde tall.

Stoff	Målt sedimentkonsentrasjon			Trinn 1 grenseverdi (mg/kg)	Målt sedimentkonsentrasjon i forhold til trinn 1 grenseverdi (antall ganger):	
	Antall prøver	C <sub>sed, max</sub> (mg/kg)	C <sub>sed, middel</sub> (mg/kg)		Maks	Middel
Arsen	21	57	16,2714286	18	3,2	
Bly	21	150	73,4285714	150		
Kadmium	21	0,84	0,26552381	2,5		
Kobber	21	430	141,285714	84	5,1	1,7
Krom totalt (III + VI)	21	57	27,4	660		
Kvikksølv	21	1,89	0,25838095	0,52	3,6	
Nikkel	21	410	137,047619	42	9,8	3,3
Sink	21	250	145,333333	139	1,8	1,0
Naftalen	21	6,2	1,60904762	0,027	229,6	59,6
Acenaftilen	21	0,24	0,04866667	0,033	7,3	1,5
Acenaften	21	12	3,44142857	0,096	125,0	35,8
Fluoren	21	7,9	2,69619048	0,15	52,7	18,0
Fenantren	21	52	17,9409524	0,78	66,7	23,0
Antracen	21	12	4,44190476	0,0046	2608,7	965,6
Fluoranten	21	83	36,9285714	0,4	207,5	92,3
Pyren	21	71	30,5428571	0,084	845,2	363,6
Benzo(a)antracen	21	38	19,4580952	0,06	633,3	324,3
Krysen	21	39	18,5352381	0,28	139,3	66,2
Benzo(b)fluoranten	21	30	16,1333333	0,140	214,3	115,2
Benzo(k)fluoranten	20	21	10,076	0,135	155,6	74,6
Benzo(a)pyren	21	26	13,0438095	0,183	142,1	71,3
Indeno(1,2,3-cd)pyren	21	14	6,52571429	0,063	222,2	103,6
Dibenzo(a,h)antracen	21	3,5	1,35790476	0,027	129,6	50,3
Benzo(ghi)perylene	21	12	5,53619048	0,084	142,9	65,9
PCB 28	19	0,00025	1,3158E-05			
PCB 52	19	0,0062	0,00235158			
PCB 101	19	0,0092	0,00388789			
PCB 118	19	0,0073	0,00306632			
PCB 138	19	0,041	0,00964263			
PCB 153	19	0,055	0,01089474			
PCB 180	19	0,042	0,00912211			
Sum PCB7	19	1,61E-01	3,90E-02	0,0041	39,3	9,5
Tributyltinn (TBT-ion)	19	1,7	0,17936842	0,035	48,6	5,1

**Tabell 21.** Målt sedimentkonsentrasjon sammenlignet med trinn 1 grenseverdier for Fiskåbukta. I beregningene inngår sedimenter prøvetatt både i 2013, 2017 og 2018. Antall ganger grenseverdien overskrides er vist med røde tall.

Stoff	Målt sedimentkonsentrasjon			Trinn 1 grenseverdi (mg/kg)	Målt sedimentkonsentrasjon i forhold til trinn 1 grenseverdi (antall ganger):	
	Antall prøver	C <sub>sed, max</sub> (mg/kg)	C <sub>sed, middel</sub> (mg/kg)		Maks	Middel
Arsen	13	95	41,415385	18	5,3	2,3
Bly	13	250	120,84615	150	1,7	
Kadmium	13	0,31	0,1198846	2,5		
Kobber	13	850	323,21538	84	10,1	3,8
Krom totalt (III + VI)	13	120	61,783077	660		
Kvikksølv	13	0,561	0,2419538	0,52	1,1	
Nikkel	13	1200	472,12308	42	28,6	11,2
Sink	13	190	117,52308	139	1,4	
Naftalen	14	0,79	0,2790429	0,027	29,3	10,3
Acenaftylen	14	0,0742	0,0230857	0,033	2,2	
Acenaften	14	1,7	0,4372714	0,096	17,7	4,6
Fluoren	14	1,3	0,3505	0,15	8,7	2,3
Fenantren	14	8	2,342	0,78	10,3	3,0
Antracen	14	1,8	0,645	0,0046	391,3	140,2
Fluoranten	14	9,8	3,9428571	0,4	24,5	9,9
Pyren	14	8,3	3,3328571	0,084	98,8	39,7
Benzo(a)antracen	14	7,1	2,9684286	0,06	118,3	49,5
Krysen	14	6,5	2,747	0,28	23,2	9,8
Benzo(b)fluoranten	14	5,8	2,5005714	0,140	41,4	17,9
Benzo(k)fluoranten	14	2,8	1,4065714	0,135	20,7	10,4
Benzo(a)pyren	14	4,1	1,9375714	0,183	22,4	10,6
Indeno(1,2,3-cd)pyren	14	2,5	1,083	0,063	39,7	17,2
Dibenzo(a,h)antracen	14	1,3	0,3582857	0,027	48,1	13,3
Benzo(ghi)perylen	14	2,76	1,1572857	0,084	32,9	13,8
PCB 28	5	0,00063	0,0002			
PCB 52	10	0,0033	0,0013902			
PCB 101	11	0,0059	0,00271			
PCB 118	11	0,0052	0,0025625			
PCB 138	11	0,019	0,0078564			
PCB 153	11	0,018	0,0079842			
PCB 180	11	0,0095	0,003946			
Sum PCB7	5	6,15E-02	2,66E-02	0,0041	15,0	6,5
Tributyltinn (TBT-ion)	10	0,61	0,28024	0,035	17,4	8,0

I Elkembukta viser resultatene at det for metallene er kobber, nikkel og sink som overskrider grenseverdiene med en faktor på mellom 1 og 3,3 ganger. For PAH-forbindelsene er det overskridelser av grenseverdiene for alle enkeltkongenerene. Overskridelsene varierer mye mellom de ulike forbindelsene med 1,5 ganger for acenaftylene til 967 ganger for antracen. For sumPCB7 og TBT finner vi overskridelser på henholdsvis 9,6 og 3,6 ganger grenseverdiene.

I Fiskåbukta viser resultatene at det for metallene er arsen, kobber og nikkel som overskrider grenseverdiene med en faktor på mellom 2 og 11 ganger. For PAH-forbindelsene er det overskridelser for samtlige forbindelser med unntak av acenaftylene. Overskridelsene er betydelig lavere enn i Elkembukta og overskridelsene av grenseverdiene varierer med en faktor på 2,3 for

fluoren og 140 for antracen. For sumPCB7 og TBT finner vi overskridelser med en faktor på henholdsvis 6,5 og 8 ganger. Overskridelsene for metaller og TBT er større i Fiskåbukta enn i Elkembukta, mens for PAH-forbindelsene er overskridelsene markert høyere i Elkembukta.

## 5.2 Risikovurdering Trinn 2A, risiko for spredning

Risiko for spredning vurderes ut fra beregnet miljøgifttransport fra sediment til vannmassene via diffusjon og bioturbasjon, ved oppvirling som følge av bølger og skipstrafikk og ved opptak i organismer og spredning gjennom næringskjeden. De samme prøvene som ble benyttet i Trinn 1 vurderingen inngår også i spredningsberegningene. Det er ikke gitt eksakte verdier for tillatt spredning, men regneverktøyet beregner en eventuell overskridelse av et sediment som akkurat tilfredsstiller grenseverdiene i Trinn 1 vurderingen. Det er gjort separate beregninger for Elkembukta og Fiskåbukta, resultatene er vist i hhv **Tabell 22** og **Tabell 23**.

**Tabell 22.** Beregnet spredning (fluks) av miljøgifter fra Elkembukta. Antall ganger grenseverdien overskrides er vist med røde tall.

Stoff	Beregnet spredning ikke påvirket av skipsoppvirling ( $F_{diff} + F_{org}$ )		Beregnet spredning inkludert skipsoppvirling ( $F_{diff} + F_{org} + F_{skip}$ )		Spredning ( $F_{tot}$ ) dersom $C_{sed}$ er lik grenseverdi for trinn 1 ( $mg/m^2/år$ )	$F_{tot}$ i forhold til tillatt spredning (antall ganger):	
	$F_{tot, sed-skip}$ maks [ $mg/m^2$ ]	$F_{tot, sed-skip}$ middel [ $mg/m^2$ ]	$F_{tot, skip}$ maks ( $mg/m^2/år$ )	$F_{tot, skip}$ middel ( $mg/m^2/år$ )		Maks	Middel
Arsen	5,75E+01	1,64E+01	6,06E+01	1,73E+01	1,91E+01	3,2	
Bly	7,36E+00	3,60E+00	1,46E+01	7,15E+00	1,41E+01	1,0	
Kadmium	4,02E-02	1,27E-02	8,09E-02	2,56E-02	2,26E-01		
Kobber	9,53E+01	3,13E+01	1,17E+02	3,83E+01	2,24E+01	5,2	1,7
Krom totalt (III + VI)	2,10E+00	1,01E+00	4,85E+00	2,33E+00	5,61E+01		
Kvikksølv	1,25E-01	1,71E-02	2,17E-01	2,96E-02	5,90E-02	3,7	
Nikkel	3,05E+02	1,02E+02	3,27E+02	1,09E+02	3,16E+01	10,4	3,5
Sink	1,52E+01	8,82E+00	2,73E+01	1,59E+01	1,36E+01	2,0	1,2
Naftalen	1,93E+00	1,18E+00	2,24E+00	1,26E+00	6,81E-03	328,4	185,1
Ace-naftylen	1,49E-01	9,32E-02	1,63E-01	9,60E-02	4,63E-02	3,5	2,1
Ace-naften	6,17E+00	3,16E+00	6,77E+00	3,33E+00	3,29E-02	206,0	101,3
Fluoren	2,15E+00	1,12E+00	2,53E+00	1,25E+00	2,06E-02	122,8	60,8
Fenantren	9,53E+00	3,94E+00	1,20E+01	4,81E+00	8,01E-02	150,4	60,1
Antracen	1,13E+00	5,83E-01	1,71E+00	7,97E-01	3,68E-04	4635,4	2166,2
Fluoranten	5,45E+00	2,68E+00	9,44E+00	4,45E+00	2,30E-02	410,2	193,5
Pyren	2,15E+01	9,49E+00	2,49E+01	1,10E+01	9,30E-03	2674,1	1177,8
Benzo(a)antracen	4,67E-01	2,38E-01	2,29E+00	1,17E+00	3,02E-03	759,9	388,8
Krysen	1,11E-01	5,73E-02	1,98E+00	9,48E-01	1,37E-02	145,1	69,3
Benzo(b)fluoranten	1,15E-01	6,32E-02	1,56E+00	8,38E-01	6,83E-03	227,8	122,7
Benzo(k)fluoranten	6,04E-02	3,03E-02	1,07E+00	5,14E-01	6,60E-03	162,0	77,9
Benzo(a)pyren	7,15E-02	3,78E-02	1,32E+00	6,64E-01	8,90E-03	148,4	74,7
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1,44E-02	7,52E-03	6,87E-01	3,21E-01	3,04E-03	225,9	105,6
Dibenzo(a,h)antracen	8,37E-03	3,51E-03	1,77E-01	6,87E-02	1,31E-03	134,7	52,4
Benzo(ghi)perylene	1,22E-02	6,51E-03	5,89E-01	2,72E-01	4,05E-03	145,3	67,2
PCB 28	1,77E-03	9,31E-05	1,78E-03	9,38E-05			
PCB 52	7,97E-02	3,02E-02	8,00E-02	3,03E-02			
PCB 101	1,74E-02	7,36E-03	1,79E-02	7,55E-03			
PCB 118	1,38E-03	5,81E-04	1,73E-03	7,28E-04			
PCB 138	5,11E-02	1,20E-02	5,31E-02	1,25E-02			
PCB 153	6,86E-03	1,36E-03	9,51E-03	1,88E-03			
PCB 180	2,74E-02	5,96E-03	2,95E-02	6,40E-03			
Sum PCB7	1,61E+00	5,76E-02	1,93E-01	5,95E-02			
Tributyltinn (TBT-ion)	1,59E+02	1,68E+01	1,60E+02	1,68E+01	1,41E+00	113,4	12,0

**Tabell 23.** Beregnet spredning (fluks) av miljøgifter fra Fiskåbukta. Antall ganger grenseverdien overskrides er vist med røde tall.

Stoff	Beregnet spredning ikke påvirket av skipsoppvirvling ( $F_{diff} + F_{org}$ )		Beregnet spredning inkludert skipsoppvirvling ( $F_{diff} + F_{org} + F_{skip}$ )		Spredning ( $F_{tot}$ ) dersom $C_{sed}$ er lik grenseverdi for trinn 1 ( $mg/m^2/år$ )	$F_{tot}$ i forhold til tillatt spredning (antall ganger):	
	$F_{tot, sed-skip}$ maks [ $mg/m^2$ ]	$F_{tot, sed-skip}$ middel [ $mg/m^2$ ]	$F_{tot, skip}$ maks ( $mg/m^2/år$ )	$F_{tot, skip}$ middel ( $mg/m^2/år$ )		Maks	Middel
Arsen	9,59E+01	4,18E+01	1,09E+02	4,76E+01	2,07E+01	5,3	2,3
Bly	1,23E+01	5,93E+00	4,71E+01	2,28E+01	2,78E+01	1,7	
Kadmium	1,49E-02	5,74E-03	5,81E-02	2,25E-02	4,54E-01		
Kobber	1,88E+02	7,16E+01	3,07E+02	1,17E+02	2,99E+01	10,3	3,9
Krom totalt (III + VI)	4,41E+00	2,27E+00	2,12E+01	1,09E+01	1,16E+02		
Kvikksølv	3,72E-02	1,60E-02	1,15E-01	4,98E-02	1,06E-01	1,1	
Nikkel	8,94E+02	3,52E+02	1,06E+03	4,18E+02	3,53E+01	30,1	11,9
Sink	1,15E+01	7,13E+00	3,80E+01	2,35E+01	2,63E+01	1,4	
Naftalen	3,63E-01	2,78E-01	4,73E-01	3,17E-01	1,69E-02	28,1	18,8
Acenafylen	1,79E-01	1,33E-01	1,90E-01	1,37E-01	9,72E-02	2,0	1,4
Acenaften	5,17E-01	3,44E-01	7,55E-01	4,05E-01	4,53E-02	16,7	8,9
Fluoren	1,73E-01	1,03E-01	3,54E-01	1,51E-01	4,04E-02	8,8	3,8
Fenantren	1,46E+00	5,50E-01	2,57E+00	8,77E-01	1,59E-01	16,1	5,5
Antracen	1,37E-01	9,05E-02	3,88E-01	1,81E-01	8,77E-04	442,8	205,8
Fluoranten	1,93E-01	1,12E-01	1,56E+00	6,62E-01	5,96E-02	26,2	11,1
Pyren	2,68E+00	1,12E+00	3,84E+00	1,58E+00	1,79E-02	215,0	88,6
Benzo(a)antracen	6,33E-02	2,86E-02	1,05E+00	4,43E-01	8,51E-03	123,8	52,0
Krysen	1,08E-02	5,94E-03	9,17E-01	3,89E-01	3,93E-02	23,4	9,9
Benzo(b)fluoranten	2,17E-02	1,16E-02	8,31E-01	3,60E-01	1,97E-02	42,2	18,3
Benzo(k)fluoranten	8,47E-03	4,88E-03	3,99E-01	2,01E-01	1,90E-02	21,0	10,6
Benzo(a)pyren	9,19E-03	5,25E-03	5,81E-01	2,75E-01	2,56E-02	22,7	10,7
Indeno(1,2,3-cd)pyren	2,83E-03	1,59E-03	3,51E-01	1,53E-01	8,81E-03	39,9	17,3
Dibenzo(a,h)antracen	2,85E-03	9,19E-04	1,84E-01	5,09E-02	3,78E-03	48,7	13,5
Benzo(ghi)perylene	2,40E-03	1,43E-03	3,87E-01	1,63E-01	1,17E-02	33,0	13,9
PCB 28	1,08E-02	3,44E-03	1,09E-02	3,47E-03			
PCB 52	1,03E-01	4,34E-02	1,04E-01	4,36E-02			
PCB 101	2,71E-02	1,25E-02	2,80E-02	1,28E-02			
PCB 118	2,39E-03	1,18E-03	3,12E-03	1,54E-03			
PCB 138	5,76E-02	2,38E-02	6,02E-02	2,49E-02			
PCB 153	5,46E-03	2,42E-03	7,97E-03	3,53E-03			
PCB 180	1,51E-02	6,26E-03	1,64E-02	6,81E-03			
Sum PCB7	2,22E-01	9,30E-02	2,30E-01	9,67E-02			
Tributyltinn (TBT-ion)	1,39E+02	6,37E+01	1,39E+02	6,38E+01	3,40E+00	40,8	18,8

I Elkembukta (Tabell 22) er det størst overskridelse for PAH-forbindelsene antracen og pyren. Det er også en moderate overskridelser for kobber, nikkel og sink. Overskridelsene er betydelig lavere i Fiskåbukta (Tabell 23), men også her er det PAH-forbindelsene antracen og pyren som har størst overskridelse. For metallene er det større overskridelser i Fiskåbukta enn i Elkembukta og det er overskridelser for for metallene arsen kobber og nikkel. Det er også overskridelser for TBT i begge områdene, med størst overskridelse i Fiskåbukta.

Samlet årlig spredning av miljøgiftene ut av hele sedimentområdet er vist i Tabell 24 for Elkembukta og Tabell 25 for Fiskåbukta.

**Tabell 24.** Spredning av miljøgifter fra sedimentene i Elkembukta. Det er gitt verdier beregnet på grunnlag av høyeste målte sedimentkonsentrasjon (maks kg/år) og for ett gjennomsnitt av alle prøvene (middel kg/år).  $U_{tot}$  er total spredning som inkluderer alle spredningsveier (slopsoppvirvling, diffusjon og bioturbasjon (biodiffusjon) samt opptak i organismer og videre spredning gjennom næringskjeden).  $U_{tot, skip}$  er total spredning fra arealer påvirket av skipstrafikkog  $U_{tot, sed-skip}$  er total spredning fra arealer ikke påvirket av skipstrafikk.

Stoff	Total mengde spredt per tidsenhet					
	$U_{tot}$		$U_{tot, skip}$		$U_{tot, sed-skip}$	
	maks [kg/år]	middel [kg/år]	maks [kg/år]	middel [kg/år]	maks [kg/år]	middel [kg/år]
Arsen	2,77	0,79	1,37	0,39	1,41	0,40
Bly	0,51	0,25	0,33	0,16	0,18	0,09
Kadmium	0,003	0,001	0,002	0,001	0,001	0,000
Kobber	4,96	1,63	2,63	0,86	2,33	0,77
Krom totalt (III + VI)	0,16	0,08	0,11	0,05	0,05	0,02
Kvikksølv	0,0080	0,0011	0,0049	0,0007	0,0031	0,0004
Nikkel	14,85	4,96	7,38	2,47	7,47	2,50
Sink	0,99	0,57	0,62	0,36	0,37	0,22
Naftalen	0,10	0,06	0,05	0,03	0,05	0,03
Acenaftilen	0,007	0,004	0,004	0,002	0,004	0,002
Acenaften	0,30	0,15	0,15	0,08	0,15	0,08
Fluoren	0,11	0,06	0,06	0,03	0,05	0,03
Fenantren	0,50	0,20	0,27	0,11	0,23	0,10
Antracen	0,07	0,03	0,04	0,02	0,03	0,01
Fluoranten	0,35	0,17	0,21	0,10	0,13	0,07
Pyren	1,09	0,48	0,56	0,25	0,52	0,23
Benzo(a)antracen	0,06	0,03	0,05	0,03	0,01	0,01
Krysen	0,05	0,0228	0,0448	0,0214	0,0027	0,0014
Benzo(b)fluoranten	0,04	0,0205	0,0351	0,0189	0,0028	0,0015
Benzo(k)fluoranten	0,03	0,0118	0,0241	0,0111	0,0015	0,0007
Benzo(a)pyren	0,03	0,0159	0,0298	0,0150	0,0017	0,0009
Indeno(1,2,3-cd)pyren	0,02	0,0074	0,0155	0,0072	0,0004	0,0002
Dibenzo(a,h)antracen	0,00	0,0016	0,0040	0,0016	0,0002	0,0001
Benzo(ghi)perylene	0,01	0,0063	0,0133	0,0061	0,0003	0,0002
sum PAH16	2,76	1,27	1,57	0,72	1,19	0,55
PCB 28	0,00008	0,00000	0,00004	0,00000	0,00004	0,00000
PCB 52	0,00375	0,00142	0,00180	0,00068	0,00195	0,00074
PCB 101	0,00083	0,00035	0,00040	0,00017	0,00043	0,00018
PCB 118	0,00007	0,00003	0,00004	0,00002	0,00003	0,00001
PCB 138	0,00245	0,00058	0,00120	0,00028	0,00125	0,00029
PCB 153	0,00038	0,00008	0,00021	0,00004	0,00017	0,00003
PCB 180	0,00133	0,00029	0,00066	0,00014	0,00067	0,00015
<i>Sum PCB7</i>	<i>0,0089</i>	<i>0,0027</i>	<i>0,0044</i>	<i>0,0013</i>	<i>0,0045</i>	<i>0,0014</i>
Tributyltinn (TBT-ion)	7,48	0,79	3,60	0,38	3,89	0,41

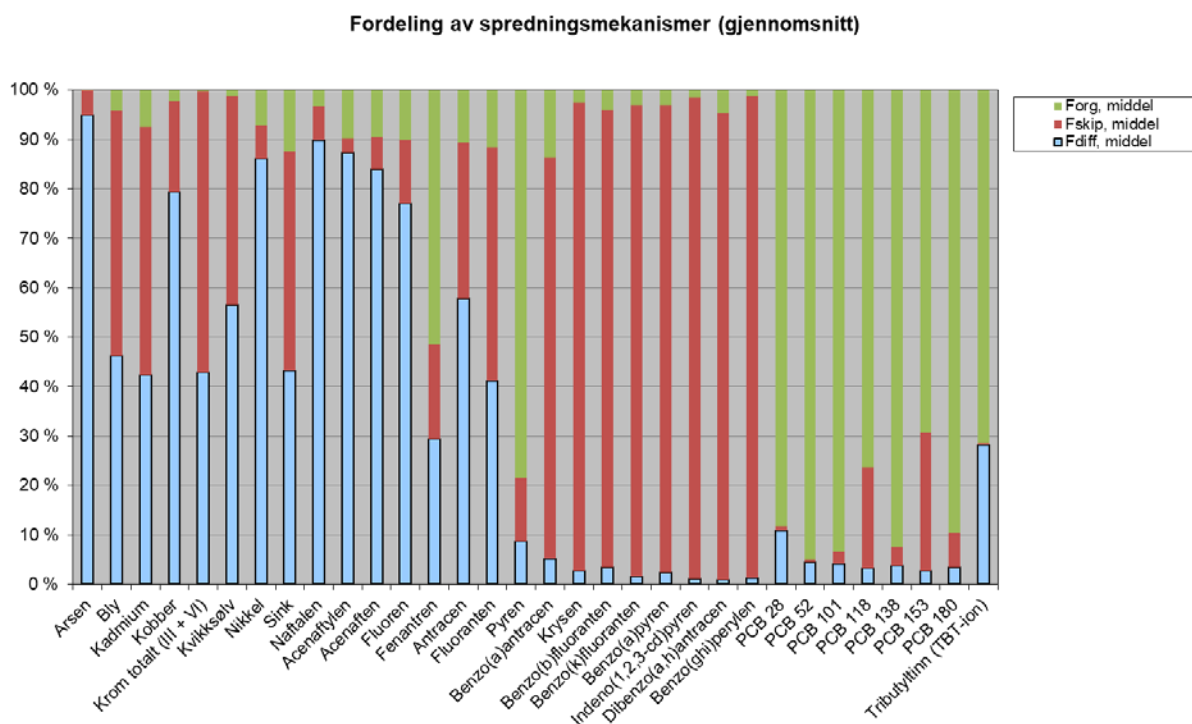
**Tabell 25.** Spredning av miljøgifter fra sedimentene i Fiskåbukta. Det er gitt verdier beregnet på grunnlag av høyeste målte sedimentkonsentrasjon (maks kg/år) og for ett gjennomsnitt av alle prøvene (middel kg/år). Utot er total spredning som inkluderer alle spredningsveier. (Utot, skip er total spredning fra arealer påvirket av skipstrafikkog Utot, sed-skip er total spredning fra arealer som ikke er påvirket av skipstrafikk.

Stoff	Total mengde spredt per tidsenhet					
	U <sub>tot</sub>		U <sub>tot, skip</sub>		U <sub>tot, sed-skip</sub>	
	maks [kg/år]	middel [kg/år]	maks [kg/år]	middel [kg/år]	maks [kg/år]	middel [kg/år]
Arsen	122,99	53,62	56,80	24,76	66,19	28,85
Bly	32,96	15,93	24,50	11,85	8,46	4,09
Kadmium	0,04	0,02	0,03	0,01	0,01	0,00
Kobber	289,62	110,13	159,66	60,71	129,95	49,42
Krom totalt (III + VI)	14,04	7,23	11,00	5,66	3,04	1,57
Kvikksølv	0,09	0,04	0,06	0,03	0,03	0,01
Nikkel	1169,09	459,96	552,31	217,30	616,78	242,66
Sink	27,74	17,16	19,78	12,23	7,96	4,92
Naftalen	0,50	0,36	0,25	0,16	0,25	0,19
Acenaftylen	0,22	0,16	0,10	0,07	0,12	0,09
Acenaften	0,75	0,45	0,39	0,21	0,36	0,24
Fluoren	0,30	0,15	0,18	0,08	0,12	0,07
Fenantren	2,34	0,84	1,34	0,46	1,01	0,38
Antracen	0,30	0,16	0,20	0,09	0,09	0,06
Fluoranten	0,94	0,42	0,81	0,34	0,13	0,08
Pyren	3,85	1,59	2,00	0,82	1,85	0,77
Benzo(a)antracen	0,591	0,250	0,548	0,230	0,044	0,020
Krysen	0,484	0,206	0,477	0,202	0,007	0,004
Benzo(b)fluoranten	0,447	0,195	0,432	0,187	0,015	0,008
Benzo(k)fluoranten	0,213	0,108	0,207	0,105	0,006	0,003
Benzo(a)pyren	0,308	0,147	0,302	0,143	0,006	0,004
Indeno(1,2,3-cd)pyren	0,185	0,080	0,183	0,079	0,002	0,001
Dibenzo(a,h)antracen	0,098	0,027	0,096	0,026	0,002	0,001
Benzo(ghi)perylen	0,203	0,086	0,201	0,085	0,002	0,001
sum PAH16	11,7	5,2	7,7	3,3	4,0	1,9
PCB 28	0,013	0,004	0,006	0,002	0,007	0,002
PCB 52	0,125	0,053	0,054	0,023	0,071	0,030
PCB 101	0,033	0,015	0,015	0,007	0,019	0,009
PCB 118	0,003	0,002	0,002	0,001	0,002	0,001
PCB 138	0,071	0,029	0,031	0,013	0,040	0,016
PCB 153	0,008	0,004	0,004	0,002	0,004	0,002
PCB 180	0,019	0,008	0,009	0,004	0,010	0,004
<i>Sum PCB7</i>	<i>0,2725</i>	<i>0,1145</i>	<i>0,1196</i>	<i>0,0503</i>	<i>0,1529</i>	<i>0,0642</i>
Tributyltinn (TBT-ion)	167,8	77,1	72,2	33,2	95,7	44,0

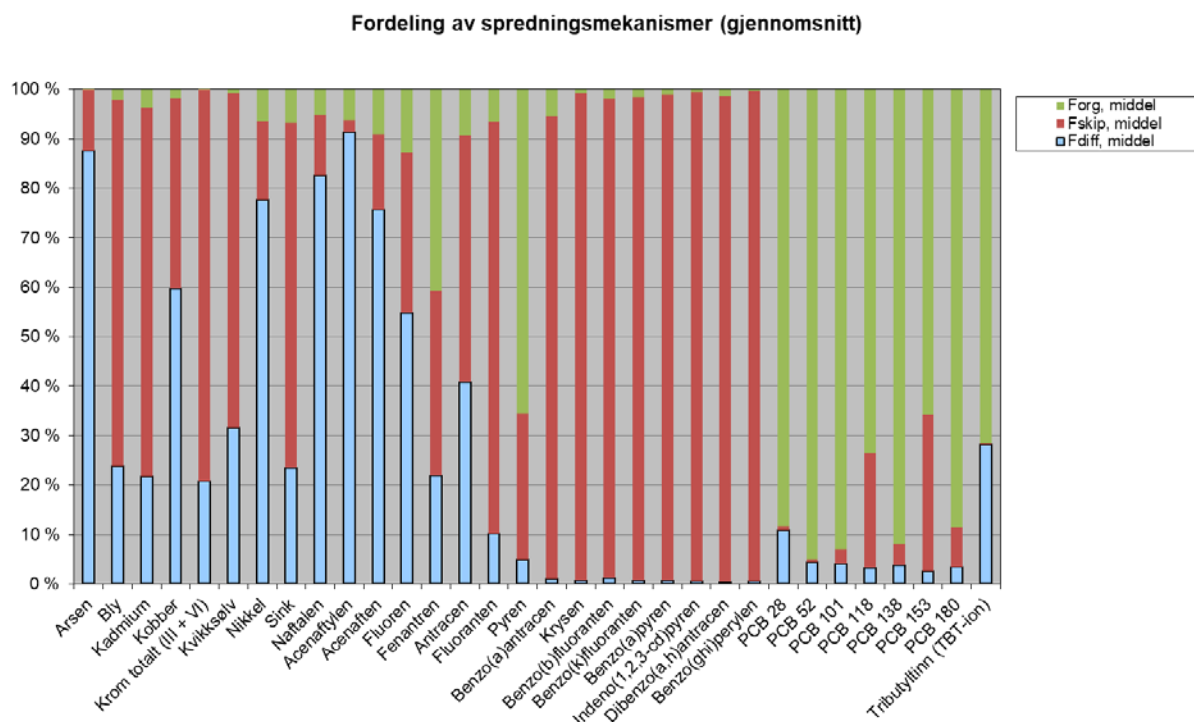


Basert på middeler verdier er det i begge områdene størst totalspredningen av metallene kobber og nikkel, og totalspredningen av disse metallene er ca 50 ganger større fra Fiskåbukta enn fra Elkembukta. Spredningen av sum PAH16 er 1,27 kg/år fra Elkembukta og 5,2 kg/år fra Fiskåbukta. Tilsvarende tall for sum PCB7 og TBT er 2,7 g/år og 0,79 kg/år fra Elkembukta og 115g/år og 77 kg/år fra Fiskåbukta. På grunn av mye større sedimentareal er samlet utlekking størst fra Fiskåbukta selv om utlekkingen pr. sedimentarealenhet er lavere enn i Elkembukta, henholdsvis 28 mg/m<sup>2</sup>/år og 3,5 mg/m<sup>2</sup>/år.

**Figur 18** og **Figur 19** viser den relative betydningen av de tre transportveiene for miljøgifter ut av sedimentene fra Elkembukta og Fiskåbukta; opptak i organismer ( $F_{org}$ ), skipsoppvirvling ( $F_{skip}$ ) og biodiffusjon ( $F_{diff}$ ).



**Figur 18.** Relativ bidrag til spredning av miljøgifter fra sedimentene i Elkembukta vist som prosent av total miljøgifttilførsel for de tre ulike spredningsveiene; opptak i organismer (grønt), skipsoppvirvling (rødt) og biodiffusjon (blått).



**Figur 19.** Relativ bidrag til spredning av miljøgifter fra sedimentene i Fiskåbukta vist som prosent av total miljøgifttilførsel for de tre ulike spredningsveiene; opptak i organismer (grønt), skipsoppvirvling (rødt) og biodiffusjon (blått).

I Elkembukta er det for metallene og de letteste PAH-forbindelsene høyest spredning forårsaket av diffusjon. I Fiskåbukta er det for de samme forbindelsene en større andel av spredningen som skyldes propelloppvirvling. For de tyngre PAH-forbindelsene er mønsteret likt og det er overveiende spredning fra propelloppvirvling som er den dominerende faktoren. For PCB-forbindelser og TBT er transport via organismer den viktigste faktoren.

### 5.3 Risikovurdering trinn 2B, risiko for human helse

Risikoen ulike miljøgifter utgjør for human helse vurderes ut fra aktuelle transportveier til mennesker og etter hvordan et sedimentområde anvendes. Den viktigste eksponeringsveien er vanligvis via konsum av fisk og skalldyr, men inntak av og kontakt med sediment og vann er også tatt med i beregningene siden dette kan ha betydning ved rekreasjon og bading. Transporten til mennesker uttrykkes som samlet livslangt inntak av et stoff i mg pr. kg kroppsvekt pr. dag og sammenliknes med tilsvarende grense for tolerabelt inntak, satt av Mattilsynet. Risikobetraktningen forutsetter også at maksimalt 10 % av samlet tolerabelt inntak får komme fra sedimentene. Overskridelse av 10 % av maksimalt tolerabelt livslangt inntak er vist i **Tabell 26** og **Tabell 27** for de to områdene.

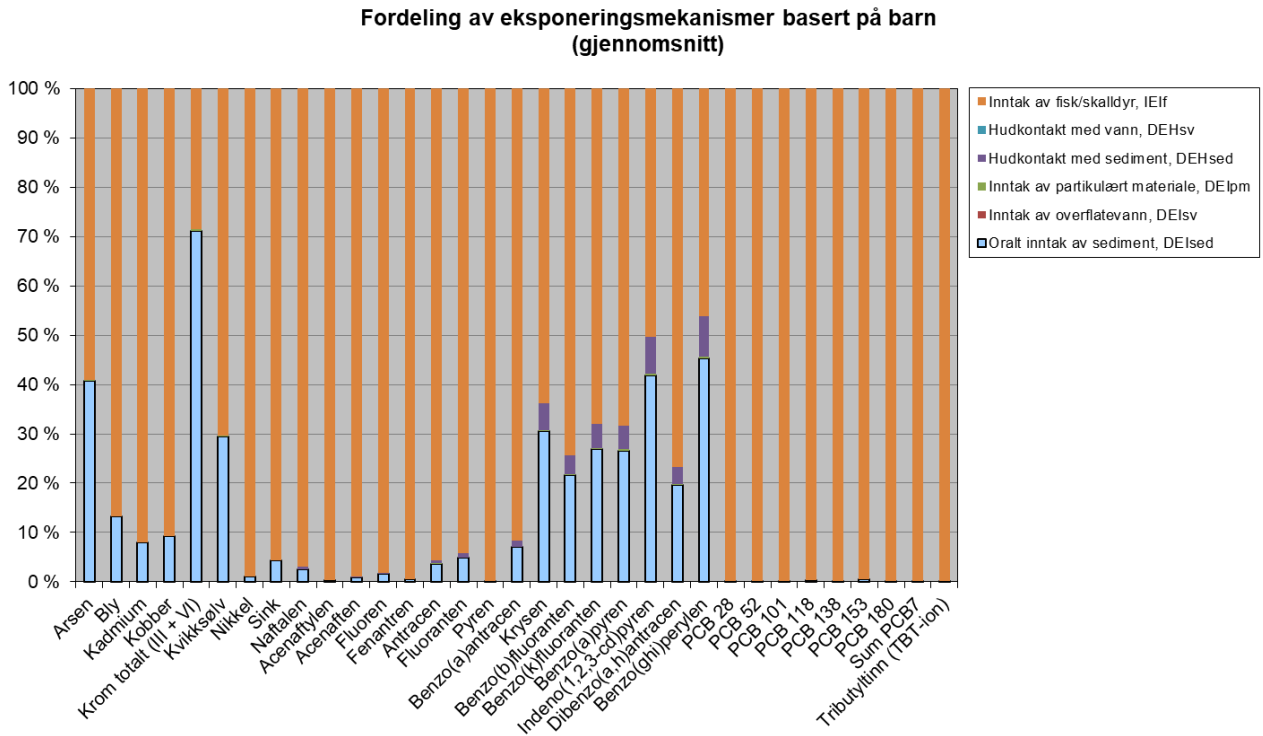
**Tabell 26.** Elkembukta: Beregnet total livstidsdose (mg/kg kroppsvekt og dag) for miljøgifter og faktor for overskridelse i forhold til grenseverdier for human risiko. Tabellen er basert på miljøgiftinnhold i sediment og porevann. Overskridelsesfaktor er bare vist for stoffer som overskrider grenseverdien. Antall ganger grenseverdien overskrides er vist med røde tall.

Stoff	Beregnet total livstidsdose		Grense for human risiko, MTR/TDI 10 % (mg/kg/d)	Beregnet total livstidsdose i forhold til MTR 10 % (antall ganger):	
	DOSE <sub>maks</sub> (mg/kg/d)	DOSE <sub>middel</sub> (mg/kg/d)		Maks	Middel
Arsen	8,23E-05	2,35E-05	1,00E-04		
Bly	5,30E-04	2,60E-04	3,60E-04	1,5	
Kadmium	4,66E-06	1,47E-06	5,00E-05		
Kobber	2,09E-03	6,88E-04	1,63E-02		
Krom totalt (III + VI)	5,77E-05	2,77E-05	5,00E-04		
Kvikksølv	3,46E-06	4,73E-07	7,10E-05		
Nikkel	1,57E-02	5,25E-03	5,00E-03	3,1	1,0
Sink	2,44E-03	1,42E-03	5,00E-02		
Naftalen	1,04E-04	2,69E-05	4,00E-03		
Acenaftalen	2,82E-05	5,72E-06	5,00E-03		
Acenaften	5,98E-04	1,72E-04	5,00E-02		
Fluoren	2,05E-04	7,00E-05	4,00E-03		
Fenantren	4,41E-03	1,52E-03	4,00E-03	1,1	
Antracen	1,38E-04	5,12E-05	4,00E-03		
Fluoranten	6,89E-04	3,07E-04	5,00E-03		
Pyren	1,25E-02	5,36E-03	5,00E-02		
Benzo(a)antracen	2,30E-04	1,18E-04	5,00E-04		
Krysen	6,73E-05	3,20E-05	5,00E-03		
Benzo(b)fluoranten	6,22E-05	3,34E-05	5,00E-04		
Benzo(k)fluoranten	4,63E-05	2,12E-05	5,00E-04		
Benzo(a)pyren	4,69E-05	2,35E-05	5,00E-05		
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1,80E-05	8,40E-06	5,00E-04		
Dibenzo(a,h)antracen	7,89E-06	3,06E-06	5,00E-05		
Benzo(ghi)perylene	1,47E-05	6,80E-06	3,00E-03		
PCB 28	1,03E-06	5,42E-08			
PCB 52	4,98E-05	1,89E-05			
PCB 101	1,09E-05	4,62E-06			
PCB 118	8,73E-07	3,67E-07			
PCB 138	3,22E-05	7,57E-06			
PCB 153	4,36E-06	8,64E-07			
PCB 180	1,73E-05	3,76E-06			
Sum PCB7	1,16E-04	3,61E-05	1,00E-06	116,5	36,1
Tributyltinn (TBT-ion)	7,46E-02	7,87E-03	2,50E-04	298,3	31,5

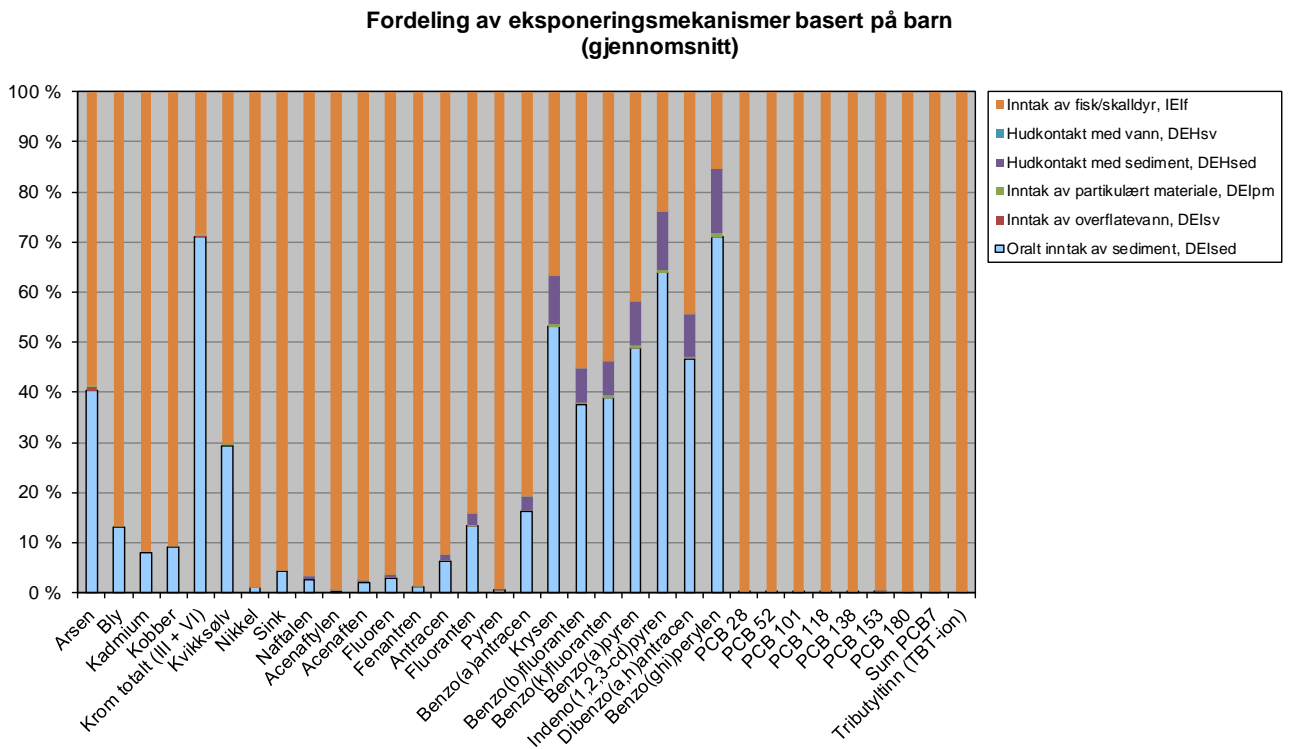
**Tabell 27.** Fiskåbukta: Beregnet total livstidsdose (mg/kg kroppsvekt og dag) for miljøgifter og faktor for overskridelse i forhold til grenseverdier for human risiko. Tabellen er basert på miljøgiftinnhold i sediment og porevann. Overskridelsesfaktor er bare vist for stoffer som overskrider grenseverdien. Antall ganger grenseverdien overskrides er vist med røde tall.

Stoff	Beregnet total livstidsdose		Grense for human risiko, MTR/TDI 10 % (mg/kg/d)	Beregnet total livstidsdose i forhold til MTR 10 % (antall ganger):	
	DOSE <sub>maks</sub> (mg/kg/d)	DOSE <sub>middel</sub> (mg/kg/d)		Maks	Middel
Arsen	1,37E-04	5,98E-05	1,00E-04	1,4	
Bly	8,84E-04	4,27E-04	3,60E-04	2,5	1,2
Kadmium	1,72E-06	6,66E-07	5,00E-05		
Kobber	4,14E-03	1,57E-03	1,63E-02		
Krom totalt (III + VI)	1,21E-04	6,26E-05	5,00E-04		
Kvikksølv	1,03E-06	4,43E-07	7,10E-05		
Nikkel	4,59E-02	1,81E-02	5,00E-03	9,2	3,6
Sink	1,86E-03	1,15E-03	5,00E-02		
Naftalen	3,05E-05	1,08E-05	4,00E-03		
Acenaftalen	1,81E-05	5,63E-06	5,00E-03		
Acenaften	9,61E-05	2,47E-05	5,00E-02		
Fluoren	4,87E-05	1,31E-05	4,00E-03		
Fenantren	8,06E-04	2,36E-04	4,00E-03		
Antracen	3,24E-05	1,16E-05	4,00E-03		
Fluoranten	8,12E-05	3,27E-05	5,00E-03		
Pyren	1,70E-03	6,82E-04	5,00E-02		
Benzo(a)antracen	4,44E-05	1,86E-05	5,00E-04		
Krysen	1,07E-05	4,52E-06	5,00E-03		
Benzo(b)fluoranten	1,57E-05	6,76E-06	5,00E-04		
Benzo(k)fluoranten	6,79E-06	3,41E-06	5,00E-04		
Benzo(a)pyren	8,02E-06	3,79E-06	5,00E-05		
Indeno(1,2,3-cd)pyren	3,51E-06	1,52E-06	5,00E-04		
Dibenzo(a,h)antracen	2,90E-06	7,98E-07	5,00E-05		
Benzo(ghi)perylene	3,37E-06	1,41E-06	3,00E-03		
PCB 28	6,31E-06	2,00E-06			
PCB 52	6,44E-05	2,71E-05			
PCB 101	1,70E-05	7,82E-06			
PCB 118	1,50E-06	7,41E-07			
PCB 138	3,62E-05	1,50E-05			
PCB 153	3,45E-06	1,53E-06			
PCB 180	9,51E-06	3,95E-06			
Sum PCB7	1,38E-04	5,81E-05	1,00E-06	138,4	58,1
Tributyltinn (TBT-ion)	6,50E-02	2,99E-02	2,50E-04	260,1	119,5

Det er ingen PAH-forbindelser som overskrider grenseverdiene for human helse verken i Elkembukta eller Fiskåbukta. I Elkembukta er det en overskridelse for nikkel, PCB7 og TBT. Dette gjelder også for Fiskåbukta, og her er det i tillegg en overskridelse for bly. Overskridelsene er størst i Fiskåbukta (Tabell 27). I begge områdene utgjør altså sedimentene en risiko for skade på human helse, men dette skyldes ikke PAH-forbindelser. Den humane risikoen skyldes i sin helhet inntak av lokal sjømat som i Figur 20 og Figur 21. Det foreligger advarsler mot inntak av sjømat i området, jfr. kapittel 2.6.



**Figur 20.** Betydningen av ulike eksponeringsveier på human risiko for miljøgifter i Elkembukta.



**Figur 21.** Betydningen av ulike eksponeringsveier på human risiko for miljøgifter fra Fiskåbukta.

## 5.4 Risikovurdering trinn 2C, risiko for skade på økosystemet

Risiko for effekter på økosystemet vurderes ut fra målte eller beregnede konsentrasjoner av miljøgifter som organismer i sediment (porevannskonsentrasjoner) og vann eksponeres for. Disse konsentrasjonene sammenlignes med relevante grenseverdier for forventede effekter, såkalte PNEC-verdier (Predicted No-Effect Concentrations). Resultatene er oppgitt for bunnlevende organismer knyttet til sedimenter i **Tabell 28** og **Tabell 29** (porevannskonsentrasjoner) og for organismer i de frie vannmassene i **Tabell 30** og **Tabell 31**.



**Tabell 28.** Elkembukta: Beregnede og målte porevannskonsentrasjoner. Faktorer for overskridelser av PNEC<sub>w</sub> (grenseverdi for økologisk risiko ved kronisk eksponering til miljøgifter i vann) er vist med rødt skrift. PNEC<sub>w</sub>-grenseverdien er satt som øvre grense for tilstandsklasse II.

Stoff	Målt porevannskonsentrasjon		Grenseverdi for økologisk risiko, PNEC <sub>w</sub> (mg/l)	Målt eller beregnet porevannskonsentrasjon i forhold til PNEC <sub>w</sub> (antall ganger):	
	C <sub>pv</sub> , maks (mg/l)	C <sub>pv</sub> , middel (mg/l)		Maks	Middel
Arsen	ikke målt	ikke målt	6,0E-04	14,4	4,1
Bly	ikke målt	ikke målt	1,3E-03		
Kadmium	ikke målt	ikke målt	2,0E-04		
Kobber	ikke målt	ikke målt	2,6E-03	6,8	2,2
Krom totalt (III + VI)	ikke målt	ikke målt	3,4E-03		
Kvikksølv	ikke målt	ikke målt	4,7E-05		
Nikkel	ikke målt	ikke målt	8,6E-03	6,7	2,3
Sink	ikke målt	ikke målt	3,4E-03		
Naftalen	2,81E-04	1,80E-04	2,0E-03		
Acenaftylen	1,90E-05	1,51E-05	1,3E-03		
Acenaften	9,48E-04	5,21E-04	3,8E-03		
Fluoren	3,50E-04	1,93E-04	1,5E-03		
Fenantren	5,73E-04	3,28E-04	5,1E-04	1,1	
Antracen	1,86E-04	1,02E-04	1,0E-04	1,9	1,0
Fluoranten	9,85E-04	4,94E-04	6,3E-06	156,3	78,4
Pyren	5,48E-04	2,91E-04	2,3E-05	23,8	12,7
Benzo(a)antracen	4,00E-05	2,03E-05	1,2E-05	3,3	1,7
Krysen	1,50E-05	8,21E-06	7,0E-05		
Benzo(b)fluoranten	1,60E-05	8,90E-06	1,7E-05		
Benzo(k)fluoranten	4,90E-06	2,70E-06	1,7E-05		
Benzo(a)pyren	9,30E-06	5,16E-06	1,7E-07	54,7	30,4
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1,80E-06	1,06E-06	2,7E-06		
Dibenzo(a,h)antracen	3,40E-07	2,04E-07	6,0E-07		
Benzo(ghi)perylene	1,80E-06	1,07E-06	8,2E-07	2,2	1,3
PCB 28	ikke målt	ikke målt		mangler PNEC	mangler PNEC
PCB 52	ikke målt	ikke målt		mangler PNEC	mangler PNEC
PCB 101	ikke målt	ikke målt		mangler PNEC	mangler PNEC
PCB 118	ikke målt	ikke målt		mangler PNEC	mangler PNEC
PCB 138	ikke målt	ikke målt		mangler PNEC	mangler PNEC
PCB 153	ikke målt	ikke målt		mangler PNEC	mangler PNEC
PCB 180	ikke målt	ikke målt		mangler PNEC	mangler PNEC
Sum PCB7	ikke målt	ikke målt		mangler PNEC	mangler PNEC
Tributyltinn (TBT-ion)	ikke målt	ikke målt	2,0E-07	63338,3	6682,9

**Tabell 29.** Fiskåbukta: Beregnede og målte porevannskonsentrasjoner. Faktorer for overskridelser av PNEC<sub>w</sub> (grenseverdi for økologisk risiko ved kronisk eksponering til miljøgifter i vann) er vist med rødt skrift. PNEC<sub>w</sub>-grenseverdien er satt som øvre grense for tilstandsklasse II.

Stoff	Målt porevannskonsentrasjon		Grenseverdi for økologisk risiko, PNEC <sub>w</sub> (mg/l)	Målt eller beregnet porevannskonsentrasjon i forhold til PNEC <sub>w</sub> (antall ganger):	
	C <sub>pv</sub> , maks (mg/l)	C <sub>pv</sub> , middel (mg/l)		Maks	Middel
Arsen	ikke målt	ikke målt	6,0E-04	24,0	10,4
Bly	ikke målt	ikke målt	1,3E-03	1,2	
Kadmium	ikke målt	ikke målt	2,0E-04		
Kobber	ikke målt	ikke målt	2,6E-03	13,4	5,1
Krom totalt (III + VI)	ikke målt	ikke målt	3,4E-03		
Kvikksølv	ikke målt	ikke målt	4,7E-05		
Nikkel	ikke målt	ikke målt	8,6E-03	19,7	7,8
Sink	ikke målt	ikke målt	3,4E-03		
Naftalen	5,00E-05	4,13E-05	2,0E-03		
Acenaftilen	2,70E-05	2,22E-05	1,3E-03		
Acenaften	6,70E-05	5,52E-05	3,8E-03		
Fluoren	1,90E-05	1,57E-05	1,5E-03		
Fenantren	4,70E-05	3,84E-05	5,1E-04		
Antracen	1,80E-05	1,47E-05	1,0E-04		
Fluoranten	1,80E-05	1,47E-05	6,3E-06	2,9	2,3
Pyren	2,10E-05	1,72E-05	2,3E-05		
Benzo(a)antracen	1,30E-06	1,05E-06	1,2E-05		
Krysen	8,50E-07	6,88E-07	7,0E-05		
Benzo(b)fluoranten	1,50E-06	1,21E-06	1,7E-05		
Benzo(k)fluoranten	5,20E-07	4,21E-07	1,7E-05		
Benzo(a)pyren	6,90E-07	5,59E-07	1,7E-07	4,1	3,3
Indeno(1,2,3-cd)pyren	2,70E-07	2,17E-07	2,7E-06		
Dibenzo(a,h)antracen	7,00E-08	5,60E-08	6,0E-07		
Benzo(ghi)perylene	3,10E-07	2,46E-07	8,2E-07		
PCB 28	ikke målt	ikke målt		mangler PNEC	mangler PNEC
PCB 52	ikke målt	ikke målt		mangler PNEC	mangler PNEC
PCB 101	ikke målt	ikke målt		mangler PNEC	mangler PNEC
PCB 118	ikke målt	ikke målt		mangler PNEC	mangler PNEC
PCB 138	ikke målt	ikke målt		mangler PNEC	mangler PNEC
PCB 153	ikke målt	ikke målt		mangler PNEC	mangler PNEC
PCB 180	ikke målt	ikke målt		mangler PNEC	mangler PNEC
Sum PCB7	ikke målt	ikke målt		mangler PNEC	mangler PNEC
Tributyltinn (TBT-ion)	ikke målt	ikke målt	2,0E-07	55233,6	25374,9

Overskridelsene i Trinn 1 i risikovurderingen indikerer at sedimentene i begge områder utgjør en risiko for økologiske effekter på organismer i sedimentet. Tabellene viser at dette skyldes både PAH-forbindelser, metaller (arsen, kobber, nikkel), og TBT i både Elkembukta og Fiskåbukta. Beregnede (metaller, og TBT) og målte (PAH-forbindelser) porevannskonsentrasjoner overskrider grenseverdi for økologiske effekter i vann (PNEC<sub>w</sub>) (Tabell 28 og Tabell 29). I begge områdene er overskridelsene høyest for TBT med en faktor på 6683ganger i Elkembukta og 25375 ganger i Fiskåbukta. Det er også overskridelser for flere PAH-forbindelser, med høyest overskridelser i Elkembukta.

**Tabell 30.** Elkembukta: Beregnede miljøgiftkonsentrasjoner i vannmassene over sedimentene (mg/l) og faktorer for overskridelse av grenseverdi (PNEC) for økologisk risiko ved kronisk eksponering til miljøgifter i vann. PNEC<sub>w</sub> tilsvarer grensen mellom tilstandsklasse II og III.

Stoff	Beregnet sjøvannskonsentrasjon		Målt sjøvannskonsentrasjon		Grenseverdi for økologisk risiko, PNEC <sub>w</sub> (mg/l)	Beregnet sjøvannskonsentrasjon i forhold til PNEC <sub>w</sub> (antall ganger):	
	C <sub>sv, maks</sub> (mg/l)	C <sub>sv, middel</sub> (mg/l)	C <sub>sv, maks</sub> (mg/l)	C <sub>sv, middel</sub> (mg/l)		Maks	Middel
Arsen	1,12E-04	3,20E-05	ikke målt	ikke målt	6,0E-04		
Bly	2,59E-05	1,27E-05	ikke målt	ikke målt	1,3E-03		
Kadmium	1,39E-07	4,38E-08	ikke målt	ikke målt	2,0E-04		
Kobber	2,11E-04	6,93E-05	ikke målt	ikke målt	2,6E-03		
Krom totalt (III + VI)	8,96E-06	4,31E-06	ikke målt	ikke målt	3,4E-03		
Kvikksølv	3,96E-07	5,42E-08	ikke målt	ikke målt	4,7E-05		
Nikkel	5,63E-04	1,88E-04	ikke målt	ikke målt	8,6E-03		
Sink	4,42E-05	2,57E-05	ikke målt	ikke målt	3,4E-03		
Naftalen	3,86E-06	2,26E-06	ikke målt	ikke målt	2,0E-03		
Acenaftilen	2,23E-07	1,62E-07	ikke målt	ikke målt	1,3E-03		
Acenaften	1,09E-05	5,69E-06	ikke målt	ikke målt	3,8E-03		
Fluoren	4,13E-06	2,13E-06	ikke målt	ikke målt	1,5E-03		
Fenantren	9,97E-06	4,65E-06	ikke målt	ikke målt	5,1E-04		
Antracen	2,80E-06	1,34E-06	ikke målt	ikke målt	1,0E-04		
Fluoranten	1,57E-05	7,48E-06	ikke målt	ikke målt	6,3E-06	2,5	1,2
Pyren	1,10E-05	5,19E-06	ikke målt	ikke målt	2,3E-05		
Benzo(a)antracen	3,69E-06	1,89E-06	ikke målt	ikke målt	1,2E-05		
Krysen	3,59E-06	1,71E-06	ikke målt	ikke målt	7,0E-05		
Benzo(b)fluoranten	2,78E-06	1,50E-06	ikke målt	ikke målt	1,7E-05		
Benzo(k)fluoranten	1,90E-06	8,73E-07	ikke målt	ikke målt	1,7E-05		
Benzo(a)pyren	2,38E-06	1,20E-06	ikke målt	ikke målt	1,7E-07	14,0	7,0
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1,26E-06	5,88E-07	ikke målt	ikke målt	2,7E-06		
Dibenzo(a,h)antracen	3,14E-07	1,22E-07	ikke målt	ikke målt	6,0E-07		
Benzo(ghi)perylene	1,08E-06	5,00E-07	ikke målt	ikke målt	8,2E-07	1,3	
PCB 28	3,86E-10	2,03E-11	ikke målt	ikke målt		mangler PNEC	mangler PNEC
PCB 52	7,27E-09	2,76E-09	ikke målt	ikke målt		mangler PNEC	mangler PNEC
PCB 101	2,18E-09	9,21E-10	ikke målt	ikke målt		mangler PNEC	mangler PNEC
PCB 118	7,57E-10	3,18E-10	ikke målt	ikke målt		mangler PNEC	mangler PNEC
PCB 138	7,39E-09	1,74E-09	ikke målt	ikke målt		mangler PNEC	mangler PNEC
PCB 153	5,39E-09	1,07E-09	ikke målt	ikke målt		mangler PNEC	mangler PNEC
PCB 180	5,62E-09	1,22E-09	ikke målt	ikke målt		mangler PNEC	mangler PNEC
Sum PCB7	2,90E-08	8,04E-09	ikke målt	ikke målt		mangler PNEC	mangler PNEC
Tributyltinn (TBT-ion)	8,43E-05	8,90E-06	ikke målt	ikke målt	2,0E-07	421,7	44,5

**Tabell 31.** Fiskåbukta: Beregnede miljøgiftkonsentrasjoner i vannmassene over sedimentene (mg/l) og faktorer for overskridelse av grenseverdi (PNEC), for økologisk risiko ved kronisk eksponering til miljøgifter i vann. PNEC<sub>w</sub> tilsvarer grensen mellom tilstandsklasse II og III.

Stoff	Beregnet sjøvannskonsentrasjon		Målt sjøvannskonsentrasjon		Grenseverdi for økologisk risiko, PNEC <sub>w</sub> (mg/l)	Beregnet sjøvannskonsentrasjon i forhold til PNEC <sub>w</sub> (antall ganger):	
	C <sub>sv, maks</sub> (mg/l)	C <sub>sv, middel</sub> (mg/l)	C <sub>sv, maks</sub> (mg/l)	C <sub>sv, middel</sub> (mg/l)		Maks	Middel
Arsen	8,29E-05	3,62E-05	ikke målt	ikke målt	6,0E-04		
Bly	3,50E-05	1,69E-05	ikke målt	ikke målt	1,3E-03		
Kadmium	4,24E-08	1,64E-08	ikke målt	ikke målt	2,0E-04		
Kobber	2,29E-04	8,72E-05	ikke målt	ikke målt	2,6E-03		
Krom totalt (III + VI)	1,60E-05	8,26E-06	ikke målt	ikke målt	3,4E-03		
Kvikksølv	8,71E-08	3,76E-08	ikke målt	ikke målt	4,7E-05		
Nikkel	7,55E-04	2,97E-04	ikke målt	ikke målt	8,6E-03		
Sink	2,69E-05	1,67E-05	ikke målt	ikke målt	3,4E-03		
Naftalen	3,25E-07	2,29E-07	ikke målt	ikke målt	2,0E-03		
Acenaftilen	1,23E-07	9,72E-08	ikke målt	ikke målt	1,3E-03		
Acenaften	4,64E-07	2,80E-07	ikke målt	ikke målt	3,8E-03		
Fluoren	2,14E-07	1,00E-07	ikke målt	ikke målt	1,5E-03		
Fenantren	1,03E-06	3,94E-07	ikke målt	ikke målt	5,1E-04		
Antracen	2,59E-07	1,24E-07	ikke målt	ikke målt	1,0E-04		
Fluoranten	1,10E-06	4,69E-07	ikke målt	ikke målt	6,3E-06		
Pyren	9,52E-07	4,13E-07	ikke målt	ikke målt	2,3E-05		
Benzo(a)antracen	7,56E-07	3,18E-07	ikke målt	ikke målt	1,2E-05		
Krysen	6,91E-07	2,93E-07	ikke målt	ikke målt	7,0E-05		
Benzo(b)fluoranten	6,19E-07	2,68E-07	ikke målt	ikke målt	1,7E-05		
Benzo(k)fluoranten	2,98E-07	1,50E-07	ikke målt	ikke målt	1,7E-05		
Benzo(a)pyren	4,36E-07	2,07E-07	ikke målt	ikke målt	1,7E-07	2,6	1,2
Indeno(1,2,3-cd)pyren	2,66E-07	1,15E-07	ikke målt	ikke målt	2,7E-06		
Dibenzo(a,h)antracen	1,38E-07	3,81E-08	ikke målt	ikke målt	6,0E-07		
Benzo(ghi)perylene	2,93E-07	1,23E-07	ikke målt	ikke målt	8,2E-07		
PCB 28	9,72E-10	3,09E-10	ikke målt	ikke målt		mangler PNEC	mangler PNEC
PCB 52	3,88E-09	1,63E-09	ikke målt	ikke målt		mangler PNEC	mangler PNEC
PCB 101	1,49E-09	6,83E-10	ikke målt	ikke målt		mangler PNEC	mangler PNEC
PCB 118	6,27E-10	3,09E-10	ikke målt	ikke målt		mangler PNEC	mangler PNEC
PCB 138	3,72E-09	1,54E-09	ikke målt	ikke målt		mangler PNEC	mangler PNEC
PCB 153	2,07E-09	9,18E-10	ikke målt	ikke målt		mangler PNEC	mangler PNEC
PCB 180	1,43E-09	5,93E-10	ikke målt	ikke målt		mangler PNEC	mangler PNEC
Sum PCB7	1,42E-08	5,98E-09	ikke målt	ikke målt		mangler PNEC	mangler PNEC
Tributyltinn (TBT-ion)	2,99E-05	1,37E-05	ikke målt	ikke målt	2,0E-07	149,5	68,7

Risikoen for effekter på organismer i vannmassene av miljøgifter som lekker ut av sedimentene er vist i **Tabell 30** og **Tabell 31**. I Fiskåbukta er det overskridelse av grenseverdien for benzo(a)pyren og TBT, med en faktor på hhv 1,2 og 69. I Elkembukta er det overskridelser av PAH-forbindelsene og benzo(a)pyren med en faktor på hhv 1,2 og 7,0 i tillegg til TBT som overskrider grenseverdien med en faktor på 44,5. I begge områder utgjør TBT den største risiko for økologiske effekter i vannmassene. Både totale sedimentkonsentrasjoner, vist ved toksisitetstestene i 2013 (Næs m.fl. 2014), og porevannskonsentrasjonene utgjør derfor en risiko for effekter på sedimentlevende dyr.

## 5.5 Oppsummering risikovurderinger

### 5.5.1 Elkembukta

I Elkembukta var det overskridelser i forhold til Trinn 1 grenseverdier for samtlige PAH-forbindelser, metallene kobber, nikkel og sink, i tillegg til PCB<sub>7</sub> og TBT. Beregnet spredning fra sedimentene oversteg også «grenseverdien» for trinn 1 for de samme forbindelsene, med unntak av PCB hvor det ikke er oppgitt grenseverdi. Totalspredningen av PAH<sub>16</sub> fra sedimentene ble beregnet til 1,27 kg/år. I 2014 ble utlekkingen estimert til 3,3 kg/år. Spredningen av Cu og Ni ble beregnet til å utgjøre hhv 1,6 og 5 kg/år og spredning av TBT ble beregnet til 0,8 kg/år. Spredningen av TBT er ca tre ganger høyere enn beregningene i 2014.

Faren for effekter på økosystemet vurderes ut fra overskridelser av PNEC-verdier. For bunnlevende organismer er det i Elkembukta overskridelser for metallene As, Cu og Ni og seks PAH-forbindelser. Størst overskridelse er det for TBT. For vannlevende organismer er det overskridelser for to PAH-forbindelser i tillegg til TBT.

Grenseverdiene for human risiko ble overskredet for PCB<sub>7</sub> og TBT, og i noe mindre grad nikkel. Denne risikoen skyldes hovedsakelig transport i næringskjeden fra bunndyr til lokal sjømat. Beregningen av risiko for skade på human helse forutsetter i praksis at næringskjedetransporten skjer innenfor risikoområdet som innebærer at sjømaten tar all sin næring i området. For stedbundne organismer som feks blåskjell vil risikoen være reell, men for fisk som er mobil vil risikoen sannsynligvis være overestimert ettersom fisken vil kunne vandre og beite på andre områder også.

### 5.5.2 Fiskåbukta

I Fiskåbukta var det overskridelser i forhold til Trinn 1 grenseverdier for samtlige PAH-forbindelser med unntak av acenaftylen. Det var også overskridelser for metallene arsen, kobber og nikkel, i tillegg til PCB<sub>7</sub> og TBT. Beregnet spredning fra sedimentene oversteg også «grenseverdien» for trinn 1 for de samme forbindelsene, med unntak av PCB<sub>7</sub> hvor det ikke er oppgitt grenseverdi. Totalspredningen av PAH<sub>16</sub> fra sedimentene innenfor det definerte arealet ble beregnet til 5,2 kg/år. I risikovurderingen fra 2014 ble utlekkingen av PAH<sub>16</sub> estimert til 8 kg/år. Spredningen av arsen, kobber og nikkel ble beregnet til å utgjøre hhv 53,6 kg/år, 110 kg/år og 460 kg/år og spredning av TBT ble beregnet til 77 kg/år som er ca 40 ganger høyere enn i 2014.

For bunnlevende organismer er det i Fiskåbukta overskridelser for metallene As, Cu og Ni og to PAH-forbindelser og en betydelig overskridelse for TBT. For vannlevende organismer er det overskridelser for en PAH-forbindelse i tillegg til TBT.

Grenseverdiene for human risiko ble overskredet for bly og nikkel, PCB<sub>7</sub> og TBT. Denne risikoen skyldes hovedsakelig transport i næringskjeden fra bunndyr til lokal sjømat. Risikoen skyldes først og fremst sumPCB<sub>7</sub> og TBT, og i mindre grad bly. Beregningen av risiko for skade på human helse forutsetter i praksis at næringskjedetransporten skjer innenfor risikoområdet. Det forutsetter at sjømaten tar all sin næring i området. For stedbundne organismer som feks blåskjell vil risikoen være reell, men for fisk som er mobil vil risikoen sannsynligvis være overestimert ettersom fisken vil kunne vandre og beite på andre områder også.

## 6 Avgrensning av tiltaksområdet

I de foregående kapitlene er områdets topografi, tilførsler, konsentrasjoner i sediment, porevann og biota, sedimentasjon, sedimentenes egenskaper, tilstanden for bløtbunnsfauna og risikobildet i Elkembukta og Fiskåbukta belyst og diskutert. Resultatene viser at det er en vesentlig endring i miljøforholdene i sedimentene innenfor og utenfor 20-25 meters dyp i Elkembukta. I Fiskåbukta er risikoen for human helse og økologiske effekter fra PAH relativt lav selv om det foreligger en spredningsrisiko, og den økologiske tilstanden representert ved bløtbunnsfaunaen er god. På grunnlag av dette forelås Elkembukta som Elkems primære tiltaksområde, avgrenset av 20-25 m dypdekote. Ved tiltaksgjennomføring er det relevant å vurdere inndeling i mindre delområder innenfor Elkembukta på bakgrunn av dyp og sedimentegenskaper.

Fiskåbukta er påvirket av utslipp fra Elkem Carbon AS, men er også resipient for flere andre virksomheter og er utsatt for et større mangfold av påvirkninger fra flere ulike kilder. Dette sammen med annen tilstand og et annet risikobilde enn i Elkembukta gjør det relevant å betrakte Fiskåbukta som et eget tiltaksområde.

Oppsummering av karakteristikk for områdene er vist i **Tabell 32**.



**Tabell 32.** Karakteristikk for Elkembukta og Fiskåbukta. For risiko er middelværdi for antall ganger overskridelser vist i parentes. Prefix for PAH: Antall PAHer som overskrider grenseverdiene.

	<b>Elkembukta</b>	<b>Fiskåbukta</b>
Areal	47 000 m <sup>2</sup>	1 210 000 m <sup>2</sup>
Biologiske ressurser	Ubetydelig	Moderat
Rekreasjonsverdi	Ingen	Moderat
Påvirkninger	Vesentlige aktive utslipp fra Elkem Uavklarte diffuse tilførsler fra Elkem	Komplekse og til dels uavklarte tilførsler
Tilstand bløtbunnsfauna (Basert på indeks NQ11)	<Moderat	God
Kjemisk tilstand sediment	Ikke god	Ikke god
Kjemisk tilstand biota	Ikke god	God
Porevannskonsentrasjon	> 1000	<1000
PAH (ng/l)		
TOC (%)	11-28	3-6
Utlekking PAH, mg/m <sup>2</sup> /år	28	3,5
Total årlig spredning kg/år:	1,3	5,2
NB! Verdiene er arealavhengig		
Risiko for sedimentlevende dyr (Overskridelser i parentes)	As (4) Cu (2) Ni (2) 6-PAH (1-78) TBT (7000)	As (10) Cu (5) Ni (8) 2-PAH (2-3) TBT (25000)
Risiko for organismer i vannmasser	2-PAH (1-7) TBT (45)	1-PAH (2) TBT (69)
Human risiko	Ni (1) PCB <sub>7</sub> (36) TBT 32)	Pb (1) Ni (4) PCB <sub>7</sub> (60) TBT (120)
Spredningsrisiko	Cu(2) Ni(4) Zn(1) TBT (12) 16-PAH (2-2200)	As(3) Cu(4) Ni(12) TBT (19) 16-PAH (1-206)

## 7 Tiltaksvurdering

Tiltaksløsninger kan prinsipielt bestå av å fjerne, isolere eller behandle sedimentet for å hindre eller begrense utlekking, resuspensjon og oppvirvling, og/eller redusere biotilgjengelighet av miljøgifter. Alle tiltaksløsninger forutsetter at det ikke er aktive tilførsler av betydning. Følgende tiltaksmetoder vurderes i denne tiltaksvurderingen:

Tiltaksmetode	Virkemåte
Mudring og deponering	Mudring av forurenset sediment ned til ren sjøbunn og deponering av de mudrede massene i egnet deponi. Forutsetter påfølgende isolasjonstildekking for å hindre utlekking og spredning fra restforurensning.
Isolasjonstildekking	Isolerende tildekking av de forurensede sedimentene med rene masser, med eller uten stabiliserende tiltak for vannholdige sedimenter.
Behandling med aktive materialer	Tilsetning av aktivt kull (AC) eller andre aktive materialer til overflatesedimentet for slik at biotilgjengeligheten av miljøgifter reduseres.
Overvåket naturlig restitusjon	0-alternativet. Naturlig forbedring skjer som følge av naturlig tildekking av forurenset sediment med renere masser. Utviklingen overvåkes.

Det er gjort en vurdering av de forskjellige metodenes egnethet. Vurderingen er basert på kriteriene *Effekt* (primær effekt), *Konsekvens* (sekundær effekt), *Kostnad* og *Nytte* (måloppnåelse). I det følgende gis det en beskrivelse av kriteriene på et generelt grunnlag.

### Effekt

Primære effekter beskriver forventet tiltakseffekt ved bruk av tiltaksmetoden. Effekter kan være i form av lavere konsentrasjon i sedimentet, redusert utlekking og/eller redusert biotilgjengelighet av miljøgifter. Primære effekter på biota vil være reduserte konsentrasjoner i organismen.

### Konsekvens

Konsekvens eller sekundære effekter omfatter utilsiktede eller uønskede konsekvenser av tiltaksgjennomføring, slik som risiko for mennesker knyttet til gjennomføring av tiltak, utilsiktet spredning av miljøgifter i forbindelse med tiltak, negative effekter på planter og dyr, på biologisk mangfold, på habitat eller på økosystem.

### Kostnad

Kostnader er basert på omtrentlige enhetspriser fra lignende tiltak og gir et foreløpig grovt estimat for kostnader egnet kun for sammenligning mellom ulike tiltaksløsninger og ikke for prosjektering.

**Nytte**

Nytte er definert som bidrag til oppfyllelse av overordnede miljømål og baseres på forventede primære og sekundære effekter ved anvendelse av metoden, innenfor hvilket tidsperspektiv effekten kan forventes samt varighet.

Miljømål må fastsettes spesifikt for tiltaksområdet og for tiltaket. I pålegget henvises det til vannforskriften som setter generelt krav om god økologisk og kjemisk tilstand, definert ved konkrete kvalitetselementer og grenseverdier. Tilstanden skal ikke forverres over tid. Fastsatte grenseverdier etter vannforskriften, såkalte Environmental Quality Standards (EQS) er sammenfallende med tilstandsklasse II (M-608) for EUs prioriterte stoffer. Miljødirektoratet har åpnet for et lavere ambisjonsnivå enn klasse II under gitte forutsetninger, slik som klasse III i områder der tilførsler fra landbaserte kilder ikke er stoppet, eventuelt der risikovurdering trinn 3 er gjennomført og risiko funnet akseptabel for sediment i klasse III, opptak av miljøgifter i organismer viser små effekter og områdets økologiske tilstand for øvrig er god. Anbefalte tilpassede miljømål for tiltaksområdet er presentert i kapittel 8.

## 7.1 Mudring og deponering

Hensikten med mudring vil være å fjerne forurensningen som er lagret i sedimentet. Mudring vil kunne gi en ren sjøbunn forutsatt at det kan mudres ned til ren sjøbunn, men innebærer store utfordringer knyttet til teknisk utførelse, spredning under tiltaket, restforurensning og håndtering av mudrede masser, inkludert avvanning og deponering disse. Mudring benyttes derfor fortrinnsvis som tiltak der det er vesentlig å opprettholde eller øke seilingsdyp. Som miljøtiltak forutsetter vellykket mudring at all forurensning fjernes, men i praksis har dette vist seg å være vanskelig. Undersøkelser i etterkant av en rekke mudringstiltak har vist at restforurensningen var 5 – 9 % av den totale mengden sedimenter fjernet (Patmont et al., 2014). Gjentatte mudringer og/eller tildekking er ofte nødvendig for å oppnå ønsket effekt av tiltaket. Etter mudring må massene avvannes og deponeres i et godkjent deponi. Ved sugemudring vil det vanligvis være nødvendig å blande inn en betydelig mengde ekstra vann for å gjøre muddermassene mulige å pumpe.

**Effekt og Konsekvens**

Det forventes en betydelig eksponering og spredning under gjennomføringen. Dette skyldes i hovedsak oppvirvling og søl under mudring, eksponering av dypereliggende sedimentlag med eventuelt høye konsentrasjoner og utslipp av forurenset vann fra avvanningsprosessen. Både spredningsrisiko og økotoksikologisk risiko vil øke som følge av mudring og avvanning. Det vil være nødvendig med avbøtende tiltak for å hindre spredning til utenforliggende områder, noe som kan være praktisk vanskelig å gjennomføre i Elkembukta i forhold til skipsanløp.

Det må etableres et eget avvanningsområde for mudrede masser, noe som vanligvis krever et betydelig areal. For å redusere transportbehovet er det ønskelig at avvanningsområdet etableres i umiddelbar nærhet til det området som skal mudres. Det er ingen åpenbart egnede avvanningsområder i nærheten av Elkembukta. Deponi for farlig avfall på Langøya (NOAH) går mot avslutning og mulighet for mottak av avvannede masser fra Elkembukta der ansees som lite sannsynlig. Alternative deponeringsmuligheter kan knyttes til eventuelle forbedringstiltak av kaifront eller landvinning (strandkantdeponi).

Mudring er akutt destruktivt for eksisterende bunnfauna. Dette ansees imidlertid ikke som en vesentlig fare i Elkembukta som er av begrenset areal, men vil være svært uheldig i Fiskåbukta.

Anleggsaktiviteten og selve mudringen vil innebære betydelig aktivitet med anleggsutstyr på vannet. Dette kan gi begrensninger for skipsanløp i Elkembukta mens mudringen pågår.

### Nytte (bidrag til måloppnåelse)

Mudring kan isolert sett bidra til oppnåelse av god kjemisk tilstand i sedimentet forutsatt at oppvirvling og restforurensning er håndtert, og at det ikke tilføres nytt forurenset materiale som gir rekontaminering. Dette er ikke situasjonen i Elkembukta, der det er påvist aktive tilførsler.

Betydningen av utslipp for varighet av tiltak er omtalt i kapittel 8.6.

Det forventes store utfordringer med økt spredning av forurensning under gjennomføringen av tiltaket og usikkerheter knyttet til håndteringen av restforurensning. Erfaringsmessig har det vist seg vanskelig å oppnå god miljøtilstand med mudring alene, selv ved gjentatte mudringer, og mudring må som regel kombineres med tildekking i etterkant for at miljømål om god kjemisk tilstand skal oppnås. Det er derfor lite trolig at mudring alene vil bidra til oppnåelse av god kjemisk tilstand.

Økologisk tilstand vil være avhengig av rekolonisering på den nye sjøbunnen, styrt av avstand til emigrasjonsområder for de koloniserende artene.

### Kostnadsestimat

Kostnad forbundet med mudring og dumping kan knyttes til flere arbeidsoperasjoner:

- Mudringen
- Pumping eller annen transport av masser
- Konstruksjon av vanningsanlegg
- Etablering av renseanlegg for vann og gjennomføring av vannrensing
- Transport av avvannede masser til deponi
- Deponeringskostnader
- Tildekking etter mudring

Her er det benyttet grove kostnadsestimat for de tre hovedoperasjonene; mudring, deponering og tildekking i etterkant.

**Tabell 32.** Kostnadsestimater for mudring og deponering i Elkembukta og i Fiskåbukta.

Beskrivelse	Enhet	Enhetspris	Totalt Elkembukta (mill NOK)	Totalt Fiskåbukta (mill NOK)
Mudring	NOK/m <sup>3</sup>	250-650	12 - 30	300 - 780
Deponering	NOK/m <sup>3</sup>	250-1000	12 - 47	300 - 1 200
Tildekking	NOK/m <sup>2</sup>	100-250	5 - 12	120 - 300

## 7.2 Isolerende tildekking

Isolasjonstildekking har som formål å isolere underliggende forurenset sediment for å hindre utlekking, resuspensjon og opptak i organismer. Isolasjonstildekking må designes for å hindre utlekking av miljøgifter fra underliggende forurensete sedimenter og for å bidra til oppfyllelse av fastsatte miljømål. Isolasjonstildekking kan bygges opp av kun passive materialer (grus og sandige materialer) eller det kan inkluderes lag med spesifikke funksjoner for å sikre mot erosjon, øke stabilitet, lav permeabilitet eller høy sorpsjonskapasitet (aktive lag). Aktive masser kan for eksempel

være aktivt kull. Et konservativt design (typisk > 70 cm) har til formål å gi tilstrekkelig kjemisk isolasjon av de forurenkede sedimentene og å håndtere usikkerhet knyttet til utlegging og innblanding i det forurenkede sedimentet. Med bruk av aktive masser kan tildekkingslagets tykkelse reduseres (anslagsvis tykkelse < 30 cm).

### Effekt og konsekvens

Bæreevne i sedimentene i Elkembukta er ikke undersøkt, men substratets hardhet gir en viss forståelse for dette. Det kan være noe usikkerhet knyttet til effektene av eventuelle utglidninger i det grunneste området av Elkembukta med løse sediment, med påfølgende oppvirvling og spredning av underliggende forurenkede sediment. Dette kan medføre at tiltaket må gjennomføres ved utlegging av flere tynne lag. Fare for utglidning vil trolig være liten ved stabilisering med grov stein. Bunnforholdene i Fiskåbukta er ikke kartlagt. Det antas at tildekking vil gi forbedring i både Elkembukta og Fiskåbukta, men varighet av tiltaket er usikkert gitt at det er påvist aktive tilførsler. De økologiske konsekvensene for Elkembukta vurderes som små, men for Fiskåbukta vil tildekking av vesentlig negative konsekvenser for bunndyrsamfunnet.

### Nytte (Bidrag til måloppnåelse)

Isolasjonstildekking forventes å være svært effektivt med tanke på å oppnå god kjemisk tilstand i sedimentet og redusere utlekking, resuspensjon, spredning og biotilgjengelighet av miljøgifter så snart tiltaket er gjennomført. Det forutsettes imidlertid at aktive kilder reduseres. Betydningen av utslipp for tiltakets varighet er omtalt i kapittel 7.6. Forutsatt at tiltaket gjennomføres over et stort areal er det forventet at det vil gi nedgang i konsentrasjoner i bunnlevende organismer og i næringskjeden over tid, og at det med det gir redusert risiko for human helse.

Økologisk tilstand vil være avhengig av rekolonisering på den nye sjøbunnen, som igjen avhenger av strategiens egenskaper i tildekkingsmaterialet og avstand til emigrasjonsområder for de koloniserende artene. Naturlig sedimentasjon over tildekkingsmaterialet vil bidra til dannelesen av en naturlig sjøbunn over tid, noe som styrker forutsetningene for forbedring av økologisk tilstand, forutsatt at nytt sedimenterende materiale ikke bidrar til rekontaminering.

### Kostnadsestimat

Det er gitt kostnadsestimat for isolasjonstildekkingen (**Tabell 33**). Kostnadsestimatet dekker et spenn fra laveste kostnad der tynnsjikttildekking med passive masser benyttes i kombinasjon med aktivt kull, til en full isolasjonstildekking med stabilisering med grov stein (~70 cm).

**Tabell 33.** Kostnadsestimat for isolasjonstildekking. Kostnadene vil avhenge av tildekkingslagets tykkelse og om det skal benyttes kun passive materialer (sand og grus) eller en kombinasjon med aktive materialer.

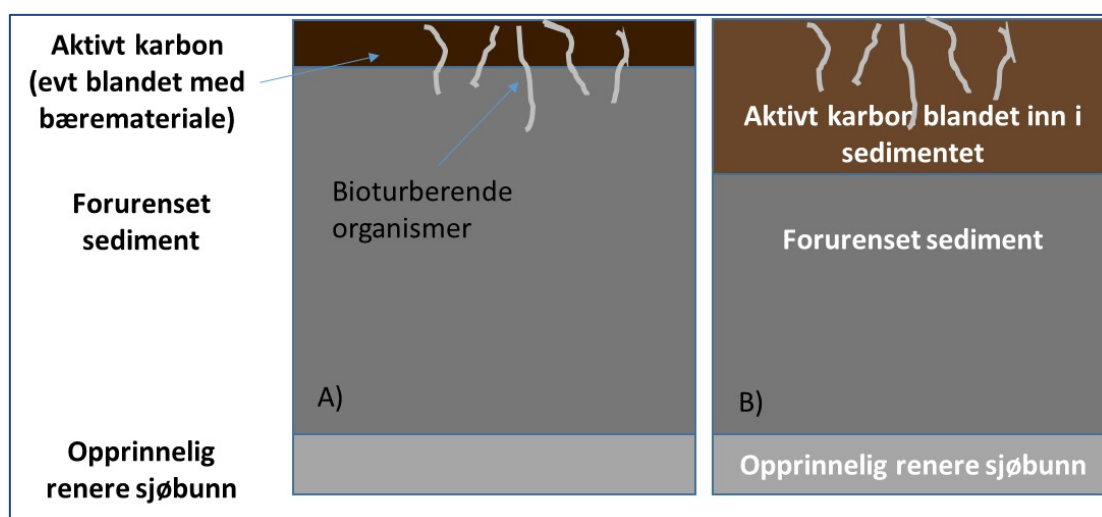
Beskrivelse	Enhet	Enhetspris	Totalt Elkembukta (NOK)	Totalt Fiskåbukta (NOK)
Tildekking	NOK/m <sup>2</sup>	100-250	5 – 12	120 - 300

## 7.3 Behandling med aktive materialer

Behandling med aktive materialer alene, slik som aktivt kull, er en tiltaksmetode som ikke har vært gjennomført i fullskala i Norge, men som har vært testet ut i flere prosjekter med forurenkede

sedimenter i USA, Nederland og Norge (Patmont et al., 2014, Cornelissen et al., 2012, Cornelissen et al., 2015). Metoden går ut på å tilsette aktivt kull til overflatesedimentet slik at kullet binder forurensningen og reduserer den fritt løste konsentrasjonen i porevannet og dermed reduserer både biotilgjengelighet og utlekking fra sedimentet til vannet over. Behandlingen gjøres vanligvis ved å tilføre 2 – 5 kg aktivt kull m<sup>-2</sup> til sedimentoverflaten, og enten aktivt blande dette inn i det biologisk aktive overflatelaget eller la bunndyrenes bioturbasjon sørge for innblanding (Figur 22).

Behandling med aktivt kull har tidligere blitt gjort ved å pumpe leire med aktivt kull fra lekter (Trondheim havn) eller mudringsfartøy (Opticap), eller kullet er spredd som oppløselige pellets (Sedimite®, AquaGate™ eller Bioblok (lisensiert av Aquablok®)). Tidligere undersøkelser har vist god effektivitet på redusert biotilgjengelighet av organiske miljøgifter, også over tid (Cornelissen et al., 2015, Josefsson et al., 2012, Schaanning et al., 2011, Olsen, M. et al. 2015). De fleste studier viser at man oppnår størst reduksjon i biotilgjengelighet ved å bruke finkornig aktivt kull (Zimmermann et al., 2005). Det kan være nødvendig å beskytte kullet mot erosjon under og etter utlegging, ved enten å tilføre bæremateriale, f.eks sand eller leire i typisk 5 cm tykkelse, eller ved å aktivt blande kullet inn i sedimentet. Aktivt kull kan også legges ut i kombinasjon med isolasjonstildekking, som vil gi ytterligere beskyttelse mot oppvirvling og resuspensjon.



**Figur 22.** Prinsippkisse for behandling med aktivt kull. A) Tynn tildekking av sjøbunns-overflaten. B) Innblanding av aktivt kull i de øverste sedimentene for å kjemisk stabilisere miljøgifter i disse. Fra (Olsen, et al. 2015).

### Effekt og konsekvens

Behandling med aktivt kull forventes på generelt grunnlag å gi betydelig reduksjon i porevannskonsentrasjon og dermed redusert utlekking og biotilgjengelighet av organiske miljøgifter i løpet av kort tid etter tiltaket er gjennomført. Det forventes også at denne effektiviteten vil bedres med tiden. Det må imidlertid utredes spesifikt hvor stor effekt som kan forventes gitt den stedsspesifikke foredlingskoeffisienten i Elkembukta og Fiskåbukta. Aktivt kull vil kunne virke også på nytt sedimentende materiale som bringes i kontakt med kullet gjennom bioturbasjon. Utleggingen gir liten risiko for eksponering av forurenset sediment eller oppvirvling og spredning under gjennomføring.

Det er forventet at konsentrasjonene i bunndyr og fisk vil gå ned som følge av redusert biotilgjengelighet, og dermed reduseres på sikt risiko for human helse. Tiltaksløsningen bidrar lite til endring i pH eller andre strategenskaper og vil dermed ikke virke destruktivt på eksisterende bunnfauna. Det er imidlertid vist enkelte effekter av aktivt kull-behandling på enkelte bunnlevende organismer (Samuelsson et al. 2017).

Sterkt erosjonsutsatte områder kan være uegnet for behandling med aktivt kull alene, for eksempel som følge av propellaktivitet eller ankring som kan gi fysiske forstyrrelser av tiltaket og eksponere underliggende sediment med høye konsentrasjoner.

#### **Nytte (Bidrag til måloppnåelse)**

Metoden gir reduksjon i økologisk risiko og human risiko. Metoden gir liten reduksjon i sedimentkonsentrasjoner og uten tilsetning av bæremateriale vil den i liten grad hindre resuspensjon fra sedimentet. Miljøgiftene i resuspendert materiale vil imidlertid ikke være biotilgjengelige i den grad de er bundet til aktivt kull.

Behandling med aktivt kull alene vil ikke gi noen fysisk barriere mot de underliggende forurensede sedimentene eller beskyttelse mot grunnbrudd ved senere fysiske forstyrrelser. Det vil derfor ikke være mulig å oppnå fastsatte miljømål for konsentrasjon i sedimentet som en direkte følge av behandling med aktive masser.

#### **Kostnadsestimat**

Kostnadsestimatet er basert på utlegging av 2-4 kg aktivt kull per m<sup>2</sup> sammen med bæremateriale i 5 cm tykkelse. Utstyr for blanding av aktivt kull må sannsynligvis bygges opp på land eller lekter. Kostnadsestimatene er basert på innkjøpspriser fra leverandører av aktivt kull, erfaring fra utlegging av aktivt kull i prosjektet Opticap og kostnadsestimat av utlegging for vanlig tildekkingsmasse.

**Tabell 34.** Kostnadsestimat for behandling av forurensede sedimenter med aktivt kull (AC), blandet med 5 cm bæremateriale.

Beskrivelse	Enhet	Enhetspris	Totalt Elkembukta ( mill NOK)	Totalt Fiskåbukta (NOK)
Tildekking med aktivt kull og bæremateriale	NOK/m <sup>2</sup>	25-100	1 - 5	30 - 120

## **7.4 Overvåket naturlig restitusjon**

Overvåket naturlig restitusjon er 0-alternativet uten aktive tiltak, men med overvåkning av utviklingen. Suksessen til overvåket naturlig restitusjon avhenger av at de naturlige prosessene (fysiske, kjemiske eller biologiske) i tiltaksområdet evner å isolere forurenset sediment eller redusere biotilgjengeligheten eller toksisiteten til miljøgiftene (Fuchsman et al., 2014). I dette ligger en forutsetning om en naturlig restitusjon som ofte skyldes naturlig tildekking av rent sedimenterende materiale. I Miljødirektoratets håndteringsveileder M-350 er naturlig restitusjon nevnt som et mulig tiltak i områder der sedimentasjonsraten av rene sedimenter er tilstrekkelig høy til å sikre et renere miljø innen en akseptabel restitusjonstid. Andre tiltaksalternativer må dessuten være utelukket som følge av enten ingen forventet effekt, høye kostnader eller andre praktiske årsaker. Overvåket naturlig restitusjon må følges gjennom en grundig overvåkning som etter rimelig tid påviser en positiv utvikling i sediment og biota.



### **Effekt og konsekvens**

Forutsetningen for å vurdere naturlig restitusjon som en tiltaksløsning er at det foregår en naturlig sedimentasjon med rene materialer, og i dette ligger en forventning om forbedring av situasjonen. Under denne forutsetningen vil det kunne oppnås god kjemisk tilstand over tid. Tiltaksløsningen vil ikke uten videre bidra til noen endring i den økologiske tilstanden.

Elkembukta tilføres store mengder partikler men undersøkelser har vist at dette ikke er rene masser. I Fiskåbukta er det også påvist aktive tilførsler, og tilstanden i sedimentet har ikke endret seg over en lang tidsperiode. Grunnlaget for en overvåket naturlig restitusjon må vurderes i etterkant av utslippsreduksjoner, avklaring av alle aktive tilførsler og betydningen av disse.

### **Nytte (Bidrag til oppnåelse av miljømål)**

Forusatt at direkte utslipp og andre tilførsler avklares og reduseres kan naturlig restitusjon på sikt bidra til varig oppfyllelse av miljømål.

## 7.5 Oppsummering av tiltaksvurderingen

Vurderingen av alternative tiltak er oppsummert i **Tabell 35**.

**Tabell 35.** Sammenstilling av tiltaksvurderingen

	<b>Effekt</b>	<b>Konsekvens</b>	<b>Nytte</b> (oppnåelse av overordnede miljømål)	<b>Kostnad</b> (mill NOK)
<b>Mudring og deponering, med påfølgende tildekking</b>				
Elkembukta	KI II/KI III umiddelbart etter tiltak: Det vil ikke være mulig å opprettholde ren sjøbunn pga aktive tilførsler. Varighet av tiltaket avhenger av tilførslene	Vesentlig spredningsfare under tiltaket og som følge av avvanning og deponering  Ikke vesentlige økologiske konsekvenser	Varig god kjemisk tilstand kan ikke oppnås så lenge det er aktive tilførsler  Spredningsfare fra dypereliggende sediment kan reduseres	~ 100
Fiskåbukta	KI II/KI III umiddelbart etter tiltak: Det vil ikke være mulig å opprettholde ren sjøbunn pga aktive tilførsler. Varighet av tiltaket avhenger av tilførslene	Vesentlig spredningsfare under tiltaket og som følge av avvanning og deponering  Vesentlige økologiske konsekvenser	Varig god kjemisk tilstand kan ikke oppnås så lenge det er aktive tilførsler  Spredningsfare fra dypereliggende sediment kan reduseres	~ 1 000-2 000

Effekt	Konsekvens	Nytte (oppnåelse av overordnede miljømål)		Kostnad (mill NOK)
<b>Isolasjonstildekking</b>				
Elkembukta	KI II/KI III umiddelbart etter tiltak: Det vil ikke være mulig å opprettholde ren sjøbunn pga aktive tilførsler. Varighet av tiltaket avhenger av tilførslene	Liten spredningsfare under tiltaket  Ikke vesentlige økologiske konsekvenser	Varig god kjemisk tilstand kan ikke oppnås så lenge det er aktive tilførsler  Spredningsfare fra dypereliggende sediment kan reduseres	~10
Fiskåbukta	KI II/KI III umiddelbart etter tiltak: Det vil ikke være mulig å opprettholde ren sjøbunn pga aktive tilførsler. Varighet av tiltaket avhenger av tilførslene	Liten spredningsfare  Vesentlige økologiske konsekvenser	Varig god kjemisk tilstand kan ikke oppnås så lenge det er aktive tilførsler  Spredningsfare fra dypereliggende sediment kan reduseres	100-300
<b>Behandling med aktive masser</b>				
Elkembukta	Redusert porevannskonsentrasjon og dermed biotilgjengelighet og spredning som følge av utlekking	Ubetydelige økologiske konsekvenser	Redusert risiko for økologiske effekter Redusert risiko for human helse	1 - 5
Fiskåbukta	Redusert porevannskonsentrasjon og dermed biotilgjengelighet og spredning som følge av utlekking	Ubetydelige økologiske konsekvenser	Redusert risiko for økologiske effekter Redusert risiko for human helse	30 - 120
<b>Overvåket naturlig restitusjon</b>				
Elkembukta	Ren sjøbunn over tid forutsatt ingen nye tilførsler	Ingen økologiske konsekvenser	På sikt god økologisk og kjemisk tilstand	Overvåkningskostnader
Fiskåbukta	Ren sjøbunn over tid forutsatt ingen nye tilførsler	Ingen økologiske konsekvenser	På sikt god økologisk og kjemisk tilstand	Overvåkningskostnader

## 7.6 Betydningen av tilførsler for rekontaminering etter tiltak

I dette avsnittet vurderes risiko for rekontaminering etter tiltak, ved å beregne hvordan konsentrasjonen av PAH i de ti øverste cm av sedimentene vil øke som følge av at nytt materiale med antatt innhold av PAH sedimenterer på toppen av en sjøbunn tildekket med ren sand. Beregningene er gjort som enkle overslagsberegninger som forutsetter proporsjonalitet mellom utslippet av PAH16 innerst i Elkembukta og konsentrasjonen i materialet som sedimenterer over hele området (inkludert Fiskåbukta) og det er ikke tatt hensyn til stedegne partisjonskoeffisienter eller kompliserende prosesser som bioturbasjon og resuspensjon.

Det ble antatt at konsentrasjonene i de øvre 10 cm av sedimentene undersøkt i 2017 (**Tabell 36**) er resultat av en gjennomsnittlig årlig tilførsel av 50 kg PAH innerst i Elkembukta (kap. 4.4). Videre ble det antatt at dersom tilførselene reduseres vil konsentrasjonene i sedimentene reduseres tilsvarende, men dette vil ikke være manifestert fullt ut før det har sedimentert 10 cm friskt sediment på toppen av tildekkingslaget.

Sedimentfelledatene indikerer en sedimenttilvekst i størrelsesorden 10 mm år<sup>-1</sup> vått sediment innerst i Elkembukta. Dersom vi på grunnlag av felle- og blydatering antar at sediment-tilveksten avtar til 2-4 mm i ytre del av bukta og 1-2 mm i Fiskåbukta vil det ta henholdsvis 10, 25-50 og 50-100 år å bygge opp et 10 cm lag nytt sediment. I beregningene har vi benyttet hhv 10, 3 og 1 mm årlig sedimentasjon.

Bioturbasjon vil kunne forlenge perioden noe, avhengig av i hvilken grad tildekkings-materialet blander seg med det nysedimenterte materialet. Dette vil være svært avhengig av valget av masser. Normalt vil dette kunne dreie seg om den tiden det tar å sedimentere 2-3 cm materiale, dvs fra 2-3 år innerst i Elkembukta til 20-30 år i Fiskåbukta. Brukes grove erosjonshindrende materialer vil denne bioturbasjonen være ubetydelig. Modellberegningene nedenfor er sterkt forenklet og ikke justert for bioturbasjon. Modellberegningene er heller ikke justert for resuspensjon og transport av sedimentert materiale fra Elkembukta mot dypere liggende områder som ville kunne forlenge perioden før eventuell overskridelse av grensevedier inntreffer i områder med erosjonsbunn i Elkembukta og forkorte denne perioden i områder med akkumulasjonsbunn i Fiskåbukta. Omfordelingen av PAH fra grunne til dypere områder er imidlertid hensyntatt fordi vi bruker konsentrasjonen i sedimentene (ikke konsentrasjonen i sedimentfellene) som basis for tilførselsberegningene.

**Tabell 36.** Målte sedimentkonsentrasjoner og EQS-verdier (Veileder M-608) av utvalgte PAH forbindelser. Sedimentkonsentrasjonene er beregnet for de tre områdene basert på data i **Tabell 8**. (Enhet = µg kg<sup>-1</sup> TS).

	Indre Elkembukt	Ytre Elkembukt	Fiskåbukta	Kl. II	Kl. III
Naftalen	1 850	900	420	27	1 754
Antracen	4 900	3 300	1 107	4,6	30
Fluoranten	38 000	25 567	6 500	400	400
Benzo(b)fluoranten	8 500	15 433	4 167	140	140
Benzo(k)fluoranten	7 350	4 933	1 497	135	135
Benzo(a)pyren	14 550	10 467	3 233	183	230
Indeno(1,2,3-cd)pyren	7 200	4 600	1 967	63	63
Benzo(g,h,i)perylene	7 000	4 400	1 900	84	84

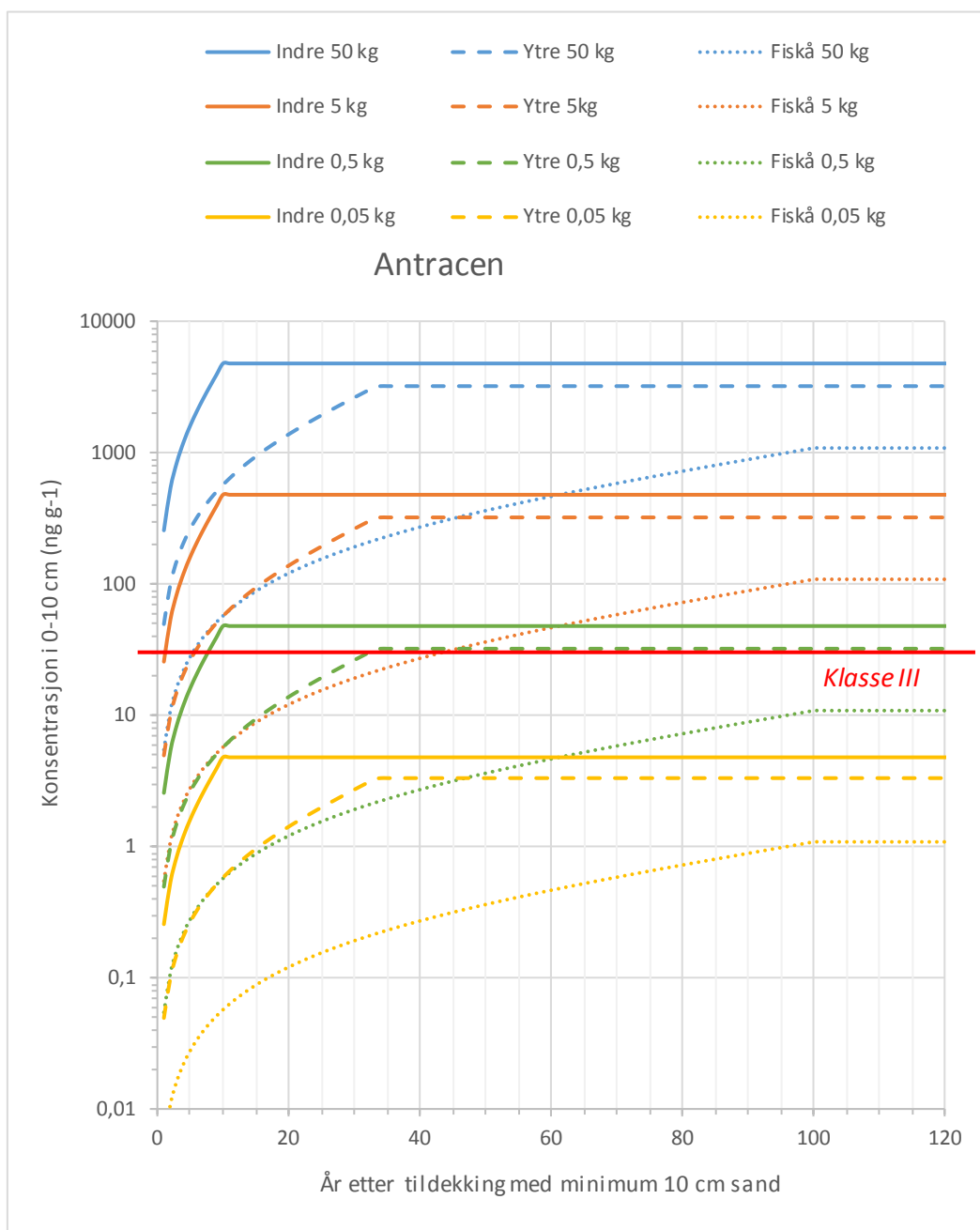
Eksempler på modellberegninger er vist i **Figur 23** og **Figur 24**. Beregningene for antracen (**Figur 23**) viser at konsentrasjonen de første årene etter tiltak vil være lav som følge av at det nysedimenterte materialet i en prøve tatt av de øverste 10 cm vil være fortynnet med ren sand fra tildekkingen. Etter henholdsvis 10, 35 og 100 år vil tildekkingslaget være overdekket med nye tilførsler og konsentrasjonene vil derfor flate ut. Figuren viser at kriteriet om varig konsentrasjon tilsvarende øvre grense for klasse III eller lavere bare kan opprettholdes dersom utslippene innerst i Elkembukta kommer ned under  $0,5 \text{ kg år}^{-1}$ . Ved utslipp  $0,5 \text{ kg år}^{-1}$  vil ytre Elkembukta balansere omtrent akkurat på kriteriekonsentrasjonen, mens indre del av bukta vil erfare en mindre overskridelse etter 7-8 år. Beregningen for benzo(a)pyren (**Figur 24**) viser at dersom kriteriet om klasse III eller bedre skal kunne opprettholdes i alle områder må utslippene reduseres til  $0,5 \text{ kg år}^{-1}$  eller mindre.

Beregningene er basert på at det legges ut en ren sjøbunn i alle områdene. Dersom det ikke gjøres andre tiltak enn å redusere utslippene vil utviklingen med samme forutsetninger for øvrig, bli et speilbilde av kurvene i **Figur 23** og **Figur 24**. Konsentrasjonene vil starte med dagens konsentrasjoner og avta med speilvendt forløp mot det konstante nivået til høyre i figurene. Imidlertid vil en eventuell justering for bioturbasjonen være av større betydning i den grad organismene vil søke, og i større grad være istand til, å utnytte næringen som finnes i dagens sedimenter. Etter en isolasjonstildekking vil de nyetablerte samfunnene ikke ha mulighet til å utnytte de næringsrike sedimentene under dekklaget. Det er derfor rimelig å anta bioturbasjonsblandingen mellom tildekkingsmaterialet og det nye sedimentet vil være mindre enn bioturbasjonsblandingen mellom utildekket sjøbunn og det nye sedimentet. Perioden før konsentrasjonene når ned på det konstante nivået vil derfor forlenges i forhold til det som er vist i figurene. Eksempelvis er det rapportert at vanlig forekommende «conveyor belt» bioturberende organismer (f.eks. *Heteromastus filiformis*) kan ernære seg på sedimenter helt ned til 15 cm dyp og legge dem igjen i en haug på sedimentoverflaten.

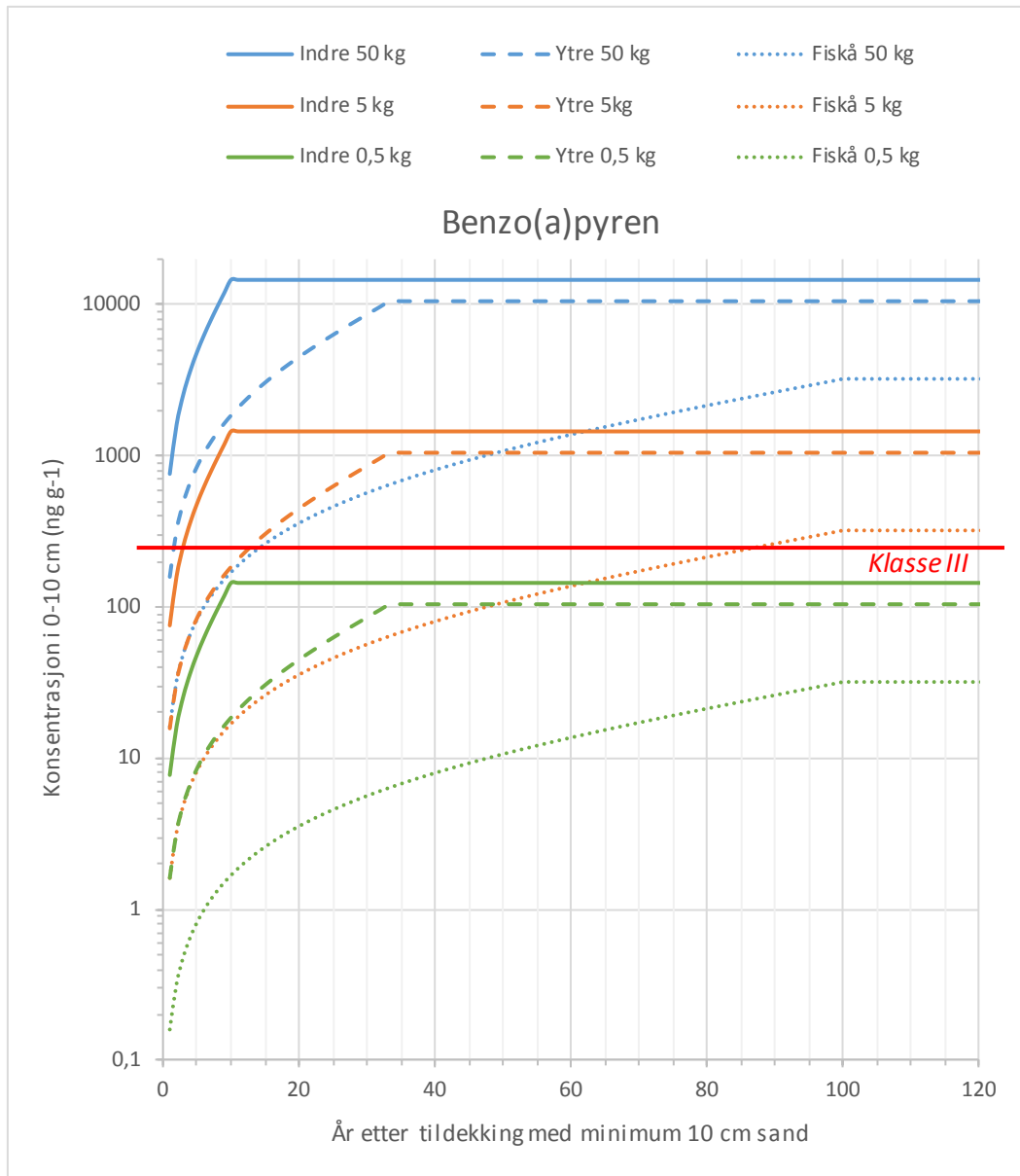
I **Figur 25** er den samme modellen benyttet til å beregne hvor store utslippene av PAH kan være for å oppnå varige stabile sedimentkonsentrasjoner tilsvarende grenseverdiene for tilstandsklasse III. Figuren viser at dersom utslippene reduseres til  $1,3 \text{ kg PAH16 år}^{-1}$ , vil en tilsynelatende unngå overskridelser for alle PAH-forbindelser i Fiskåbukta. Tilsvarende vil utslipp mindre eller lik  $0,45 \text{ kg PAH16 år}^{-1}$  hindre overskridelser i ytre Elkembukta og mindre eller lik  $0,3 \text{ kg PAH16 år}^{-1}$  vil hindre overskridelser i indre Elkembukta.

Dersom atmosfærisk nedfall direkte på sjøoverflaten eller indirekte via avrenning fra andre områder enn Fiskåbakkens nedbørfelt utgjør en vesentlig del av tilførslene til sedimentene vil utslippene innerst i Elkembukta måtte reduseres ytterligere. Dette er sannsynligvis ikke av vesentlig betydning for Elkembukta, der den vanntransporterte forurensingen er stor, men kan være viktig i Fiskåbukta, særlig i områdene rett øst for bedriftsområdet der støvinnholdet i lufta er betydelig høyere enn i øvrige deler av Kristiansandsfjorden (COWI rapport A074601, v1, 12.10.2016). Næs, 2006, har anslått at atmosfærisk nedfall av PAH16 i Fiskåbukta vil være i størrelsesorden  $1,4 \text{ mg m}^{-2} \text{ år}^{-1}$ . Fordelt på fluks av suspendert stoff på ca  $2 \text{ kg m}^{-2} \text{ år}^{-1}$  gir dette et bidrag fra atmosfærisk nedfall på  $0,7 \text{ mg PAH16 kg}^{-1} \text{ TS}$  i sedimentet. Antas videre at benzo(a)pyren utgjør 10% av PAH16 (**Figur 17**) blir bidraget fra atmosfærisk nedfall i størrelsesorden  $70 \text{ ng BaP g}^{-1} \text{ TS}$ . Dersom utslippene til vann innerst i Elkembukta reduseres f.eks. til  $5 \text{ kg år}^{-1}$  (90% reduksjon) og atmosfærisk tilførsel forblir på dagens nivå, viser **Figur 24** at bidraget fra atmosfærisk nedfall vil medføre at perioden før klasse III overskrides i Fiskåbukta reduseres fra 90 til 30 år. Ved eventuell 99% reduksjon av utslippene viser

figuren at sedimentene i Fiskåbukta så vidt oppnår vedvarende konsentrasjon av BaP innenfor klasse III-kriteriet.

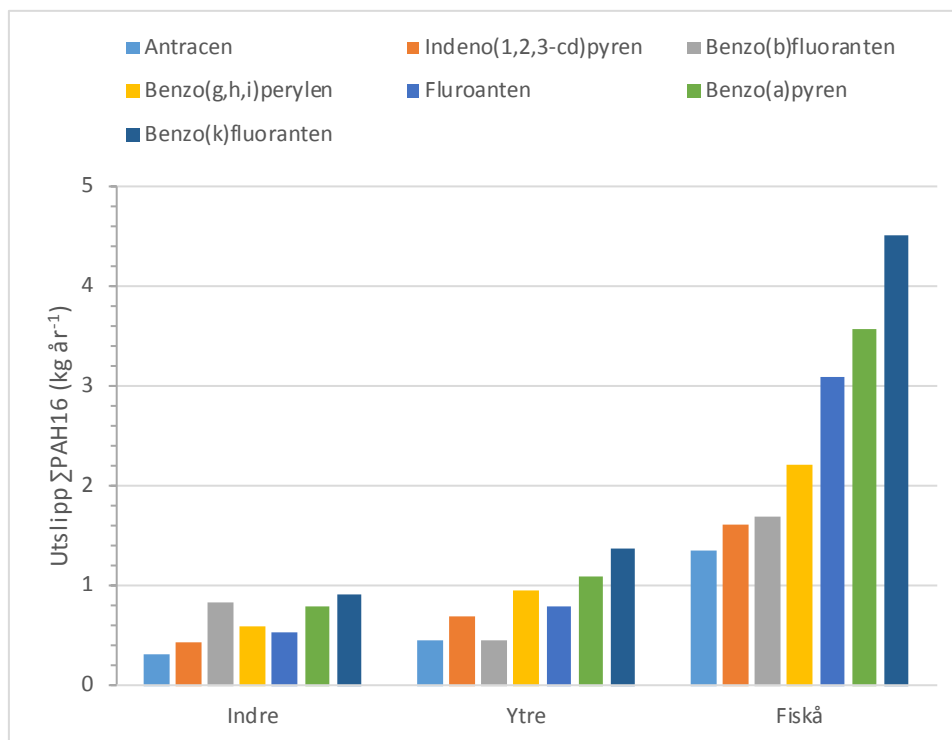


**Figur 23.** Beregnet konsentrasjon av antracén i de øverste 10 cm av sedimentene i Elkem- og Fiskåbukta etter eventuell tildekking av sedimentene med ren sand ved dagens utslipp på antatt 50 kg PAH16 år<sup>-1</sup> og utslippsreduksjoner til hhv 5, 0,5 og 0,05 kg PAH16 år<sup>-1</sup>.



**Figur 24.** Beregnet konsentrasjon av benzo(a)pyren i de øverste 10 cm av sedimentene i Elkem- og Fiskåbukta etter eventuell tildekking av sedimentene med ren sand ved dagens utslipp på antatt 50 kg PAH år<sup>-1</sup> og utslippsreduksjoner til hhv 5 og 0,5 kg PAH år<sup>-1</sup>.





**Figur 25.** Øvre grense for utslipp av PAH16 innerst i Elkembukta for å unngå overskridelser av tilstandsklasse III for sju PAH-forbindelser i sedimentene i henholdsvis Fiskåbukta og Indre og Ytre deler av Elkembukta (se tekst).

Beregningene vist i **Figur 25** indikerer et behov for utslippsreduksjon på minst 99,4 % dersom sedimentkonsentrasjonen skal holdes under klasse III for alle de sju PAH-forbindelsene i alle områdene. Sannsynligvis må utslippene ned til under 1,2 kg PAH16, dvs 98% reduksjon, for å oppnå klasse III eller bedre for alle PAH-komponentene i Fiskåbukta og under 3 kg (94% reduksjon) for å oppnå samme for de kvantitativt viktigste komponentene fluoranten og benzo(a)pyren.

Hvis det ikke gjøres tiltak i Fiskåbukta, er sedimentasjonshastigheten så lav at det vil ta anslagsvis 100 år før sedimentkonsentrasjonene i topplaget på 10 cm er nede på stabilt nivå tilsvarende konsentrasjonen i utslippet (**Figur 24**, speilvendt). Denne perioden vil forlenges ytterligere dersom bioturbasjonen inkluderes i regnestykket.

Beregningene er gjort i forhold til utslipp til vann innerst i Elkembukta. Dersom disse reduseres sterkt vil den relative betydningen av tilførselen via luft øke. Derfor er det ikke usannsynlig at tilførslene fra andre kilder enn Elkem og fra luftutslippet fra Elkem, vil være store nok til å hindre oppnåelse av målet om klasse III i sedimentene. Selv med eliminering av tilførslene til sedimentene i Fiskåbukta, vil dagens høye konsentrasjoner (ca 3000 µg BaP kg<sup>-1</sup>), sedimentasjonshastigheten på noen få mm år<sup>-1</sup> og bioturbasjonen gjøre at det vil ta meget lang tid før naturlig restitusjon vil kunne gi klasse III (230 µg BaP kg<sup>-1</sup>) i de øverste 10 cm av sedimentene i dette området.

### Reduksjon i økologisk risiko

Det kan altså synes vanskelig å redusere kildene til PAH-forurensingen i tiltaksområdet tilstrekkelig til å oppnå målet om varig tilstand klasse III eller bedre i sedimentene, uavhengig av tiltaksløsning. Ifølge risikoveilederen er imidlertid økologisk risiko knyttet til konsentrasjonene i porevannet (**Tabell**

9), og den såkalte Predicted No Effect Concentration (PNEC) er fastsatt for å beskytte økosystemet. Dersom det antas proporsjonalitet mellom utslippsmengder og konsentrasjonene i porevannet ( $C_{pw}$ ) kan det enkelt beregnes hvor mye de fremtidige utslippene ( $U$ ) må endres i forhold til dagens nivå ( $U_0$ ) for å oppnå konsentrasjoner i porevannet tilsvarende PNEC for vann ( $PNEC_w$ ), dvs EQS for kystvann (**Tabell 9**):

$$\text{Ligning 1: } U = U_0 * f$$

der utslippsreduksjonsfaktoren

$$\text{Ligning 2: } f = PNEC_w / C_{pw}$$

Hvis  $f > 1$ , er dagens utslipp innenfor akseptabelt nivå og representerer ingen økologisk risiko siden konsentrasjonene i porevann er lavere enn  $PNEC_w$ . Hvis  $f < 1$ , må utslippene reduseres for å oppnå en konsentrasjon i porevannet  $\leq PNEC_w$ . Resultatene for beregnet utslippsreduksjonsfaktorer er vist i **Tabell 37** og **Figur 26**.

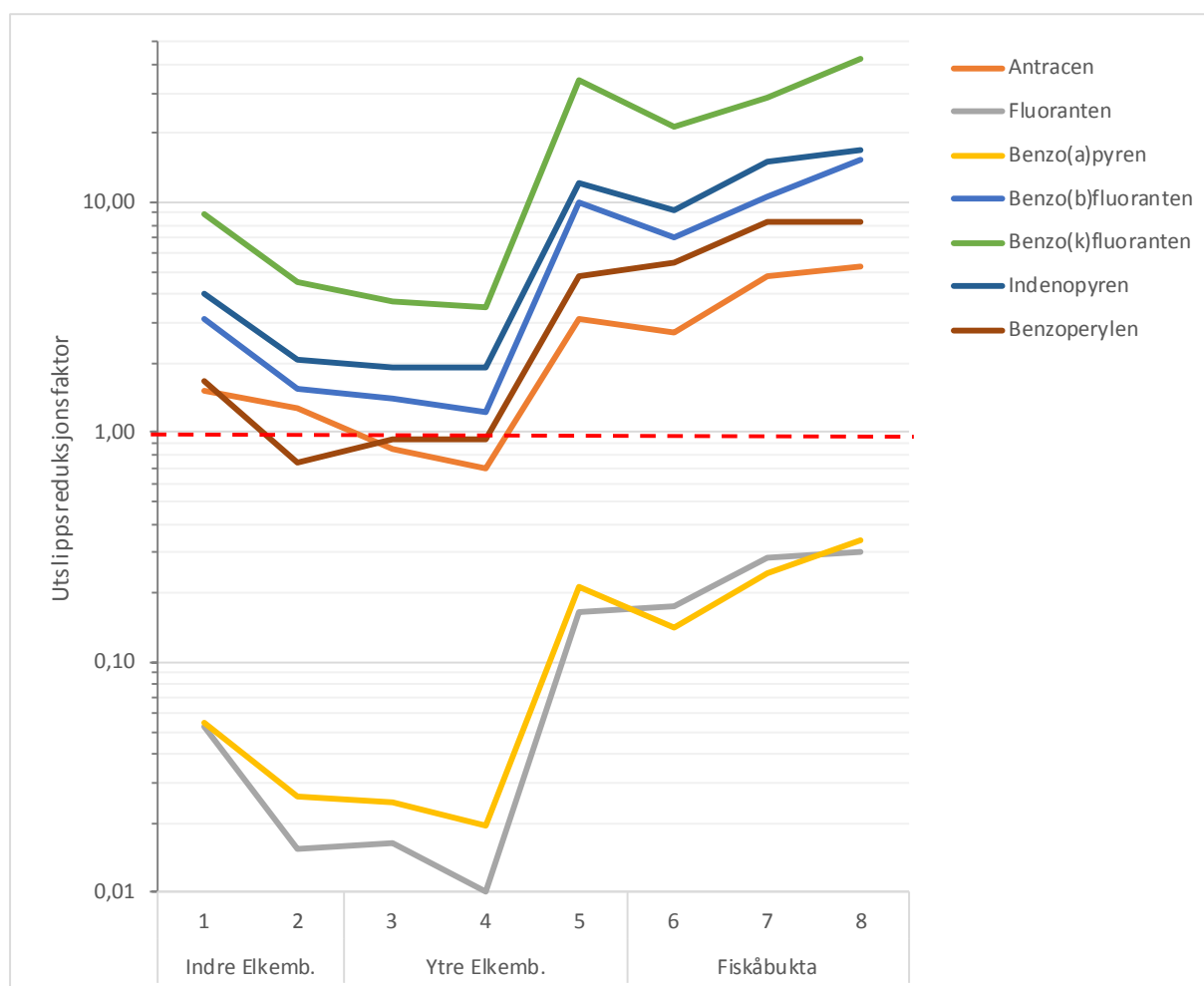
Figuren viser at fluoranten og benzo(a)pyren blir dimensjonerende forbindelser. Dette skyldes altså kombinasjonen av høye konsentrasjoner målt i porevannet og lave grenseverdier for økologisk risiko ( $PNEC_w$ ). Utslippene må reduseres til 1% av dagens nivå (99% reduksjon) dersom alle forbindelser skal oppnå tilfredstillende porevannskonsentrasjoner på alle stasjoner. I forhold til gjennomsnittlige verdier for de tre områdene er det tilstrekkelig med en reduksjon til 2% av dagens nivå (**Tabell**). Tabellen viser samtidig at en noe mer moderat reduksjon til 20% av dagens nivå vil kunne gi tilfredstillende økologisk risiko for alle PAH-forbindelser i Fiskåbukta.

Denne betraktningmåten er i tråd med risikoveilederens anbefalinger i Trinn 2C som også konkluderer med at det kun er benzo(a)pyren og fluoranten som overskrider grenseverdiene for økologisk risiko i Fiskåbukta (**Tabell 29**). Det kan i den forbindelse bemerkes at grenseverdiene for benzo(a)pyren og fluoranten i vann (relevant for porevann) er lave og gitt med bakgrunn i human helse (inntak av sjømat) og ikke skader på marine organismer (PAH-5-6-rings EQS dossier 2011; Fluoranthene EQS dossier 2011). Bakgrunnen for dette er at disse er prioriterte stoffer innenfor EU og at grenseverdiene gitt i direktiv 2013/39/EU er implementert i vannforskriften og dermed i veilederen for risikovurdering av forurenset sediment.

Erfaringsmessig kan behandling med aktivt kull (AC) redusere porevannskonsentrasjonen med 80-90%. Hvis vi antar 80% effektivitet blir utslippsreduksjonsfaktorene 5x større enn de som er vist i **Tabell**. Dette indikerer at vi med behandling av sedimentene i Fiskåbukta med aktivt kull vil kunne oppnå tilfredstillende porevannskonsentrasjoner for alle PAH-forbindelser, mens vi i Elkembukta vil kunne oppnå det samme kun kombinert med utslippsreduksjon på 90% eller mer. Det understrekes at effektiviteten av aktivt kull kan variere fra et sediment til et annet og det bør undersøkes eksperimentelt hvorvidt det er mulig å oppnå 80% reduksjon av porevannskonsentrasjonen ved bruk av aktivt kull på sedimenter fra dette området som i utgangspunktet ser ut til å ha en relativt sterk evne til å binde PAH.

**Tabell 37.** Utslippsreduksjonsfaktor (f) beregnet etter Ligning 2 med PNEC<sub>w</sub> gitt i kap. 5.4 og konsentrasjoner i porevann gitt i **Tabell 9**. Ved  $f > 1$  er dagens utslipp innenfor et akseptabelt nivå i forhold til økologisk risiko (PNEC<sub>w</sub>), basert på porevannskonsentrasjoner (C<sub>pw</sub>).

	Indre Elkembukta	Ytre Elkembukta	Fiskå-bukta
Antracen	1,4	1,6	4,2
Fluoranten	0,02	0,02	0,2
Benzo(a)pyren	0,04	0,09	0,2
Benzo(b)fluoranten	2,3	4,2	11
Benzo(k)fluoranten	6,7	14	31
Indenopyren	3,1	5,4	14
Benzoperylen	1,21	2,23	7,29



**Figur 26.** Utslippsreduksjonsfaktor (f) beregnet for målepunkter i Indre Elkembukta (stasjon 1, 2), Ytre Elkembukta (stasjon 3, 4, 5) og Fiskåbukta (stasjon 6, 7, 8). Gjennomsnittlige verdier for hvert

delområde er vist i tabellen over. Stiplet linje angir akseptabel økologisk risiko, gitt av forholdet mellom  $PNEC_w$  og konsentrasjon i porevann ( $C_{pw}$ )

## 7.7 Anbefalt tiltaksløsning

Diffuse tilførsler fra bedriften er påvist gjennom arbeidet med tiltaksplanen og det er behov for å avklare omfanget og identifisere tiltak for å redusere disse tilførslene. Dette er videre omtalt under kapittel 9 om Tiltaksrettede undersøkelser. Beregninger av tilførslenes betydning for varighet av eventuelle tiltak der formålet er å redusere sedimentkonsentrasjonen til klasse III, tydeliggjør viktigheten av utslippsreduksjoner. Beregningene demonstrerer at selv med omfattende reduksjon i tilførslene vil varighet av tiltakseffekt være begrenset så lenge effekten vurderes på bakgrunn av sedimentkonsentrasjoner. For å oppnå varig effekt av tiltak (klasse III i sedimentet) i både indre og ytre del av Elkembukta må tilførslene ned til under 0,3 kg PAH16 år<sup>-1</sup>. For varig effekt i ytre del av Elkembukta må tilførslene ned til 0,45 kg PAH16 år<sup>-1</sup>. I Fiskåbukta vil tilførsler under 1,3 kg PAH16 år<sup>-1</sup> trolig kunne gi konsentrasjoner under klasse III over tid. Sedimenttiltak kan derfor ikke sees uavhengig av utslippsreduksjoner.

Det er ikke avklart hvor store utslippsreduksjoner som kan oppnås, men det synes urealistisk å oppnå en varig oppfyllelse av kravet om øvre grense klasse III i sediment i Elkembukta, selv med omfattende utslippsreduksjoner. Det er også tvilsomt om det er en realistisk forventning for Fiskåbukta. Utslippsreduksjoner vil imidlertid påvirke porevannskonsentrasjonene i sedimentet, som er et direkte uttrykk for biotilgjengelig av PAH og økologisk risiko knyttet til forurensningen. Utslippsreduksjoner vil derfor gi et vesentlig bidrag til redusert økologisk risiko.

Utslippsreduksjonene må imidlertid fortsatt være store for å oppnå akseptabel økologisk risiko i Elkembukta (98-99%). Tiltak med aktivt kull vil imidlertid kunne bidra til økt binding av PAH-forbindelser, forutsatt at effekten av aktivt kull i sedimentet i Elkembukta er som forventet fra andre studier og forsøk (80% reduksjon i tilgjengelighet). Den stedsspesifikke effekten av aktivt kull må avklares gjennom tiltaksrettede undersøkelser.

Overskridelsen av økologisk risiko i Fiskåbukta er begrenset mhp PAH. Det har vært en vesentlig forbedring i tilstanden for blåskjell. PAH-innholdet i sedimentene i Fiskåbukta er imidlertid ikke vesentlig endret over de siste 25 årene. Dette skyldes trolig at en naturlig restitusjon motvirkes av aktive tilførsler. Vi antar at ca 10 % av disse er atmosfærisk nedfall. Beregningene har vist at 80 % reduksjon i PAH-tilførslene vil gi akseptabel økologisk risiko for alle PAH-forbindelsene i Fiskåbukta. Aktivt kull-behandling vil i teorien kunne gi reduksjon i den allerede lave økologiske risikoen knyttet til PAH, med mulighet for framskynding av naturlig forbedring. Et omfattende tiltak med aktivt kull i hele Fiskåbukta kan likevel ikke anbefales ut fra PAH-forurensningen alene, gitt at utslippsreduksjoner gir den forventede effekten. Ytterligere tiltaksbehov i Fiskåbukta bør eventuelt vurderes på grunnlag av andre forurensningskomponenter, inkludert de som ikke direkte kan knyttes til Elkem Carbon (TBT, dioksiner og HCB) og også ut fra at det undersøkelser har vist at tilstanden til bløtbunnsfaunaen er god. Nytte-verdien av behandling med aktivt kull på andre parametere må legges til grunn dersom et slikt omfattende tiltak skal iverksettes i Fiskåbukta.

### Anbefaling:

Tiltak rettet mot forurenset sjøbunn utenfor Elkem Carbon forutsetter kontroll på kilder og utslippsreduksjon er derfor det primære tiltaket for Elkem Carbon.

Det anbefales å gjøre tildekking i Elkembukta med sikte på å hindre erosjon og spredning av forurenset sediment ut av bukta. Det anbefales å gjøre tildekkingen i kombinasjon med aktivt kull-

behandling for å redusere porevannskonsentrasjonen av PAH i sedimentet og dermed redusere økologisk risiko.

I Fiskåbukta anbefales det overvåket naturlig restitusjon for å følge effekten av utslippsreduksjoner på sedimentkonsentrasjoner og økologisk risiko knyttet til PAH, spesielt de to komponentene fluoranten og benzo(a)pyren. Det vil være behov for å avklare andre tilførsler enn de som kan knyttes til Elkem Carbon.

## 8 Tilpassede miljømål og tiltaksmål

I følge Miljødirektorats fakta-ark for tiltaksplaner (M-325) skal alle tiltaksplaner omfatte miljømål og tiltaksmål som beskriver den miljø- og helsemessige tilstand som man ønsker å oppnå i området. Langsiktige nasjonale forvaltningsmål er gitt i Stortingsmeldingene nr.12 (2001-2002) og nr.14 (2006-2007) og i Miljødirektoratets Veileder for håndtering av forurenset sediment M-350.

Overordnede miljømål for Elkembukta og Fiskåbukta må baseres på føringer gitt gjennom nasjonale, regionale og lokale forvaltningsvedtak samt pålegg om tiltaksplan fra Miljødirektoratet, men tilpasses anbefalte tiltaksløsninger og hvilken effekt som kan forventes av de foreslåtte tiltakene.

Tiltaksmål må være kontrollerbare og knyttes direkte til forventet resultat av tiltaket og gjennomføringen.

Pålegget om utarbeidelse av tiltaksplan for Elkem Carbons påvirkningsområde oppgir som formål for tiltak at miljøtilstanden i de berørte vannforekomstene blir merkbart forbedret og ikke utgjør en risiko for helse og miljø, samt at de ikke er til hinder for at god kjemisk og økologisk tilstand i fjorden kan oppnås innen 2027. Utredningene i forbindelse med denne tiltaksplanen har vist at utslippsreduksjoner er avgjørende for utviklingen av forurensningssituasjonen i Elkembukta og Fiskåbukta. I kapittel 7.7 er det konkludert med at en varig oppfyllelse av kravet om øvre grense klasse III i sediment i Elkembukta kan synes urealistisk, selv med omfattende utslippsreduksjoner. Det er også tvilsomt om det er en realistisk forventning for Fiskåbukta. Utslippsreduksjoner vil imidlertid gi et vesentlig bidrag til redusert økologisk risiko. Gitt at det gjennomføres betydelige utslippsreduksjoner forventes det at de foreslåtte tiltakene i Elkembukta gir betydelig reduksjon i biotilgjengelighet av miljøgifter og redusert økologisk risiko. De tilpassede miljømålene for Elkembukta og Fiskåbukta er derfor spesifikt knyttet til reduksjon av økologisk risiko. Utviklingen i miljøtilstanden i Fiskåbukta er ikke alene avhengig av utslippsreduksjoner fra Elkem Carbon, men økologisk risiko forbundet med PAH-forurensning forventes redusert som følge av naturlig restitusjon når tilførslene reduseres.

### **Tilpassede overordnede miljømål for Elkembukta:**

- Redusert risiko for spredning av forurensete sedimenter fra Elkembukta til Fiskåbukta
- Redusert økologisk risiko i Elkembukta i form av varig reduksjon i porevannskonsentrasjoner i Elkembukta tilsvarende PNEC for kystvann for komponentene i PAH16 som følge av utslippsreduksjoner og tildekking i kombinasjon med behandling med aktivt kull.

### **Operative tiltaksmål for Elkembukta:**

- Tildekkingstykkelse i henhold til prosjektering av tildekkingslaget
- Reduksjon i sedimentkonsentrasjoner av PAH16 i Elkembukta i overflatesedimentet (0-10 cm) umiddelbart etter tildekking tilsvarende klasse III for sedimenter

- Reduksjon i porevannskonsentrasjoner av PAH16 i Elkembukta i overflatesedimentet (0-10 cm) umiddelbart etter tildekking tilsvarende PNEC for kystvann

**Overordnede miljømål for Fiskåbukta:**

- Redusert økologisk risiko relatert til PAH i Fiskåbukta over tid som følge av utslippsreduksjoner til nivåer under PNEC for PAH16 i kystvann

## 9 Behov for videre undersøkelser og avklaringer

### 9.1 Tiltaksrettede undersøkelser

Arbeidet med problemstillingene rundt de forurensede sedimentene i Elkembukta viser klart at tiltak med hensikt å redusere aktive tilførsler må gjennomføres før sedimenttiltak kan iverksettes. Undersøkelsene har sannsynliggjort at Elkembukta tilføres betydelige mengder forurensede partikler, både kontinuerlig og særlig ved episodiske hendelser. Det viktig at tiltak for å redusere tilførslene bygger på tilstrekkelig informasjon. Identifisering og kvantifisering av tilførsler fra prosess- og overvann samt luftnedfall, og sedimentasjon av forurensning i Elkembukta har vært kartlagt under tiltaksarbeidet. Bedriften har foreløpig identifisert følgende mulige bidrag og kilder til utslipp til resipienten:

- Utslipp fra prosessvannet
- Utslipp via overflateavrenning og kaiområder
- Utslipp til luft
- Mulig avrenning fra grunnen
- Utslipp via Fiskåbekken

Det er satt ned et prosjekt der målet er å komme opp med mulige tiltak som kan redusere PAH-utslippet til vann. Blant annet jobbes det med å kartlegge mer nøyaktig bidraget av PAH til vann gjennom overflatevannet og for å kunne sette inn riktige tiltak for å redusere utslippene. Dette er også i tråd med krav i utslippstillatelsen.

Når utslippsbegrensende tiltak er gjennomført, må disse verifiseres gjennom nye målinger.

Elkem Carbon jobber også med substitusjon og utfasing av bruk av bindemidler som inneholder PAH. Dette omfatter både forskningsaktiviter, testing i pilotskala og full skala i fabrikk. Planer for videre arbeid omfatter prosjektering og bygging av bindemiddeltanker og tilhørende utstyr for alternative PAH-frie bindemidler.

Elkem Carbon har på eget initiativ økt frekvensen på blåskjelovervåkingen i resipienten fra Miljødirektoratets pålegg om en gang hvert annet år til to ganger per år. Dette bør opprettholdes.

Tilførsler fra forurenset grunn kan representere en kilde til forurensningen. Dette utredes nå etter pålegg fra Miljødirektoratet. Det skal utarbeides en tilstandsrapport for industriområder, i første omgang i henhold til trinn 1-4 i Miljødirektoratets veileder M-630/2016.

Etter at utslippsreducerende tiltak er gjennomført og verifisert, må eventuelle tiltak mot de forurensede sedimentene i Elkembukta designes i henhold til oppvirvlingsproblematikk og eventuelle geotekniske utfordringer.

Hvis en tildekking i Elkembukta gjennomføres hvor aktivt kull inngår, må effekten av kullet på porevannskonsentrasjonene verifiseres for de stedsspesifikke sedimentene.

## 9.2 Andre forhold som kan påvirke risiko for gjennomføring

- Kildekontroll er avgjørende for å kunne gjennomføre vellykkede sedimenttiltak, og beregninger har vist at tilførsler må reduseres vesentlig for at tiltak i Elkembukta skal oppnå en varighet av betydning. Aktive kilder vil kunne redusere effekten av tiltak og føre til rekontaminering av tiltaksområdet, og må derfor stoppes eller reduseres til et nivå som ikke gir uakseptabel miljørisiko.
- Tilgang på egnede tildekkingsmasser kan påvirke framdriften i tiltaksgjennomføringen.
- Framtidige aktiviteter i tiltaksområdet, slik som mudring for økt seilingsdyp og utbedring av kaifront kan påvirke resultatene av tiltak. Dersom slike aktiviteter gjennomføres i etterkant av sedimenttiltak vil det medføre risiko for rekontaminering. Utfylling ved Lumber.

# 10 Plan for informasjon og medvirkning

Plan for informasjon og medvirkning vil i hovedsak forholde seg til lovpålagt involvering og medvirkning, siden konfliktpotensialet forbundet med tiltaket er vurderes som lavt. Tiltak i sjø (mudring og dumping) er regulert av forurensningsforskriften § 22 Mudring og dumping i sjø og vassdrag, og krever tillatelse fra Fylkesmannen. I forbindelse med søknadsprosessen må forholdet til annet lovverk avklares og flere myndigheter vil være høringsinstans. I tillegg er det relevant å involvere naboer og andre med brukerinteresser i området. Følgende interessenter er identifisert for tiltaket:

**Tabell 38.** Interessenter identifisert i forbindelse med tiltaksgjennomføring i Elkembukta

Grunneiere for Lumber (Lumber AS):	Sven Eidjord og Skeie Eiendom
Parter etter Plan- og bygningsloven:	Beboere i nærområdet, eventuelt representert ved Vågsbygd Vel og Fiskåtangen Velforening
Myndighet etter Plan- og bygningsloven:	Kristiansand kommune
Myndighet etter Kulturminneloven:	Agder fylkeskommune og Norges Maritime Museum
Delegert forurensningsmyndighet:	Fylkesmannen i Agder
Myndigheten etter havne og farvannsloven:	Kristiansand havn og Kystverket
Fiskeriinteresser:	Fiskeridirektoratet region Sør
Andre interessenter:	Naturvernforbundet (lokallag og fylkeslag), Vågsbygd Vel og Fiskåtangen Velforening, Fedrelandsvennen (lokalavis)



## 11 Kontroll og overvåkning

Gjennomføring av tildekking kan ha uønsket påvirkning på biota og kan medføre spredning av forurensede masser og/eller tildekkingsmasser til omkringliggende områder, om enn i mindre grad enn ved mudring. Overvåkning av spredning må gjennomføres under tiltaksgjennomføringen, og avbøtende tiltak må vurderes. Det kan være aktuelt med siltgardin i utløpet av Elkembukta for å begrense spredning av tildekkingsmaterialet eller oppvirvlet sediment, men det er usikkert om dette er gjennomførbart av hensyn til skipsanløp. Det bør gjøres kontinuerlig overvåkning av turbiditet i vannmassene utenfor tiltaksområdet. Eksempel på krav i forbindelse med tiltaksovervåkning kan være at turbiditet ikke skal overskride 10 NTU, eller at konsentrasjon av utvalgte miljøgifter ikke skal overstige 5 x konsentrasjoner på en upåvirket referansestasjon. Det er vesentlig at referansestasjonen representerer en realistisk bakgrunnsituasjon for turbiditet.

I etterkant av tiltaket må tildekkingstykkelsen kontrolleres, og dette kan gjøres ved målepunkter, sedimentprofil-fotografering (SPI) og/eller sedimentkjerneprøver.

Etter tildekking er det relevant å overvåke konsentrasjon i sediment og porevann, og utlekking fra sedimentet. På lengre sikt er det relevant å undersøke konsentrasjoner i bunndyr og fisk.

## 12 Budsjett for tiltaket

### 12.1 Kostnadsestimat

Kostnader forbundet med tiltaksrettede undersøkelser og tiltaksgjennomføring er presentert i Tabell 40. Kostnadsestimatene er foreløpige og til dels mangelfulle, og er basert på estimerte enhetskostnader for tiltak. Tiltaket må detaljprosjekteres før et endelig budsjett kan utvikles. Kostnader forbundet med flere av de forberedende aktivitetene må avklares på et senere tidspunkt. Kostnader forbundet med utslippsbegrensende tiltak vil potensielt være betydelige.

**Tabell 39.** Foreløpig kostnadsestimat for forbedring av forurensingssituasjonen i Elkembukta og Fiskåbukta.

<b>Aktivitet</b>	<b>Kostnadsestimat (mill NOK)</b>
<u>Tiltaksrettede undersøkelser:</u>	
• Geotekniske vurderinger i Elkembukta	<0,5
• Effekten av aktivt kull	<0,5
• Kvantifisering av diffuse kilder:	
○ Pålagt leveranse til Miljødirektoratet: tilstandsrapport	<0,5
○ Prosjektering og bygging av prosessutstyr for PAH-frie bindemidler	må avklares
<u>Utslippsbegrensende tiltak:</u>	
• Prosjektering og iverksettelse av tiltak	må avklares
<u>Tildeckingstiltak i Elkembukta:</u>	
• Prosjektering av tildeckingstiltak i Elkembukta	1-2
• Tildecking i Elkembukta, inkl overvåkning	12-15
• Sluttkontroll tildeckingstiltak i Elkembukta	1-2
<u>Overvåket naturlig restitusjon i Fiskåbukta:</u>	
• Utvikling av overvåkningsprogram	<0,5
• Overvåkning av sediment og porevann i Fiskåbukta*	1

\*Gjentatt overvåkning iht overvåkningsprogram

## 12.2 Finansieringsløsning og kostnadsfordeling

Elkembukta er primærresipient for Elkem Carbon og bedriften må påregne finansering av tiltak i dette området.

Fiskåbukta er ikke definert som primært tiltaksområde for Elkem Carbon, basert på miljørisikovurderingen som tydeliggjør at TBT er dimensjonerende for risiko i området utenfor Elkembukta. Kildene til TBT er mange og ansvarsforholdet for denne og annen forurensning i Fiskåbukta er ikke avklart. Undersøkelsene som er gjort i forbindelse med denne tiltaksplanen er ikke fullstendige som grunnlag for å sammenstille risiko forbundet med bidrag fra alle potensielle kilder/påvirkninger til området.

## 13 Framdriftsplan

Gjennomføring av sedimenttiltak forutsetter at aktive kilder er under kontroll. Det er derfor slått fast at utslippsreduksjoner er det primære tiltaket for Elkem Carbon. Kartlegging av aktive tilførsler med påfølgende utslippsbegrensende tiltak må gjennomføres før sedimenttiltak kan iverksettes. Det er derfor identifisert tiltaksrettede undersøkelser med sikte på å avklare betydningen av tilførsler via overvann og eventuelle episodiske tilførsler fra sedimentasjonsbasseng for prosessvann til Fiskåbekken. Disse undersøkelsene kan bidra til å identifisere mulige utslippsbegrensende tiltak for å redusere tilførslene. Videre er det foreslått tiltaksrettede undersøkelser i form av geotekniske vurderinger i Elkembukta samt undersøkelser for å avklare effekten av aktivt kull på utlekking av PAH fra sedimentet. Disse undersøkelsene kan foregå parallelt med kartlegging av aktive tilførsler. Framdriftsplanen (**Tabell 40**) må sees på som tentativ, siden det foreløpig ikke er avklart hvilke utslippsbegrensende tiltak som bør iverksettes og omfanget av disse. Forutsatt at verifisering av

effekt av utslippsbegrensende tiltak viser forventet effekt er det foreslått gjennomføring av tildekking i 2020/2021.

**Tabell 40.** Tentativ framdriftsplan for tiltaksrettede undersøkelser, gjennomføring av utslippsreducerende tiltak, gjennomføring av tildekkings tiltak i Elkembukta og overvåkning av naturlig restitusjon i Fiskåbukta.

Aktivitet	2018	2019	2020	2021	2022	2023
<u>Tiltaksrettede undersøkelser:</u>						
• Geotekniske vurderinger i Elkembukta		X				
• Effekten av aktivt kull	X	X				
• Kvantifisering av diffuse kilder: Leveranse av tilstandsrapport Miljødirektoratet	X					
<u>Utslippsbegrensende tiltak:</u>						
• Tidsplan for redegjøring av utslippsbegrensende tiltak for PAH	X					
• Prosjektering og iverksettelse av tiltak fase 1	X	X				
• Verifisering av effekt av utslippsbegrensende tiltak fase 1			X			
• Eventuelt ytterligere utslippsreduksjoner; fase 2				X	X	
• Verifisering av effekt av utslippsbegrensende tiltak fase 2					X	
• Prosjektering og bygging av prosessutstyr for PAH-frie bindemidler	X	X	X			
<u>Tildekkings tiltak i Elkembukta:</u>						
Prosjektering av tildekkings tiltak i Elkembukta			X			
Søknad om tildekking (dumping)			X			
Tildekking i Elkembukta			X	X	X*	X*
Sluttkontroll tildekkings tiltak i Elkembukta						X
<u>Overvåket naturlig restitusjon i Fiskåbukta:</u>						
Utvikling av overvåkningsprogram		X				
Overvåkning av blåskjell	X	X	X	X	X	X
Overvåkning av sediment og porevann i Fiskåbukta			X		X	

\*Gjennomføring av tildekking avhenger av effekt av utslippsbegrensende tiltak fase 1: Dersom det er behov for ytterligere tiltak (fase 2) anbefales det å avvete tildekking til etter at disse er gjennomført (2022/2023)

## 14 Referanser

- Bakke, T., Breeveld, G., Källqvist, T., Oen, A., Eek, E., Ruus, A., Kibsgaard, A., Helland, Laugesen, J. 2012. Veileder, Risikovurdering av forurenset sediment. Miljødirektoratet (tidl. Klif) TA-2802/2011.
- Beyer, J, Schaanning, M,T,S. 2012. Revidert miljørisikovurdering av metaller i utslipp av renset avløpsvann til sjø fra Elkem Solar Kristiansand. NIVA-rapport 6440-2012.
- Cornelissen, G., Amstaetter, K., Hauge, A., Schaanning, M., Beylich, B., Gunnarsson, J. S., Breedveld, G. D., Oen, A. M. P. & Eek, E. 2012. Large-Scale Field Study on Thin-Layer Capping of Marine PCDD/F-Contaminated Sediments in Grenlandfjords, Norway. Physicochemical Effects. . Environ. Sci. Technol., 46, 12030–12037.
- Cornelissen, G., Schaanning, M. T., Gunnarson, J. S. & Eek, E. 2015. A large-scale field trial of thin-layer capping of PCDD/F-contaminated sediments: sediment-to-water fluxes up to 5 years post-amendment. Integrated environmental assessment and management.
- Cowi, 2016. Luftsonkart for Kristiansand kommune. Delrapport 2: Resultater og analyse. Oppdragsnummer A074601, v.1.0, 12.10.2016, 41 s.
- Fuchsman, P. C., Bell, K. S., Merritt, K. A., Conder, J. M., Chadwick, D. B., Bridges, T. S. & Magar, V. S. 2014. Monitored Natural Recovery. In: Reibel, D. D. (ed.) Processes, Assessment and Remediation of Contaminated Sediments. New York: Springer.
- Green, N.W., Schøyen, M., Øxnevad, S., Ruus, A., Allan, I., Hjermann, D., Severinsen, G., Høgåsen, T., Beylich, B., Håvardstun, J., Lund, E., Tveiten, L., Bæk, K. 2016. Contaminants in coastal waters of Norway 2015. Miljøgifter i norske kystområder 2015. Norwegian Environment Agency/Miljødirektoratet. M rapportnr. 618/2016., NIVA-rapport L. nr. 7087-2016. 209 s. ISBN 978-82-577-6822-5. NIVA-report ISSN 1894-7948.
- Hindar, A., Schøyen, M., Jartun, M og Ranneklev, S, B. Overvannsavrenning av miljøgifter i Kristiansand by og elementer i et forurensningsregnskap for Østre havn. NIVA-rapport 7173-2017.
- Håvardstun, J., Næs, K. 2016. Tiltaksrettet overvåking i henhold til vannforskriften for Elkem Carbon AS og Elkem Solar AS i Kristiansandsfjorden 2015. NIVA-rapport 7006-2016.
- Håvardstun, J., Allan, I og Næs, K. 2015. Overvåking av det nære sjøområdet til Elkem Solar AS i Kristiansand i 2014. Metaller i blåskjell og vann.NIVA-rapport 6862-2015.
- Josefsson, S., Schaanning, M., Samuelsson, G. S., Gunnarsson, J. S., Olofsson, I., Eek, E. & Wiberg, K. 2012. Capping Efficiency of Various Carbonaceous and Mineral Materials for In Situ Remediation of Polychlorinated Dibenzo-p-dioxin and Dibenzofuran Contaminated Marine Sediments: Sediment-to-Water Fluxes and Bioaccumulation in Boxcosm Tests. Environmental Science & Technology, 46, 3343-3351.
- Kroglund, T., Oug, E. 2011. Resipientovervåking i Kristiansandsfjorden. Marine undersøkelser ved Odderøya og Bredalsholmen 2008-2009. NIVA-rapport 6200-2011. 69 s.

Miljødirektoratet 2016. Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota. Veileder, M-608/2016. Miljødirektoratet, Oslo/Trondheim. 24 s.

Miljødirektoratet 2016. Tilstandsrapport for industriområder. Dokumentasjon av farlige stoffer i jord og grunnvann. Veileder M-630/2016. Guidance for investigation of hazardous substances in soil and groundwater.

Miljødirektoratet 2015. Veileder for håndtering av sedimenter. Veileder M-350/2015. Miljødirektoratet, Oslo/Trondheim.

Miljødirektoratet 2015. Tiltaksplaner for opprydding i forurenset sjøbunn. Faktaark M-325/2015.

Molvær, J., H. Solneim og T. Källquist, 1986. Basisundersøkelse av Kristiansandsfjorden. Delrapport V. Vannutskiftning og vannkvalitet. NIVA-rapport 1993-1986.

Molvær, J., J. Knutzen, J. Magnusson, B. Rygg, J. Skei and J. Sørensen (1997). Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Oslo, Norway, SFT: 34s.

Næs, K. 1992. PAH i sedimenter utenfor Elkem Fiskaa, Kristiansand, 1991. NIVA-rapport 2753-1992.

Næs, K. 2006. Miljømål og tiltaksplan for Elkem AS Carbon Fiskaa knyttet til PAH-problematikken i Kristiansandsfjorden. NIVA-rapport 5193-2006.

Næs, K., Oug, E., og Håvardstun, J. 2017. Tiltaksrettet overvåking i henhold til vannforskriften for Elkem Carbon AS og Elkem Solar AS i Kristiansandsfjorden 2016. NIVA-rapport 7123-2017.

Næs, K., Håvardstun, J., og Allan, I. 2015. Overvåking av det nære sjøområdet til Elkem Carbon AS i Kristiansand i 2014. PAH i blåskjell og vann. NIVA-rapport 6863-2015.

Næs, K., Oug, E., Håvardstun, J., Beyer, J., Bakke, T., Heiaas, H., Lillicrap, A og Allan, I., 2014. Oppdatert risikovurdering av sedimenter og overvåking med vekt på PAH av det nære sjøområdet til Elkem i Kristiansand i 2013. NIVA-rapport 6664-2014.

Næs, K., Håvardstun, J., Oug, E., Allan, I. 2013. Overvåking av det nære sjøområdet til Elkem i Kristiansand i 2012. Undersøkelse av konsentrasjoner av metaller og PAH i vann, blåskjell og sedimenter samt sammensetningen av dyrelivet på bløtbunn. NIVA-rapport 6548-2013.

Næs, K., Håvardstun, J., Oug, E., Allan, I. 2011. 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. NIVA-rapport 6145-2011.

Olsen, M, Schaanning, M, Eek, E og Næs, K. 2015. Beslutningsgrunnlag og tiltaksplan for forurensete sedimenter i Gunneklevfjorden. NIVA-rapport 6222-2015.

Patmont, C. R., Ghosh, U., Larosa, P., Menzie, C. A., Luthy, R. G., Greenberg, M. S., Cornelissen, G., Eek, E., Collins, J., Hull, J., Hjärtland, T., Glaza, E., Bleiler, J. & Quadrini, J. 2014. In Situ Sediment Treatment Using Activated Carbon: A Demonstrated Sediment Cleanup Technology. Integrated Environmental Assessment and Management, 11, 195-207.

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

Rygg, B. (1985). Basisundersøkelse av Kristiansandsfjorden. Delrapport I. Bløtbunnsfaunaundersøkelser 1983. Oslo, Norway, NIVA - Norsk Institutt for Vannforskning: 60s.

Samuelsson, G.S., Raymond, C., Agrenius, S., Schaanning, M., Cornelissen, G., and Gunnarsson, J. S., 2017. Response of marine benthic fauna to thin-layer capping with activated carbon in a large-scale field experiment in the Grenland fjords, Norway. *Environ Sci Pollut Res* (2017) 24:14218–14233.

Samuelsson et al. 2012.

Schaanning, M., Breyholz, B. og Skei, J., 2006. Experimental results on effects of capping on fluxes of persistent organic pollutants (POPs) from historically contaminated sediments. *Marine Chemistry*, 102, 46-59.

Schaanning, M.T., A. Helland, O. Lindholm, H.C. Nilsson, C. Vogelsang, 2006. Miljøgiftregnskap for tiltaksområder i Oslo Havn. NIVA rapport 5154-2006. 39s.

Schøyen, M., Håvardstun, J, og Tveiten, L., 2017. Overvåking utenfor Glencore Nikkelverk AS i Kristiansandsfjorden i 2016. Undersøkelse av sedimenterende materiale i Hanneviksbukta ved hjelp av sedimentfeller. NIVA-rapport 7118-2017.

Schøyen, M., Håvardstun, J., 2017. Tiltaksrettet overvåking i henhold til vannforskriften for Glencore Nikkelverk AS. Undersøkelse av blåskjell i 2016 - fase 2. NIVA-rapport 7146-2017.

Schøyen, M., Håvardstun, J. 2016. Tiltaksrettet overvåking i henhold til vannforskriften for Glencore Nikkelverk AS i Kristiansandsfjorden i 2014/2015. Undersøkelse av blåskjell og sedimenter. NIVA O-14285. NIVA-rapport 6977-2016. 49 s + vedlegg.

Schøyen, M., Håvardstun, J., Øxnevad, S., Borgersen, G., Oug, E., Høgåsen, T. 2013. Overvåking av miljøgifter i Kristiansandsfjorden i 2012. Undersøkelse av blåskjell, torsk, taskekrabbe, sedimenter og bløtbunnsfauna. NIVA-rapport 6540-2013.

Schaanning, M. T., Beylich, B. A., Samuelsson, G., Raymond, C., Gunnarson, J. & Agrenius, S. 2011. Field experiment on thin-layer capping in Ormefjorden and Eidangerfjorden: Benthic community analyses 2009-2011. NIVA-rapport 6257-2011.

Smedes, F., Geertsma, R.W., van der Zande, T., Booij, K., 2009. Polymer-Water Partition Coefficients of Hydrophobic Compounds for Passive Sampling: Application of Cosolvent Models for Validation. *Environmental Science & Technology* 43, 7047-7054.

Zimmermann, J., Werner, D., Ghosh, U., Milward, R., Bridges, T. & Luthy, R. 2005. Effects of dose and particle size on activated carbon treatment to sequester polychlorinated biphenyls and polycyclic aromatic hydrocarbons in marine sediments. *Environ. Toxicol. Chem.*, 24, 1594-1601.

# Vedlegg

## Løste konsentrasjoner i sediment

### Introduction

Passive sampling is a methodology that is increasingly used for the measurement of freely dissolved contaminant concentrations in sediments,  $C_{free}$ . The most straightforward approach if polymer-water partition coefficient,  $K_{pw}$  for the polymer of interest are known are to expose passive samplers to the sediment in the laboratory with agitation for a sufficiently long period of time to obtain equilibrium:

$$C_{free} = \frac{C_{p,equl}}{K_{pw}} \quad \text{Eq1}$$

This approach was applied some years ago to sediments collected in the vicinity of the Elkem site in 2013 (Næs et al., 2013) and applied again in the present study. This work aimed to estimate  $C_{free}$  in 8 sediment batches collected in the vicinity of the Elkem site and at increasing distances from the cove. Since total sediment concentrations were also measured, it is possible to calculate organic carbon-normalised sediment-water distribution coefficients for these sediments:

$$K_{POC} = \frac{C_{sed,OC}}{C_{free}} \quad \text{Eq2}$$

### Methodology

Sediment batches in 1L-glass jars were received in Oslo 24 hour after collection and passive sampling assays were initiated on the following day. A sub-sample of sediments was collected from the jars for further analyses of total contaminant concentrations, water and organic carbon content and particle size distribution.

AlteSil™ silicone rubber passive samplers (0.5 g nominal mass) were prepared following standard procedures at NIVA. The polymer was cleaned by Soxhlet extraction to remove oligomers and residual contamination and further soaked in methanol before loading performance reference compounds (PRCs). These compounds are isotopically labelled chemicals closely related to compounds of interest. These compounds are dosed to the polymer and dissipate during expose since these are not present in the environment. Their dissipation helps us gauge the kinetics of exchange of chemicals between the polymer and water. Complete dissipation in sediment assays can indicate that sediment-polymer equilibrium is reached. Once ready, passive samplers were added to the glass jars containing sediment slurries. The glass jars were placed on an orbital shaker sideways to maximize sediment and passive sampler agitation during exposure. The shaker was set to 150 rpm and exposures were left to run for 46 days (from the 29.09.2017 to the 14.11.2017). Once the assays terminated, samplers were collected, rinsed with ultrapure water, wiped with a clean tissue and extracted and analysed for PAHs, PCBs, HCB and pentachlorobenzene and for PRCs. In short, the extraction of the polymer was done using n-pentane followed by GP or sulfuric acid clean-up prior to gas chromatographic analysis.

### Results

It was possible to estimate freely dissolved concentrations of most compounds in all sediment batches. No PAHs or OCs were found above limits of quantification in the control sampler. This corresponded to LOQ in the freely dissolved form in sediments of 0.01-92 ng L<sup>-1</sup> depending on the PAH. For OCs, LOQs for the freely dissolved form in sediments ranged from 0.014 to 0.0001 ng L<sup>-1</sup>. Polymer-water partition coefficients for AlteSil™ silicone rubber,  $K_{pw}$ , were from Smedes et al. (2009) and not corrected for temperature or salinity. Sediment-water distribution coefficients,  $K_{POC}$ , measured here at 20 °C were not corrected to environmental temperature. Equation 1 was used to calculate  $C_{free}$  for PAHs and most PCBs, however the dissipation of performance reference



compounds indicated that most compounds were sampled at equilibrium after 46 days of exposure. For the most hydrophobic PCBs studied here, CBs 138 and 180, the concentrations in the sampler did not reach complete equilibrium with the sediment. A correction based on PRC data was applied. For  $\log K_{poc}$  values, we assume compounds are at equilibrium in the sediment, i.e. no re-partitioning between sediment particles occurs during the passive sampling measurement.

**Tabell I-1.** Freely dissolved concentrations,  $C_{free}$  ( $ng L^{-1}$ ) of PAHs in the 8 sediment samples

PAH	Site							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Naphthalene	145	<95	185	183	<90	<92	<91	<97
Acenaphthylene	61	103	136	110	45	60	37	44
Acenaphthene	376	520	947	1512	124	179	102	80
Fluorene	103	86	155	217	32	52	33	27
Dibenzothiophene	65	65	112	151	19	30	18	15
Phenanthrene	224	354	534	823	79	100	51	57
Anthracene	66	78	117	142	32	37	21	19
Fluoranthene	119	408	386	816	38	36	22	21
Pyrene	133	399	390	707	39	50	29	25
Benzo[a]anthracene	6.9	19	18	39	2.1	2.0	1.2	1.2
Chrysene	4.6	18	17	37	1.6	1.2	0.9	0.7
Benzo[b,j]fluoranthene	5.5	11	12	14	1.7	2.4	1.6	1.1
Benzo[k]fluoranthene	1.9	3.8	4.6	4.9	0.5	0.8	0.6	0.4
Benzo[e]pyrene	2.5	5.6	5.7	6.8	0.8	1.2	0.8	0.7
Benzo[a]pyrene	3.1	6.5	6.9	8.7	0.8	1.2	0.7	0.5
Perylene	0.48	1.3	1.1	1.8	0.071	0.046	<0.036	<0.039
Indeno[123cd]pyrene	0.67	1.3	1.4	1.4	0.22	0.29	0.18	0.16
Dibenzo[ah]anthracene	0.15	0.28	0.33	0.29	0.038	0.075	0.036	0.026
Benzo[ghi]perylene	0.49	1.1	0.88	0.87	0.17	0.15	0.10	0.10

**Tabell I-2.** Freely dissolved concentrations,  $C_{free}$  ( $ng L^{-1}$ ) of chlorinated organic pollutants in the 8 sediment samples

	Site							
	1	2	3	4	5	6	7	8
PeCB	0.63	0.06	0.48	0.06	0.69	1.8	1.6	2.5
HCB	1.0	0.12	0.76	0.073	1.5	2.8	2.5	3.8
PCB31+28	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
CB52	0.034	0.0088	0.020	0.014	0.013	0.021	0.016	0.015
CB101	0.021	0.0054	0.015	0.0083	0.019	0.022	0.018	0.016
CB118	0.0066	0.0016	0.0041	0.0028	0.0044	0.0075	0.0069	0.0059
CB153	0.035	0.0065	0.018	0.0064	0.044	0.049	0.032	0.031
CB138	0.013	0.0023	0.0070	0.0031	0.016	0.018	0.015	0.012
CB180	0.0070	0.00074	0.0028	0.00054	0.0076	0.0063	0.0043	0.0036

**Tabell I-3.** Organic carbon-normalised sediment-water distribution coefficients,  $\log K_{poc}$  ( $L kg^{-1}$ ) for PAHs in the 8 sediment samples

PAH	Site							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Naphthalene	4.80		4.51	4.84				
Acenaphthylene	4.03	3.52	3.51	3.78	3.99	3.99	4.23	4.30
Acenaphthene	4.61	4.43	4.22	4.23	5.06	5.15	5.15	5.04
Fluorene	5.06	5.16	4.89	5.02	5.54	5.57	5.50	5.40
Phenanthrene	5.61	5.37	5.25	5.26	6.01	5.95	6.17	5.98
Anthracene	5.55	5.52	5.29	5.52	5.84	5.84	6.02	5.92
Fluoranthene	6.21	5.68	5.70	5.60	6.58	6.61	6.77	6.70
Pyrene	6.09	5.63	5.61	5.59	6.48	6.39	6.58	6.57
Benzo[a]anthracene	7.16	6.72	6.69	6.63	7.54	7.56	7.71	7.65
Chrysene	7.26	6.66	6.62	6.58	7.57	7.73	7.76	7.77
Benzo[b,j]fluoranthene	7.37	6.98	7.00	7.12	7.75	7.56	7.75	7.83
Benzo[k]fluoranthene	7.40	6.96	6.88	7.17	7.73	7.55	7.79	7.85
Benzo[a]pyrene	7.43	7.04	7.04	7.17	7.95	7.71	8.01	8.12
Indeno[123cd]pyrene	7.67	7.48	7.27	7.70	8.31	8.07	8.41	8.43
Dibenzo[ah]anthracene	7.69	7.65	7.29	7.85	8.59	8.41	8.59	8.67
Benzo[ghi]perylene	7.74	7.57	7.47	7.89	8.41	8.33	8.64	8.61

**Tabell I-4.** Organic carbon-normalised sediment-water distribution coefficients,  $\log K_{POC}$  ( $L\ kg^{-1}$ ) for PAHs in the 8 sediment samples

	Site							
	1	2	3	4	5	6	7	8
CB52	5.72	6.08	5.50		5.82	6.28	6.34	6.27
CB101	6.43	6.70	6.11	6.40	6.34	6.60	6.65	6.79
CB118	6.70	7.07	6.60	6.87	6.61	7.01	7.01	7.04
CB153	6.53	6.59	6.28	6.73	6.58	6.74	6.77	6.84
CB138	6.96	7.18	6.65	7.11	6.86	7.20	7.19	7.25
CB180	7.06	7.40	6.93	7.62	7.15	7.35	7.49	7.71

## SPMD, PAH i passive prøvetakere

Analyse av PAH16 i SPMD									
Alle metallboksene var merket EH-028-23065									
Prøvenavn	stasjon 1	stasjon 2	stasjon 3	stasjon 4	stasjon 5	stasjon 6	stasjon 7	stasjon 8	blank
	2/10-29/11-2017	26/9-29/11-2017	26/9-29/11-2017	26/9-29/11-2017	26/9-29/11-2017	26/9-29/11-2017	26/9-29/11-2017	26/9-29/11-2017	
parameter	ng/spmd	ng/spmd	ng/spmd	ng/spmd	ng/spmd	ng/spmd	ng/spmd	ng/spmd	ng/spmd
Naftalen	<80	190	<80	<80	<80	<80	<80	<80	<80
Acenaftylen	19	24	13	16	13	19	7,5	13	<5
Acenaften	640	610	210	180	150	530	24	35	11
Fluoren	180	180	78	100	110	150	24	38	9
Dibenzotiofen	100	100	52	53	73	100	14	24	<5
Fenantren	1300	1600	850	930	1400	990	210	340	51
Antracen	600	700	420	420	470	710	83	63	<5
Fluoranten	14000s	15000s	10000s	8800s	8800s	16000s	1500	1300	<5
Pyren	10000s	13000s	8500s	7800s	7600s	11000s	1300	1200	<5
Benzo(a)antracen	3500s	5600s	3500s	3400s	3800s	3100s	450	450	<5
Chrysen	3000s	5200s	2900s	3100s	3200s	2300	410	440	<5
Benzo(b,j)fluoranten	2200	3400s	2100	1900	2000	2400	520	290	<5
Benzo(k)fluoranten	690	1000	630	620	640	730	160	86	<5
Benzo(e)pyren	1100	1700	1100	910	930	1200	270	150	<5
Benzo(a)pyren	1000	1600	1000	880	940	1200	240	110	<5
Perylen	360	580	380	290	300	440	96	38	<5
Indeno(1,2,3-cd)pyren	250	390	260	200	180	350	95	33	<5
Dibenz(ac)ah)antracen	85	130	88	67	65	120	34	8,7	<5
Benzo(ghi)perylene	20	50	50	30	24	58	34	8,2	<5
Acenaften-d10	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Fluoren-d10	279	252	213	162	239	236	551	89	8543
Fenantren-d10	2140	2113	1874	1493	1958	2108	3233	1309	9996
Chrysen-d12	44	43	42	43	43	44	46	45	47
Benzo(e)pyren-d12	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5

s= Konsentrasjonen av forbindelsen i ekstraktet av prøven overstiger kalibreringsområdet. Det er derfor knyttet noe større usikkerhet enn normalt til kvantifiseringen.

## Sedimentfeller



Gaustadalléen 21  
0349 Oslo  
Tel: 02348 / (+47) 22 18 51 00  
E-post: niva@niva.no

## ANALYSERAPPORT



RapportID: 9026

**Kunde:** Kristoffer Næs  
**Prosjektnummer:** O 17278 Elkem Carbon

**Analyseoppdrag:** 720-5312  
**Versjon:** 1  
**Dato:** 22.01.2018

06/12/2017 ALR: I tillegg til analysene som er registrert skal prøvene analyseres for total mengde materiale. Dette er lagt inn som kommentar på hver enkelt prøve.

**Provenr.:** NR-2017-12971 **Provermerking:** Stasjon 1  
**Prøvetype:** SEDIMENT  
**Prøvetakningsdato:** 29.11.2017 00.00.00  
**Prøve mottatt dato:** 06.12.2017  
**Analyseperiode:** 19.12.2017 - 19.12.2017

**Kommentar:** 14/12/2017 ALR: Total mengde tørket prøve = 29,39 g.

Analysevariabel	Standard (NIVA metodekode)	Resultat	Enhet	MU	LOQ	Underlev.
Totalt organisk karbon	Intern metode (G6-2)	121	µg C/mg TS	20%	1,0	

**Provenr.:** NR-2017-12972 **Provermerking:** Stasjon 2  
**Prøvetype:** SEDIMENT  
**Prøvetakningsdato:** 29.11.2017 00.00.00  
**Prøve mottatt dato:** 06.12.2017  
**Analyseperiode:** 19.12.2017 - 19.12.2017

**Kommentar:** 14/12/2017 ALR: Total mengde tørket prøve = 6,16 g.

Analysevariabel	Standard (NIVA metodekode)	Resultat	Enhet	MU	LOQ	Underlev.
Totalt organisk karbon	Intern metode (G6-2)	63,1	µg C/mg TS	20%	1,0	

**Provenr.:** NR-2017-12973 **Provermerking:** Stasjon 3  
**Prøvetype:** SEDIMENT  
**Prøvetakningsdato:** 29.11.2017 00.00.00  
**Prøve mottatt dato:** 06.12.2017  
**Analyseperiode:** 19.12.2017 - 19.12.2017

**Kommentar:** 14/12/2017 ALR: Total mengde tørket prøve = 3,70 g.

Analysevariabel	Standard (NIVA metodekode)	Resultat	Enhet	MU	LOQ	Underlev.
Totalt organisk karbon	Intern metode (G6-2)	50,4	µg C/mg TS	20%	1,0	

## Tegnforklaring:

\* : Ikke omfattet av akkrediteringen

<: Mindre enn, >: Større enn, MU: Måleusikkerhet (dekningsfaktor k=2), LOQ: Kvantifiseringsgrense

Mod: Intern metode basert på angitt standard

Analysereporten må kun gjengis i sin helhet og uten noen form for endringer. Analyseresultatet gjelder kun for den prøven som er testet.

For biota og sediment: Dersom enhet er uten spesifikk basisangivelse, er resultatet oppgitt som vårvekt.

Side 1 av 2

**NIVA**

Norsk institutt for vannforskning

Veronica Eftevåg

Overingeniør

Rapporten er elektronisk signert

---

**Tegnforklaring**

\* : Ikke omfattet av akkrediteringen

< : Mindre enn, > : Større enn, MU: Måleusikkerhet (dekning-faktor k=2), LOQ: Kvantifiseringsgrense

Mod: Intern metode basert på angitt standard

Analysereporten må kun gjengis i sin helhet og uten noen form for endringer. Analyseresultatet gjelder kun for den prøven som er testet.

For biota og sediment: Dersom enhet er uten spesifikk basisangivelse, er resultatet oppgitt som våtvekt.

Side 2 av 2



Gaustadalléen 21  
0349 Oslo  
Tel: 02348 / (+47) 22 18 51 00  
E-post: niva@niva.no



## ANALYSERAPPORT

RapportID: 9428

**Kunde:** Kristoffer Næs  
**Prosjektnummer:** O 17278 Elkem Carbon

Analyseoppdrag:	720-5797
Versjon:	1
Dato:	17.04.2018

**Provenr.:** NR-2018-05329      **Provermerking:** St. 1  
**Provetype:** SEDIMENT  
**Provetakningsdato:** 20.03.2018 00.00.00  
**Prove mottatt dato:** 23.03.2018  
**Analyseperiode:** 12.04.2018 - 12.04.2018

**Kommentar:** Totalt tørket materiale: 14,95 g

Analysevariabel	Standard (NIVA metodekode)	Resultat	Enhet	MU	LOQ	Underlev.
Totalt organisk karbon	Intern metode (G6-2)	194	µg C/mg TS	20%	1,0	

**Provenr.:** NR-2018-05330      **Provermerking:** St. 2  
**Provetype:** SEDIMENT  
**Provetakningsdato:** 20.03.2018 00.00.00  
**Prove mottatt dato:** 23.03.2018  
**Analyseperiode:** 12.04.2018 - 12.04.2018

**Kommentar:** Totalt tørket materiale: 5,09 g

Analysevariabel	Standard (NIVA metodekode)	Resultat	Enhet	MU	LOQ	Underlev.
Totalt organisk karbon	Intern metode (G6-2)	65,3	µg C/mg TS	20%	1,0	

**Provenr.:** NR-2018-05331      **Provermerking:** St. 3  
**Provetype:** SEDIMENT  
**Provetakningsdato:** 20.03.2018 00.00.00  
**Prove mottatt dato:** 23.03.2018  
**Analyseperiode:** 12.04.2018 - 12.04.2018

**Kommentar:** Totalt tørket materiale: 4,17 g

Analysevariabel	Standard (NIVA metodekode)	Resultat	Enhet	MU	LOQ	Underlev.
Totalt organisk karbon	Intern metode (G6-2)	49,4	µg C/mg TS	20%	1,0	

**Tegnforklaring:**

\* : Ikke omfattet av akkrediteringen

< : Mindre enn, > : Større enn, MU: Måleusikkerhet (dekningsfaktor k=2), LOQ: Kvantifiseringsgrense

Mod: Intern metode basert på angitt standard

Analysereporten må kun gjengis i sin helhet og uten noen form for endringer. Analyseresultatet gjelder kun for den prøven som er testet.

For biota og sediment: Dersom enhet er uten spesiell basisangivelse, er resultatet oppgitt som vårvekt.

Side 1 av 2

**NIVA**

Norsk institutt for vannforskning

Veronica Eftevåg

Overingeniør

Rapporten er elektronisk signert

---

Teguforklaring

\* : Ikke omfattet av akkrediteringen

<: Mindre enn, >: Større enn, MU: Måleusikkerhet (dekningsfaktor k=2), LOQ: Kvantifiseringsgrense

Mod: Intern metode basert på angitt standard

Analysereporten må kun gjengis i sin helhet og uten noen form for endringer. Analyseresultatet gjelder kun for den prøven som er testet.

For biota og sediment: Dersom enhet er uten spesifikk basisangivelse, er resultatet oppgitt som våtvekt.

Side 2 av 2



## Analyseutskrifter sedimenter



Norsk Institutt For Vannforskning  
Gautstadalleen 21  
0349 OSLO  
Attn: NIVA lab

Eurofins Environment Testing Norway  
AS (Moss)  
F. reg. 985 141 618 MVA  
Møllebakken 50  
NO-1538 Moss

Tlf: +47 69 00 52 00  
Fax: +47 69 27 23 40

AR-17-MM-027862-01

EUNOMO-00182324

Prøvemottak: 17.11.2017  
Temperatur:  
Analyseperiode: 17.11.2017-04.12.2017  
Referanse: O-17272

## ANALYSERAPPORT

Prøvenr.:	439-2017-11170164	Prøvetakingsdato:	13.11.2017		
Prøvetype:	Sedimenter	Prøvetaker:	Oppdragsgiver		
Prøvemerkning:	17272-Pr.1	Analysestartdato:	17.11.2017		
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ	MU	Metode
e) PCB(7)					
c) PCB 28	< 0.00050	mg/kg TS	0.0005		EN 16167
c) PCB 52	0.0020	mg/kg TS	0.0005	25%	EN 16167
c) PCB 101	0.0063	mg/kg TS	0.0005	25%	EN 16167
c) PCB 118	0.0037	mg/kg TS	0.0005	25%	EN 16167
c) PCB 153	0.013	mg/kg TS	0.0005	25%	EN 16167
c) PCB 138	0.013	mg/kg TS	0.0005	25%	EN 16167
c) PCB 180	0.0088	mg/kg TS	0.0005	25%	EN 16167
c) Sum 7 PCB	0.047	mg/kg TS		25%	EN 16167
e) PAH(16)					
c) Naftalen	1.0	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Acenaftylen	0.072	mg/kg TS	0.01	40%	ISO 18287, mod.
c) Acenaften	1.7	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Fluoren	1.3	mg/kg TS	0.01	30%	ISO 18287, mod.
c) Fenantren	10	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Antraen	2.6	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Fluoranten	21	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Pyren	18	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Benzo[a]antraen	11	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Krysen/Trifenylen	9.1	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Benzo[b]fluoranten	14	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Benzo[k]fluoranten	5.1	mg/kg TS	0.01	30%	ISO 18287, mod.
c) Benzo[a]pyren	9.1	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Indeno[1,2,3-cd]pyren	3.4	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Dibenzo[a,h]antraen	0.81	mg/kg TS	0.01	30%	ISO 18287, mod.
c) Benzo[ghi]perylen	3.0	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Sum PAH(16) EPA	110	mg/kg TS			ISO 18287, mod.
a) Tributyltinn (TBT) - Sn	710	µg/kg TS	1	40%	Internal Method 2085
c) Torrstoff	47.1	%	0.1	5%	EN 12880
a) Tributyltinn (TBT)	1700	µg/kg tv	2.4	40%	Kalkulering

## Teknisk forklaring:

\* Ikke omfattet av akkrediteringen      LOQ: Kvantifiseringsgrense      MU: Måleusikkerhet  
<: Mindre enn    >: Større enn    nd: Ikke påvist.    Bakteriologiske resultater angitt som <1,-<50 e.l. betyr 'ikke påvist'.  
Opplysninger om måleusikkerhet og konfidensintervall fås ved henvendelse til laboratoriet.  
Måleusikkerhet er ikke tatt hensyn til ved vurdering av om resultatet er utenfor grenseverdi-området.  
Rapporten må ikke gjengis, unntatt i sin helhet, uten laboratoriets skriftlige godkjenning. Resultatene gjelder kun for de(n) undersøkte prøven(e).

Side 1 av 13

AR-001v 42

AR-17-MM-027862-01



EUNOMO-00182324

Prøvenr.:	439-2017-11170165	Prøvetakingsdato:	13.11.2017		
Prøvetype:	Sedimenter	Prøvetaker:	Oppdragsgiver		
Prøvemerking:	17272-Pr.2	Analysestartdato:	17.11.2017		
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ	MU	Metode
c) PCB(7)					
c) PCB 28	< 0.00050	mg/kg TS	0.0005		EN 16167
c) PCB 52	0.0030	mg/kg TS	0.0005	25%	EN 16167
c) PCB 101	0.0077	mg/kg TS	0.0005	25%	EN 16167
c) PCB 118	0.0052	mg/kg TS	0.0005	25%	EN 16167
c) PCB 153	0.0071	mg/kg TS	0.0005	25%	EN 16167
c) PCB 138	0.0095	mg/kg TS	0.0005	25%	EN 16167
c) PCB 180	0.0052	mg/kg TS	0.0005	25%	EN 16167
c) Sum 7 PCB	0.038	mg/kg TS		25%	EN 16167
e) PAH(16)					
c) Naftalen	2.7	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Acenaflylen	0.095	mg/kg TS	0.01	40%	ISO 18287, mod.
c) Acenaftefen	3.9	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Fluoren	3.5	mg/kg TS	0.01	30%	ISO 18287, mod.
c) Fenantren	23	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Antraoen	7.2	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Fluoranten	55	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Pyren	48	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Benzo[a]antraoen	28	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Krysen/Trifenylene	23	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Benzo[b]fluoranten	30	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Benzo[k]fluoranten	9.6	mg/kg TS	0.01	30%	ISO 18287, mod.
c) Benzo[a]pyren	20	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Indeno[1,2,3-cd]pyren	11	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Dibenzo[a,h]antraoen	3.5	mg/kg TS	0.01	30%	ISO 18287, mod.
c) Benzo[ghi]perylene	11	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Sum PAH(16) EPA	280	mg/kg TS			ISO 18287, mod.
a) Tributyltinn (TBT) - Sn	41	µg/kg TS	1	40%	Internal Method 2085
c) Tørstoff	42.3	%	0.1	5%	EN 12880
a) Tributyltinn (TBT)	100	µg/kg tv	2.4	40%	Kalkulering

**Tegnforklaring:**

\* Ikke omfattet av akkrediteringen      LOQ: Kvantifiseringsgrense      MU: Måleusikkerhet  
 <: Mindre enn    >: Større enn    nd: Ikke påvist.    Bakteriologiske resultater angitt som <1, <50 e.l. betyr ikke påvist.

Opplysninger om måleusikkerhet og konfidensintervall fås ved henvendelse til laboratoriet.

Måleusikkerhet er ikke tatt hensyn til ved vurdering av om resultatet er utenfor grenseverdi-området.

Rapporten må ikke gjengis, unnatt i sin helhet, uten laboratoriets skriftlige godkjenning. Resultatene gjelder kun for de(n) undersøkte prøven(e).

Side 2 av 13

AR-001 v.14E

AR-17-MM-027862-01



EUNOMO-00182324

Prøvenr.:	439-2017-11170166	Prøvetakingsdato:	13.11.2017		
Prøvetype:	Sedimenter	Prøvetaker:	Oppdragsgiver		
Prøvemerking:	17272-Pr.3	Analysestartdato:	17.11.2017		
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ	MU	Metode
c) PCB(7)					
c) PCB 28	< 0.00050	mg/kg TS	0.0005		EN 18187
c) PCB 52	0.0016	mg/kg TS	0.0005	25%	EN 18187
c) PCB 101	0.0050	mg/kg TS	0.0005	25%	EN 18187
c) PCB 118	0.0041	mg/kg TS	0.0005	25%	EN 18187
c) PCB 153	0.0087	mg/kg TS	0.0005	25%	EN 18187
c) PCB 138	0.0078	mg/kg TS	0.0005	25%	EN 18187
c) PCB 180	0.0050	mg/kg TS	0.0005	25%	EN 18187
c) Sum 7 PCB	0.033	mg/kg TS		25%	EN 18187
e) PAH(16)					
c) Naftalen	1.5	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Acenafylen	0.11	mg/kg TS	0.01	40%	ISO 18287, mod.
c) Acenaften	3.9	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Fluoren	3.0	mg/kg TS	0.01	30%	ISO 18287, mod.
c) Fenantren	24	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Antraen	5.7	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Fluoranten	48	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Pyren	40	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Benzo[a]antraen	22	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Krysen/Trifenylen	18	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Benzo[b]fluoranten	29	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Benzo[k]fluoranten	8.7	mg/kg TS	0.01	30%	ISO 18287, mod.
c) Benzo[a]pyren	19	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Indeno[1,2,3-cd]pyren	6.7	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Dibenzo[a,h]antraen	1.6	mg/kg TS	0.01	30%	ISO 18287, mod.
c) Benzo[ghi]perylen	6.4	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Sum PAH(16) EPA	240	mg/kg TS			ISO 18287, mod.
a) Tributyltinn (TBT) - Sn	47	µg/kg TS	1	40%	Internal Method 2085
c) Tørrestoff	51.6	%	0.1	5%	EN 12880
a) Tributyltinn (TBT)	110	µg/kg tv	2.4	40%	Kalkulering

**Tegnforklaring:**

\* Ikke omfattet av akkrediteringen      LOQ: Kvantifiseringsgrense      MU: Måleusikkerhet

&lt;: Mindre enn    &gt;: Større enn    nd: Ikke påvist. Bakteriologiske resultater angitt som &lt;1,-50 e.i. betyr ikke påvist.

Opplysninger om måleusikkerhet og konfidensintervall fås ved henvendelse til laboratoriet.

Måleusikkerhet er ikke tatt hensyn til ved vurdering av om resultatet er utenfor grenseverdi/-området.

Rapporten må ikke gjengis, unntatt i sin helhet, uten laboratoriets skriftlige godkjenning. Resultatene gjelder kun for de(n) undersøkte prøven(e).

Side 3 av 13

AR-001 v 1.0

AR-17-MM-027862-01



EUNOMO-00182324

Prøvenr.:	439-2017-11170167	Prøvetakingsdato:	13.11.2017		
Prøvetype:	Sedimenter	Prøvetaker:	Oppdragsgiver		
Prøvemerkning:	17272-Pr.4	Analysestartdato:	17.11.2017		
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ	MU	Metode
c) PCB(7)					
c) PCB 28	< 0.00050	mg/kg TS	0.0005		EN 16167
c) PCB 52	< 0.00050	mg/kg TS	0.0005		EN 16167
c) PCB 101	0.0012	mg/kg TS	0.0005	25%	EN 16167
c) PCB 118	0.0012	mg/kg TS	0.0005	25%	EN 16167
c) PCB 153	0.0020	mg/kg TS	0.0005	25%	EN 16167
c) PCB 138	0.0023	mg/kg TS	0.0005	25%	EN 16167
c) PCB 180	0.0013	mg/kg TS	0.0005	25%	EN 16167
c) Sum 7 PCB	0.0080	mg/kg TS		25%	EN 16167
c) PAH(16)					
c) Naftalen	0.73	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Acenafilylen	0.038	mg/kg TS	0.01	40%	ISO 18287, mod.
c) Acenafiten	1.5	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Fluoren	1.3	mg/kg TS	0.01	30%	ISO 18287, mod.
c) Fenantren	8.6	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Antracen	2.7	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Fluoranten	19	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Pyren	16	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Benzo[a]antracen	9.5	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Krysen/Trifenylene	8.1	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Benzo[b]fluoranten	11	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Benzo[k]fluoranten	4.2	mg/kg TS	0.01	30%	ISO 18287, mod.
c) Benzo[a]pyren	7.4	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Indeno[1,2,3-cd]pyren	4.1	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Dibenzo[a,h]antracen	1.2	mg/kg TS	0.01	30%	ISO 18287, mod.
c) Benzo[ghi]perylene	3.9	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Sum PAH(16) EPA	99	mg/kg TS			ISO 18287, mod.
a) Tributyltinn (TBT) - Sn	7.3	µg/kg TS	1	40%	Internal Method 2085
c) Tørstoff	53.7	%	0.1	5%	EN 12880
a) Tributyltinn (TBT)	18	µg/kg tv	2.4	40%	Kalkulering

**Tegnforklaring:**

\* Ikke omfattet av akkrediteringen      LOQ: Kvantifiseringsgrense      MU: Måleusikkerhet  
 <: Mindre enn    >: Større enn    nd: Ikke påvist. Bakteriologiske resultater angitt som <1, <50 e.l. betyr ikke påvist.  
 Opplysninger om måleusikkerhet og konfidensintervall fås ved henvendelse til laboratoriet.

Måleusikkerhet er ikke tatt hensyn til ved vurdering av om resultatet er utenfor grenseverdi-området.

Rapporten må ikke gjengis, unntatt i sin helhet, uten laboratoriets skriftlige godkjenning. Resultatene gjelder kun for de(n) undersøkte prøven(e).

Side 4 av 13

AR-001 v.14E

AR-17-MM-027862-01



EUNOMO-00182324

Provenr.:	439-2017-11170168	Prøvetakingsdato:	13.11.2017		
Prøvetype:	Sedimenter	Prøvetaker:	Oppdragsgiver		
Prøvermerking:	17272-Pr.5	Analysestartdato:	17.11.2017		
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ	MU	Metode
e) PCB(7)					
c) PCB 28	< 0.00050	mg/kg TS	0.0005		EN 18187
c) PCB 52	0.00058	mg/kg TS	0.0005	25%	EN 18187
c) PCB 101	0.0027	mg/kg TS	0.0005	25%	EN 18187
c) PCB 118	0.0012	mg/kg TS	0.0005	25%	EN 18187
c) PCB 153	0.011	mg/kg TS	0.0005	25%	EN 18187
c) PCB 138	0.0076	mg/kg TS	0.0005	25%	EN 18187
c) PCB 180	0.0072	mg/kg TS	0.0005	25%	EN 18187
c) Sum 7 PCB	0.030	mg/kg TS		25%	EN 18187
e) PAH(16)					
c) Naftalen	0.47	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Acenafylen	0.029	mg/kg TS	0.01	40%	ISO 18287, mod.
c) Acenaften	0.95	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Fluoren	0.73	mg/kg TS	0.01	30%	ISO 18287, mod.
c) Fenantren	5.4	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Antraen	1.5	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Fluoranten	9.7	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Pyren	7.8	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Benzo[a]antraen	4.9	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Krysen/Trifenylen	3.9	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Benzo[b]fluoranten	6.3	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Benzo[k]fluoranten	1.9	mg/kg TS	0.01	30%	ISO 18287, mod.
c) Benzo[a]pyren	5.0	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Indeno[1,2,3-cd]pyren	3.0	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Dibenzo[a,h]antraen	1.0	mg/kg TS	0.01	30%	ISO 18287, mod.
c) Benzo[ghi]perylen	2.9	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Sum PAH(16) EPA	55	mg/kg TS			ISO 18287, mod.
a) Tributyltinn (TBT) - Sn	32	µg/kg TS	1	40%	Internal Method 2085
c) Tørstoff	39.1	%	0.1	5%	EN 12880
a) Tributyltinn (TBT)	78	µg/kg tv	2.4	40%	Kalkulering

**Teignforklaring:**

\* Ikke omfattet av akkrediteringen LOQ: Kvantifiseringsgrense MU: Måleusikkerhet

&lt;: Mindre enn &gt;: Større enn nd: Ikke påvist. Bakteriologiske resultater angitt som &lt;1, &lt;50 e.l. betyr ikke påvist.

Opplysninger om måleusikkerhet og konfidensintervall fås ved henvendelse til laboratoriet.

Måleusikkerhet er ikke tatt hensyn til ved vurdering av om resultatet er utenfor grenseverdi-området.

Rapporten må ikke gjengis, unntatt i sin helhet, uten laboratoriets skriftlige godkjenning. Resultatene gjelder kun for de(n) undersøkte prøven(e).

Side 5 av 13

AR-001 v 1.0

AR-17-MM-027862-01



EUNOMO-00182324

Prøvenr.:	439-2017-11170169	Prøvetakingsdato:	13.11.2017		
Prøvetype:	Sedimenter	Prøvetaker:	Oppdragsgiver		
Prøvemerking:	17272-Pr.6	Analysestartdato:	17.11.2017		
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ	MU	Metode
e) PCB(7)					
c) PCB 28	< 0.00060	mg/kg TS	0.0005		EN 18187
c) PCB 52	0.0027	mg/kg TS	0.0005	25%	EN 18187
c) PCB 101	0.0069	mg/kg TS	0.0005	25%	EN 18187
c) PCB 118	0.0052	mg/kg TS	0.0005	25%	EN 18187
c) PCB 153	0.018	mg/kg TS	0.0005	25%	EN 18187
c) PCB 138	0.019	mg/kg TS	0.0005	25%	EN 18187
c) PCB 180	0.0095	mg/kg TS	0.0005	25%	EN 18187
c) Sum 7 PCB	0.080	mg/kg TS		25%	EN 18187
e) PAH(16)					
c) Nafalen	0.79	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Acenafilylen	0.039	mg/kg TS	0.01	40%	ISO 18287, mod.
c) Acenaften	1.7	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Fluoren	1.3	mg/kg TS	0.01	30%	ISO 18287, mod.
c) Fenantren	6.0	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Antraoen	1.7	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Fluoranten	9.8	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Pyren	8.3	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Benzo[a]antraoen	4.8	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Krysen/Trifenylen	4.4	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Benzo[b]fluoranten	5.8	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Benzo[k]fluoranten	2.0	mg/kg TS	0.01	30%	ISO 18287, mod.
c) Benzo[a]pyren	4.1	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Indeno[1,2,3-cd]pyren	2.3	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Dibenzo[a,h]antraoen	1.3	mg/kg TS	0.01	30%	ISO 18287, mod.
c) Benzo[ghi]peryfen	2.2	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Sum PAH(16) EPA	57	mg/kg TS			ISO 18287, mod.
a) Tributyltinn (TBT) - Sn	61	µg/kg TS	1	40%	Internal Method 2085
c) Tørrestoff	45.4	%	0.1	5%	EN 12880
a) Tributyltinn (TBT)	150	µg/kg tv	2.4	40%	Kalkulering

**Tegnforklaring:**

\* Ikke omfattet av akkrediteringen      LOQ: Kvantifiseringsgrense      MU: Måleusikkerhet  
 <: Mindre enn      >: Større enn      nd: Ikke påvist. Bakteriologiske resultater angitt som <1, <50 e.l. betyr ikke påvist.  
 Opplysninger om måleusikkerhet og konfidensintervall fås ved henvendelse til laboratoriet.

Måleusikkerhet er ikke tatt hensyn til ved vurdering av om resultatet er utenfor grenseverdi-området.

Rapporten må ikke gjengis, unntatt i sin helhet, uten laboratoriets skriftlige godkjenning. Resultatene gjelder kun for de(n) undersøkte prøven(e).

Side 6 av 13

AR-001 v.14E

AR-17-MM-027862-01



EUNOMO-00182324

Prøvenr.:	439-2017-11170170	Prøvetakingsdato:	13.11.2017		
Prøvetype:	Sedimenter	Prøvetaker:	Oppdragsgiver		
Prøvemerkning:	17272-Pr.7	Analysestartdato:	17.11.2017		
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ	MU	Metode
e) PCB(7)					
c) PCB 28	< 0.00050	mg/kg TS	0.0005		EN 16167
c) PCB 52	0.0019	mg/kg TS	0.0005	25%	EN 16167
c) PCB 101	0.0042	mg/kg TS	0.0005	25%	EN 16167
c) PCB 118	0.0037	mg/kg TS	0.0005	25%	EN 16167
c) PCB 153	0.010	mg/kg TS	0.0005	25%	EN 16167
c) PCB 138	0.012	mg/kg TS	0.0005	25%	EN 16167
c) PCB 180	0.0070	mg/kg TS	0.0005	25%	EN 16167
c) Sum 7 PCB	0.039	mg/kg TS		25%	EN 16167
e) PAH(16)					
c) Naftalen	0.35	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Acenafylen	0.033	mg/kg TS	0.01	40%	ISO 18287, mod.
c) Acenaften	0.77	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Fluoren	0.55	mg/kg TS	0.01	30%	ISO 18287, mod.
c) Fenantren	4.0	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Antraoen	1.2	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Fluoranten	7.0	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Pyren	5.9	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Benzo[a]antraoen	3.4	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Krysen/Trifenylen	2.8	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Benzo[b]fluoranten	4.7	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Benzo[k]fluoranten	1.8	mg/kg TS	0.01	30%	ISO 18287, mod.
c) Benzo[a]pyren	4.0	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Indeno[1,2,3-cd]pyren	2.5	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Dibenzo[a,h]antraoen	0.74	mg/kg TS	0.01	30%	ISO 18287, mod.
c) Benzo[ghi]perylen	2.4	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Sum PAH(16) EPA	42	mg/kg TS			ISO 18287, mod.
a) Tributyltinn (TBT) - Sn	> 1000	µg/kg TS	1		Internal Method 2085
c) Tørstoff	42.0	%	0.1	5%	EN 12880
a) Tributyltinn (TBT)	>2400	µg/kg tv	2.4		Kalkulering
<b>Marknader:</b> TBT/TBT-Sn: oppgitt som > pga prøvens sammensetning.					

**Tegnforklaring:**

\* Ikke omfattet av akkrediteringen      LOQ: Kvantifiseringsgrense      MU: Måleusikkerhet

&lt;: Mindre enn    &gt;: Større enn    nd: Ikke påvist. Bakteriologiske resultater angitt som &lt;1,-50 e.l. betyr ikke påvist.

Opplysninger om måleusikkerhet og konfidensintervall fås ved henvendelse til laboratoriet.

Måleusikkerhet er ikke tatt hensyn til ved vurdering av om resultatet er utenfor grenseverdi-området.

Rapporten må ikke gjengis, unntatt i sin helhet, uten laboratoriets skriftlige godkjenning. Resultatene gjelder kun for de(n) undersøkte prøven(e).

Side 7 av 13

AR-001 v.142



AR-17-MM-027862-01



EUNOMO-00182324

Prøvenr.:	439-2017-11170171	Prøvetakingsdato:	13.11.2017		
Prøvetype:	Sedimenter	Prøvetaker:	Oppdragsgiver		
Prøvermerking:	17272-Pr.8	Analysestartdato:	17.11.2017		
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ	MU	Metode
e) PCB(7)					
c) PCB 28	< 0.00050	mg/kg TS	0.0005		EN 18187
c) PCB 52	0.00075	mg/kg TS	0.0005	25%	EN 18187
c) PCB 101	0.0025	mg/kg TS	0.0005	25%	EN 18187
c) PCB 118	0.0017	mg/kg TS	0.0005	25%	EN 18187
c) PCB 153	0.0056	mg/kg TS	0.0005	25%	EN 18187
c) PCB 138	0.0053	mg/kg TS	0.0005	25%	EN 18187
c) PCB 180	0.0048	mg/kg TS	0.0005	25%	EN 18187
c) Sum 7 PCB	0.021	mg/kg TS		25%	EN 18187
e) PAH(16)					
c) Naftalen	0.12	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Acenaftilen	0.023	mg/kg TS	0.01	40%	ISO 18287, mod.
c) Acenaften	0.23	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Fluoren	0.18	mg/kg TS	0.01	30%	ISO 18287, mod.
c) Fenantren	1.4	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Antraen	0.42	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Fluoranten	2.7	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Pyren	2.4	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Benzo[a]antraen	1.4	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Krysen/Trifenylen	1.1	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Benzo[b]fluoranten	2.0	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Benzo[k]fluoranten	0.69	mg/kg TS	0.01	30%	ISO 18287, mod.
c) Benzo[a]pyren	1.6	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Indeno[1,2,3-cd]pyren	1.1	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Dibenzo[a,h]antraen	0.31	mg/kg TS	0.01	30%	ISO 18287, mod.
c) Benzo[ghi]perylen	1.1	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Sum PAH(16) EPA	17	mg/kg TS			ISO 18287, mod.
a) Tributyltinn (TBT) - Sn	16	µg/kg TS	1	40%	Internal Method 2085
c) Tørrestoff	54.2	%	0.1	5%	EN 12880
a) Tributyltinn (TBT)	39	µg/kg tv	2.4	40%	Kalkulering

**Tegnforklaring:**

\* Ikke omfattet av akkrediteringen      LOQ: Kvantifiseringsgrense      MU: Målesikkerhet

&lt;: Mindre enn    &gt;: Større enn    nd: Ikke påvist. Bakteriologiske resultater angitt som &lt;1,-50 e.i. betyr ikke påvist.

Opplysninger om målesikkerhet og konfidensintervall fås ved henvendelse til laboratoriet.

Målesikkerhet er ikke tatt hensyn til ved vurdering av om resultatet er utenfor grenseverdi-området.

Rapporten må ikke gjengis, unntatt i sin helhet, uten laboratoriets skriftlige godkjenning. Resultatene gjelder kun for de(n) undersøkte prøven(e).

Side 8 av 13

AR-001 v 1.0



AR-17-MM-027862-01



EUNOMO-00182324

Analyse	Resultat	Enhet	LOQ	MU	Metode
Prøvenr.: 439-2017-11170172 Prøvetype: Sedimenter Prøvemerkning: 17272- Pr TOC 1 Prøvetakingsdato: 13.11.2017 Prøvetaker: Oppdragsgiver Analysestartdato: 17.11.2017					
c) Arsen (As)	31	mg/kg TS	0.5	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
c) Bly (Pb)	120	mg/kg TS	0.5	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
c) Kadmium (Cd)	0.84	mg/kg TS	0.01	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
c) Kvikksølv (Hg)	1.89	mg/kg TS	0.001	20%	028311mod/EN ISO17852mod
c) Tørstoff	37.5	%	0.1	5%	EN 12880
c) Kobber (Cu)	430	mg/kg TS	0.5	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
c) Krom (Cr)	50	mg/kg TS	0.5	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
c) Nikkel (Ni)	390	mg/kg TS	0.5	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
c) Sink (Zn)	250	mg/kg TS	2	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
b) Totalt organisk karbon (TOC)	11	% TS	0.1		EN 13137

Analyse	Resultat	Enhet	LOQ	MU	Metode
Prøvenr.: 439-2017-11170173 Prøvetype: Sedimenter Prøvemerkning: 17272- Pr TOC 2 Prøvetakingsdato: 13.11.2017 Prøvetaker: Oppdragsgiver Analysestartdato: 17.11.2017					
c) Arsen (As)	15	mg/kg TS	0.5	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
c) Bly (Pb)	52	mg/kg TS	0.5	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
c) Kadmium (Cd)	0.35	mg/kg TS	0.01	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
c) Kvikksølv (Hg)	0.054	mg/kg TS	0.001	20%	028311mod/EN ISO17852mod
c) Tørstoff	41.9	%	0.1	5%	EN 12880
c) Kobber (Cu)	130	mg/kg TS	0.5	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
c) Krom (Cr)	27	mg/kg TS	0.5	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
c) Nikkel (Ni)	81	mg/kg TS	0.5	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
c) Sink (Zn)	170	mg/kg TS	2	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
b) Totalt organisk karbon (TOC)	28	% TS	0.1		EN 13137

**Tegnforklaring:**

\* Ikke omfattet av akkrediteringen      LOQ: Kvantifiseringsgrense      MU: Måleusikkerhet  
 <: Mindre enn      >: Større enn      nd: Ikke påvist. Bakteriologiske resultater angitt som <1, <50 e.l. betyr ikke påvist.

Opplysninger om måleusikkerhet og konfidensintervall fås ved henvendelse til laboratoriet.

Måleusikkerhet er ikke tatt hensyn til ved vurdering av om resultatet er utenfor grenseverdi-området.

Rapporten må ikke gjengis, unntatt i sin helhet, uten laboratoriets skriftlige godkjenning. Resultatene gjelder kun for de(n) undersøkte prøven(e).

Side 9 av 13

AR-001 v 14

AR-17-MM-027862-01



EUNOMO-00182324

Analyse	Resultat	Enhet	LOQ	MU	Metode
c) Arsen (As)	22	mg/kg TS	0.5	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
c) Bly (Pb)	80	mg/kg TS	0.5	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
c) Kadmium (Cd)	0.34	mg/kg TS	0.01	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
c) Kvikksølv (Hg)	0.161	mg/kg TS	0.001	20%	028311mod/EN ISO17852mod
c) Tørstoff	50.8	%	0.1	5%	EN 12880
c) Kobber (Cu)	260	mg/kg TS	0.5	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
c) Krom (Cr)	31	mg/kg TS	0.5	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
c) Nikkel (Ni)	200	mg/kg TS	0.5	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
c) Sink (Zn)	150	mg/kg TS	2	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
b) Totalt organisk karbon (TOC)	25	% TS	0.1		EN 13137

Analyse	Resultat	Enhet	LOQ	MU	Metode
c) Arsen (As)	5.2	mg/kg TS	0.5	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
c) Bly (Pb)	20	mg/kg TS	0.5	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
c) Kadmium (Cd)	0.25	mg/kg TS	0.01	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
c) Kvikksølv (Hg)	0.045	mg/kg TS	0.001	20%	028311mod/EN ISO17852mod
c) Tørstoff	54.2	%	0.1	5%	EN 12880
c) Kobber (Cu)	43	mg/kg TS	0.5	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
c) Krom (Cr)	15	mg/kg TS	0.5	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
c) Nikkel (Ni)	37	mg/kg TS	0.5	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
c) Sink (Zn)	81	mg/kg TS	2	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
b) Totalt organisk karbon (TOC)	5.8	% TS	0.1		EN 13137

**Tegnforklaring:**

\* Ikke omfattet av akkrediteringen      LOQ: Kvantifiseringsgrense      MU: Måleusikkerhet

&lt;: Mindre enn    &gt;: Større enn    nd: Ikke påvist. Bakteriologiske resultater angitt som &lt;1, &lt;50 e.l. betyr ikke påvist.

Opplysninger om måleusikkerhet og konfidensintervall fås ved henvendelse til laboratoriet.

Måleusikkerhet er ikke tatt hensyn til ved vurdering av om resultatet er utenfor grenseverdi-området.

Rapporten må ikke gjengis, unntatt i sin helhet, uten laboratoriets skriftlige godkjenning. Resultatene gjelder kun for de(n) undersøkte prøven(e).

Side 10 av 13

AR-001 v.14E

AR-17-MM-027862-01



EUNOMO-00182324

Prøvenr.:	433-2017-11170176	Prøvetakingsdato:	13.11.2017		
Prøvetype:	Sedimenter	Prøvetaker:	Oppdragsgiver		
Prøvemerking:	17272- Pr TOC 5	Analysestartdato:	17.11.2017		
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ	MU	Metode
c) Arsen (As)	57	mg/kg TS	0.5	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
c) Bly (Pb)	92	mg/kg TS	0.5	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
c) Kadmium (Cd)	0.50	mg/kg TS	0.01	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
c) Kvikksølv (Hg)	0.073	mg/kg TS	0.001	20%	028311mod/EN ISO17852mod
c) Tørstoff	33.6	%	0.1	5%	EN 12880
c) Kobber (Cu)	300	mg/kg TS	0.5	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
c) Krom (Cr)	57	mg/kg TS	0.5	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
c) Nikkel (Ni)	410	mg/kg TS	0.5	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
c) Sink (Zn)	130	mg/kg TS	2	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
b) Totalt organisk karbon (TOC)	6.7	% TS	0.1		EN 13137

Prøvenr.:	433-2017-11170177	Prøvetakingsdato:	13.11.2017		
Prøvetype:	Sedimenter	Prøvetaker:	Oppdragsgiver		
Prøvemerking:	17272- Pr TOC 6	Analysestartdato:	17.11.2017		
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ	MU	Metode
c) Arsen (As)	95	mg/kg TS	0.5	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
c) Bly (Pb)	250	mg/kg TS	0.5	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
c) Kadmium (Cd)	0.31	mg/kg TS	0.01	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
c) Kvikksølv (Hg)	0.067	mg/kg TS	0.001	20%	028311mod/EN ISO17852mod
c) Tørstoff	36.7	%	0.1	5%	EN 12880
c) Kobber (Cu)	850	mg/kg TS	0.5	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
c) Krom (Cr)	120	mg/kg TS	0.5	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
c) Nikkel (Ni)	1200	mg/kg TS	0.5	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
c) Sink (Zn)	190	mg/kg TS	2	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
b) Totalt organisk karbon (TOC)	6.7	% TS	0.1		EN 13137

**Tegnforklaring:**

\* Ikke omfattet av akkrediteringen      LOQ: Kvantifiseringsgrense      MU: Måleusikkerhet

&lt;: Mindre enn    &gt;: Større enn    nd: Ikke påvist.    Bakteriologiske resultater angitt som &lt;1, &lt;50 e.l. betyr ikke påvist.

Opplysninger om måleusikkerhet og konfidensintervall fås ved henvendelse til laboratoriet.

Måleusikkerhet er ikke tatt hensyn til ved vurdering av om resultatet er utenfor grenseverdi-området.

Rapporten må ikke gjengis, unntatt i sin helhet, uten laboratoriets skriftlige godkjenning. Resultatene gjelder kun for de(n) undersøkte prøven(e).

Side 11 av 13

AR-001v14E

AR-17-MM-027862-01



EUNOMO-00182324

Prøvenr.:	439-2017-11170178	Prøvetakingsdato:	13.11.2017		
Prøvetype:	Sedimenter	Prøvetaker:	Oppdragsgiver		
Prøvemerkning:	17272- Pr TOC 7	Analysestartdato:	17.11.2017		
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ	MU	Metode
c) Arsen (As)	79	mg/kg TS	0.5	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
c) Bly (Pb)	200	mg/kg TS	0.5	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
c) Kadmium (Cd)	0.26	mg/kg TS	0.01	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
c) Kvikksølv (Hg)	0.069	mg/kg TS	0.001	20%	028311mod/EN ISO17852mod
c) Tørstoff	34.6	%	0.1	5%	EN 12880
c) Kobber (Cu)	710	mg/kg TS	0.5	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
c) Krom (Cr)	120	mg/kg TS	0.5	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
c) Nikkel (Ni)	1100	mg/kg TS	0.5	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
c) Sink (Zn)	170	mg/kg TS	2	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
b) Totalt organisk karbon (TOC)	5.3	% TS	0.1		EN 13137

Prøvenr.:	439-2017-11170179	Prøvetakingsdato:	13.11.2017		
Prøvetype:	Sedimenter	Prøvetaker:	Oppdragsgiver		
Prøvemerkning:	17272- Pr TOC 8	Analysestartdato:	17.11.2017		
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ	MU	Metode
c) Arsen (As)	44	mg/kg TS	0.5	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
c) Bly (Pb)	110	mg/kg TS	0.5	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
c) Kadmium (Cd)	0.16	mg/kg TS	0.01	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
c) Kvikksølv (Hg)	0.031	mg/kg TS	0.001	20%	028311mod/EN ISO17852mod
c) Tørstoff	51.4	%	0.1	5%	EN 12880
c) Kobber (Cu)	310	mg/kg TS	0.5	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
c) Krom (Cr)	64	mg/kg TS	0.5	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
c) Nikkel (Ni)	540	mg/kg TS	0.5	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
c) Sink (Zn)	110	mg/kg TS	2	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
b) Totalt organisk karbon (TOC)	2.6	% TS	0.1		EN 13137

**Uttørende laboratorium/ Underleverandør:**

**Tegnforklaring:**

\* Ikke omfattet av akkrediteringen      LOQ: Kvantifiseringsgrense      MU: Måleusikkerhet  
 <: Mindre enn    >: Større enn    nd: Ikke påvist. Bakteriologiske resultater angitt som <1, <50 e.l. betyr 'ikke påvist'.  
 Opplysninger om måleusikkerhet og konfidensintervall fås ved henvendelse til laboratoriet.

Måleusikkerhet er ikke tatt hensyn til ved vurdering av om resultatet er utenfor grenseverdi-området.

Rapporten må ikke gjengis, unntatt i sin helhet, uten laboratoriets skriftlige godkjenning. Resultatene gjelder kun for de(n) undersøkte prøven(e).

Side 12 av 13

AR-01 v. 14E

AR-17-MM-027862-01

EUNOMO-00182324



- a) Eurofins Environment A/S (Vejen), Ladelundvej 85, DK-6600, Vejen DS EN ISO/IEC 17025 DANAK 168,
- b) Eurofins Umwelt Ost GmbH (Freiberg), Lindenstraße 11, Gewerbegebiet Freiberg Ost, D-09627, Bobritzsch-Hilbersdorf DIN EN ISO/IEC 17025:2005 D-PL-14081-01-00,
- c) Eurofins Environment Sweden AB (Lidköping), Box 887, Sjöhogsg. 3, SE-53119, Lidköping ISO/IEC 17025:2005 SWEDAC 1125,

Moss 04.12.2017

*Kjetil Sjaastad*

-----  
Kjetil Sjaastad  
Kjemitekniker

Tegnforklaring:

\* Ikke omfattet av akkrediteringen      LOQ: Kvantifiseringsgrense      MU: Måleusikkerhet  
<: Mindre enn    >: Større enn    nd: Ikke påvist. Bakteriologiske resultater angitt som <1,<50 e.l. betyr ikke påvist.

Opplysninger om måleusikkerhet og konfidensintervall fås ved henvendelse til laboratoriet.

Måleusikkerhet er ikke tatt hensyn til ved vurdering av om resultatet er utenfor grenseverdi-området.

Rapporten må ikke gjengis, unntatt i sin helhet, uten laboratoriets skriftlige godkjenning. Resultatene gjelder kun for de(n) undersøkte prøven(e).

Side 13 av 13

AR-001 v.14E



Eurofins Environment Testing Norway  
 AS (Moss)  
 F. reg. 965 141 618 MVA  
 Møllebakken 50  
 NO-1538 Moss

Tlf: +47 69 00 52 00  
 miljo@eurofins.no

Norsk Institutt For Vannforskning  
 Gaustadalleen 21  
 0349 OSLO  
 Attn: NIVA lab

AR-18-MM-008471-01

EUNOMO-00192519

Prøvemottak: 04.04.2018  
 Temperatur:  
 Analyseperiode: 04.04.2018-23.04.2018  
 Referanse: 720-5600

## ANALYSERAPPORT

Prøvenr.:	439-2018-04040402	Prøvetakingsdato:	20.03.2018		
Prøvetype:	Sedimenter	Prøvetaker:	Oppdragsgiver		
Prøvemerkning:	NR-2018-05339	Analysestartdato:	04.04.2018		
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ	MU	Metode
<b>c) Arsen (As) Premium LOQ</b>					
c) Arsen (As)	8.3	mg/kg TS	0.5	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
<b>c) Bly (Pb) Premium LOQ</b>					
c) Bly (Pb)	41	mg/kg TS	0.5	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
<b>c) Kadmium (Cd) Premium LOQ</b>					
c) Kadmium (Cd)	0.53	mg/kg TS	0.01	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
<b>c) Kobber (Cu)</b>					
c) Kobber (Cu)	94	mg/kg TS	0.5	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
<b>c) Krom (Cr)</b>					
c) Krom (Cr)	22	mg/kg TS	0.5	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
<b>c) Kvikksølv (Hg) Premium LOQ</b>					
c) Kvikksølv (Hg)	0.083	mg/kg TS	0.001	20%	028311mod/EN ISO17852mod
<b>c) Nikkel (Ni)</b>					
c) Nikkel (Ni)	58	mg/kg TS	0.5	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
<b>c) Sink (Zn)</b>					
c) Sink (Zn)	180	mg/kg TS	2	25%	EN ISO 17294-2:2016 / SS 028311, ed. 1
<b>e) PCB(7) Premium LOQ</b>					
c) PCB 28	< 0.00050	mg/kg TS	0.0005		EN 16167
c) PCB 52	0.0021	mg/kg TS	0.0005	25%	EN 16167
c) PCB 101	0.0020	mg/kg TS	0.0005	25%	EN 16167
c) PCB 118	0.0019	mg/kg TS	0.0005	25%	EN 16167
c) PCB 153	0.0027	mg/kg TS	0.0005	25%	EN 16167
c) PCB 138	0.0026	mg/kg TS	0.0005	25%	EN 16167
c) PCB 180	0.0018	mg/kg TS	0.0005	25%	EN 16167
c) Sum 7 PCB	0.013	mg/kg TS		25%	EN 16167
<b>e) PAH(16) Premium LOQ</b>					
c) Naftalen	0.55	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c) Acenafylen	0.090	mg/kg TS	0.01	40%	ISO 18287, mod.
c) Acenafthen	2.5	mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.

### Teorforklaring:

\* Ikke omfattet av akkrediteringen LOQ: Kvantifiseringsgrense MU: Måleusikkerhet

<: Mindre enn >: Større enn nd: Ikke påvist Bakteriologiske resultater angitt som <1, <50 e.l. betyr ikke påvist.

Opplysninger om måleusikkerhet og konfidensintervall fås ved henvendelse til laboratoriet.

Måleusikkerhet er ikke tatt hensyn til ved vurdering av om resultatet er utenfor grenseverdi-området.

Rapporten må ikke gjengis, unntatt i sin helhet, uten laboratoriets skriftlige godkjenning. Resultatene gjelder kun for de(n) undersøkte prøven(e).

Side 1 av 2

AR-001 v. 02

AR-18-MM-008471-01



EUNOMO-00192519

c)	Fluoren	2.0 mg/kg TS	0.01	30%	ISO 18287, mod.
c)	Fenantren	13 mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c)	Antracen	3.8 mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c)	Fluoranten	47 mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c)	Pyren	37 mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c)	Benzo[a]antracen	25 mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c)	Krysen/Trifenylen	20 mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c)	Benzo[b]fluoranten	30 mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c)	Benzo[k]fluoranten	< 0.010 mg/kg TS	0.01		ISO 18287, mod.
c)	Benzo[a]pyren	21 mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c)	Indeno[1,2,3-cd]pyren	14 mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c)	Dibenzo[a,h]antracen	2.7 mg/kg TS	0.01	30%	ISO 18287, mod.
c)	Benzo[ghi]perylen	12 mg/kg TS	0.01	25%	ISO 18287, mod.
c)	Sum PAH(16) EPA	230 mg/kg TS			ISO 18287, mod.
a)	Tributyltinn (TBT)	34 µg/kg tv	2.4	40%	Kalkulering
a)	Tributyltinn (TBT) - Sn	14 µg/kg TS	1	50%	Internal Method 2085
b)	Kornstørrelse <2µm				
b)	Kornstørrelse <2 µm	2.0 % TS	1		Internal Method 6
b)	Kornstørrelse <63µm				
b)	Kornstørrelse < 63 µm	46.1 % TS	0.1		Internal Method 6
<b>TOC kalkulert</b>					
	Totalt organisk karbon kalkulert	10.8 % TS		12%	Intern metode
c)	Total tørrstoff gjeldetap	18.9 % TS	0.1	10%	EN 12879
<b>c) Tørrstoff</b>					
c)	Total tørrstoff	98.4 %	0.1	10%	EN 12880

Utførende laboratorium/ Underleverandør:

- a) Eurofins Miljø (Vejen), Ladelundvej 85, DK-6600, Vejen DS EN ISO/IEC 17025 DANAK 168,  
 b) Eurofins Analyses pour l'Environnement France (S1), 5, rue d'Otterswiller, F-67700, Saverne NF EN ISO/IEC 17025:2005 COFRAC 1-1488,  
 c) Eurofins Environment Sweden AB (Lidköping), Box 887, Sjöhagsg. 3, SE-53119, Lidköping ISO/IEC 17025:2005 SWEDAC 1125,

Moss 23.04.2018

-----  
 Kjetil Sjaastad  
 Kjemitekniker

Teorforklaring:

\* Ikke omfattet av akkrediteringen      LOQ: Kvantifiseringsgrense      MU: Måleusikkerhet  
 <: Mindre enn    >: Større enn    nd: Ikke påvist    Bakteriologiske resultater angitt som <1,-50 e.l. betyr ikke påvist.  
 Opplysninger om måleusikkerhet og konfidensintervall fås ved henvendelse til laboratoriet.  
 Måleusikkerhet er ikke tatt hensyn til ved vurdering av om resultatet er utenfor grenseverdi-området.  
 Rapporten må ikke gjengis, unntatt i sin helhet, uten laboratoriets skriftlige godkjenning. Resultatene gjelder kun for de(n) undersøkte prøven(e).

Side 2 av 2

AR-001 v. 02

## 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 samfunnsniv.



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)